



HAL
open science

Comment l'activité physique peut-elle favoriser le développement des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire.

Lydie Roux

► **To cite this version:**

Lydie Roux. Comment l'activité physique peut-elle favoriser le développement des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire.. Psychologie. Université Paul Valéry - Montpellier III, 2020. Français. NNT : 2020MON30039 . tel-03176310

HAL Id: tel-03176310

<https://theses.hal.science/tel-03176310v1>

Submitted on 22 Mar 2021

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.



THÈSE

Pour obtenir le grade de
Docteur

Délivré par l'**Université Paul Valéry Montpellier 3**

Préparée au sein de l'école doctorale 60 – TTSD
« Territoires, Temps, Sociétés et Développement »
Et de l'unité de recherche EA4556
Laboratoire EPSYLON – « Dynamique des Capacités
Humaines et des Conduites de Santé »

Spécialité : **Psychologie du Développement**

Présentée par **Lydie ROUX**

**Comment la pratique d'activité physique
peut-elle favoriser le développement des
fonctions exécutives chez l'enfant d'âge
scolaire ?**

Soutenue le 9 décembre 2020 devant le jury composé de

Madame Florence COUSSON-GELIE, Professeure

Directrice

Monsieur Arnaud Roy, Professeur,

Président du Jury

Université d'Angers

Rapporteur

Monsieur Michel Audiffren, Professeur,

Rapporteur

Université de Poitiers

Madame Sophie Bayard, Maîtresse de Conférences HDR,

Examinatrice

Université Paul Valéry Montpellier 3

Madame Emilie Boujut, Maîtresse de Conférences HDR,

Examinatrice

Université de Cergy-Pontoise



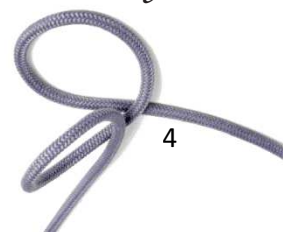
Remerciements

Je tiens à vous remercier, toutes et tous, de m'avoir accompagnée, soutenue et guidée dans cette aventure passionnante. À l'instar de mes pérégrinations vers les sommets, j'ai pu vivre des moments forts et des instants précieux à la rencontre de mondes si infiniment grands et si infiniment petits. Mais alors, cette entreprise... Quelle intrigue! Je me suis longtemps sentie dans la peau de ce pauvre Axel entraîné au centre de la Terre par son impatient, passionné et irascible oncle, le Dr. Lidenbrock, qui se trouvait être ici une autre partie de moi-même. On avance, on se perd. On se retrouve là, face à soi. On découvre combien tout ce que l'on pensait savoir, on ne le sait pas, ou on ne le sait plus. On avance, on résiste, on se fait balayer, on se relève, on avance encore. C'est à chacun d'entre vous que je dois chacun de mes pas, comme autant de lumières qui m'orientaient dans la tempête. Aussi, je souhaiterais plus particulièrement offrir quelques mots à l'endroit de(s):

- ❖ *Membres du jury*, monsieur Michel Audiffren, professeur de neurosciences cognitives en sciences et techniques des activités physiques et sportives à l'université de Poitiers, madame Sophie Bayard, maître de conférences HDR en neuropsychologie à l'Université Paul Valéry Montpellier 3, madame Emilie Boujut, maître de conférences HDR en psychologie de la santé à l'Université Cergy-Paris 2 et monsieur Arnaud Roy, professeur de neuropsychologie de l'enfant à l'Université d'Angers, à qui je souhaite exprimer ma gratitude pour l'intérêt porté à ce travail; et que je remercie humblement de nous offrir leur expertise à l'examen de cette thèse.
- ❖ *Ma directrice de thèse*, Florence, qui m'a incitée et accompagnée tout au long de mes projets universitaires. Merci de m'avoir permis d'évoluer dans un terrain si fertile et ouvert la porte de la recherche avec tant d'optimisme et d'air frais. Merci de m'avoir donné votre confiance lorsque la mienne faisait tant défaut. Merci pour ce voyage que je n'aurais jamais pu imaginer sans vous pour me guider.
- ❖ *L'Université Paul Valéry Montpellier 3* qui a soutenu ce projet en me permettant de m'y consacrer pleinement. Je tiens à remercier l'équipe *EVO-LVE* pour la qualité de son accueil et son soutien, ainsi que l'équipe pédagogique de psychologie du développement qui m'a tant inspirée et encouragée depuis mon arrivée à l'université.
- ❖ *L'Université de Nîmes* qui m'a permis de terminer l'écriture de ce travail dans les meilleures conditions; et plus particulièrement l'équipe de psychologie pour leur chaleur et leur humanité.
- ❖ *L'Académie de Montpellier, la circonscription Gap 1 et leurs écoles*, que je remercie de leur intérêt pour ce thème de recherche et pour m'avoir offert l'opportunité de concrétiser ce projet. Je tiens à remercier plus particulièrement Elodie, Marie, Solène, Agathe, et Mathieu, pour leur énergie et leur

audace. Collaborer avec des enseignants aussi volontaires et passionnés fut une expérience riche et au combien fabuleuse. Et surtout, merci aux « petits loups » qui se sont prêtés au jeu, car sans eux, rien de tout ce projet n'aurait eu le moindre sens.

- ❖ *Relecteurs de ce travail.* Bichon, Bobo, Bruno, Christelle, Etienne, Laurent, Manon, Mom, Olivier, Sophie, Stéfan et Yann, initiés et profanes, que je ne remercierai jamais assez pour la qualité de leur relecture et de leurs conseils avisés qui ont permis à ce travail d'évoluer. Merci de leur patience et de leur aide précieuse. Oui, cette proposition était clairement une arnaque!
- ❖ *Mes guides.* Mathieu et Olivier, qui m'ont incitée à suivre leurs pas et soutenue tout au long de ce parcours. Aucun mot ne saurait rendre justice à leur accompagnement et à leur bienveillance. Merci de me rappeler encore et toujours qu'un jardin se cache derrière la palissade; et surtout, merci d'avoir été mes maîtres à penser (tout et son contraire) durant toutes ces années.
- ❖ *Mes camarades du bureau 163* (et délocalisés) pour tous nos casse-têtes et pour cette ambiance unique aussi studieuse qu'harmonieusement chaotique. Merci aux « grands » pour leurs conseils avisés. Un clin d'œil complice à tous les camarades, à qui je souhaite de poursuivre et réussir leurs projets; que rien, jamais, ne ternisse leur fougue. Enfin, une pensée plus particulière pour Adil, pour toutes ces années de souvenirs aussi simples que grandioses d'étudiants en quête de sens et remplis de contradictions.
- ❖ *La team Epidaure* qui m'a accueillie, témoignée tant de confiance et poussée activement vers la recherche interventionnelle. Ce fut une chance de pouvoir apprendre auprès d'une équipe aussi sérieuse, dynamique et investie. Merci pour tous ces fous-rire et cet enthousiasme à l'épreuve de tout, même des timings les plus serrés! Et Bruno, merci de ton étayage sans faille, je ne sais pas comment je m'en serai sortie sans tes encouragements (et tes blagues douteuses)!
- ❖ *Mes stagiaires.* Julie et Christelle, pour leur implication minutieuse dans ce projet, leur sérieux, leur passion et surtout leur inépuisable curiosité qui nous a valu bien des échanges captivants.
- ❖ *Mes compagnons de cordée,* et tout spécialement Lolo, Pitch, Soso et Yannou qui m'ont permis de tenir bon à coup de sessions de grimpe et d'expéditions d'alpi. Merci pour tous ces « huusssssssss », « bordel, qu'est-ce qu'on fiche ici? », « heu, on ne va pas se prendre la foudre là » et les innombrables « t'as pas faim toi? » qui jalonnent nos folies. Merci de me rendre plus vivante (à défaut de me tuer) aventure après aventure.
- ❖ *Mes proches,* ma famille de sang, ma famille de cœur, mon amour, toutes ces personnes inestimables que je me garderai bien de dévoiler en ces lignes, merci de m'avoir donné la force et la volonté. Merci d'avoir veillé sur moi. Et vous qui n'êtes plus là ce jour, merci d'avoir illuminé ma vie. Je vous porte à jamais dans mon cœur.



A des âmes envolées

Résumé

Objectifs. Le développement des fonctions exécutives (FE) chez l'enfant d'âge scolaire pourrait être favorisé par la pratique d'activité physique (AP) habituelle. Les enfants issus de milieu défavorisés peuvent présenter des FE moins efficaces et des performances académiques plus basses que les enfants issus de milieux plus favorisés. Ces enfants pourraient bénéficier d'interventions pour favoriser le développement de leurs FE et leur réussite à l'école. Cette thèse poursuit trois objectifs généraux : (1) étudier les liens entre l'AP habituelle et l'efficacité des FE de base d'enfants d'âge scolaire, (2) étudier la nature des liens entre AP, performance académique et FE chez des enfants issus de milieux défavorisés et (3) étudier les effets de l'inclusion de pauses actives en classe sur le développement des FE, l'AP, la performance académique et la qualité de vie à l'école d'enfants issus de milieux défavorisés.

Design. Deux études ont été menées. L'étude 1 répondait à l'objectif 1 de la thèse via une approche transversale. L'étude 2 a utilisé une approche transversale pour répondre à l'objectif 2 et un essai contrôlé à deux temps de mesure (T1 et T2) espacés de cinq mois pour répondre à l'objectif 3 de la thèse.

Méthode. *Etude 1.* 169 enfants âgés de 9 à 11 ans ont renseigné un questionnaire d'AP habituelle et ont participé à des mesures des FE de base : l'inhibition a été mesurée par le test de Stroop, la mémoire de travail visuo-spatiale par la tâche des blocs de Corsi et la flexibilité mentale à l'aide du test de rangement de cartes du Wisconsin. *Etude 2.* 93 enfants scolarisés en classe de CE2 (M = 8,37 ans) ont été distribués dans deux groupes : 54 dans le groupe action qui bénéficiait de pauses actives en classe et 41 dans le groupe contrôle qui suivait une scolarité classique. Les participants ont renseigné un journal hebdomadaire de pratique d'AP et un questionnaire de qualité de vie à l'école et ont participé à des mesures de leurs FE de base (mêmes mesures que l'étude 1). Leur performance académique a été appréciée par leur enseignant.

Résultats. *Etude 1.* Certaines dimensions de l'AP habituelle étaient liées à l'efficacité de certaines FE de base prises isolément. Plus les enfants s'engageaient fréquemment dans des AP de la vie quotidienne et moins ils s'engageaient longtemps dans des AP de loisir, meilleures étaient leurs capacités d'inhibition. Plus les enfants s'engageaient dans des AP sportives d'intensité modérée plutôt que vigoureuses, meilleures étaient leurs capacités de mémoire de travail. Il n'y avait pas de lien entre l'AP habituelle et la flexibilité mentale ni entre l'AP habituelle et les FE de base envisagées comme construit latent. *Etude 2.* Les FE de bases constituent un médiateur entre la pratique d'AP habituelle et la performance académique d'enfants issus de milieux défavorisés. Les scores aux tests des FE ont augmenté entre T1 et T2 sauf pour la mémoire de travail. Le groupe action a connu un développement plus important que le groupe contrôle en flexibilité mentale. L'intervention n'a pas eu d'effet délétère sur les habitudes d'AP, la performance académique ni sur la qualité de vie à l'école des élèves.

Conclusion. L'AP peut constituer un moyen relativement facile et peu coûteux pour favoriser le développement des FE des enfants d'âge scolaire dont celui d'enfants issus de milieux défavorisés. Ce travail ouvre la voie à de futurs travaux interventionnels d'inclusion d'AP en classe et à poursuivre l'investigation des processus explicatifs des effets de l'AP sur les FE.

Mots clés : fonctions exécutives de base, activité physique, intervention à l'école, pauses actives, qualité de vie à l'école, enfants

Abstract

Thesis title. How physical activity can foster executive functions development in school-age children?

Aims. School-age children' Executive function (EF) development could be foster by habitual physical activity (PA) practice. Children from socioeconomically disadvantaged background could display less efficient EF and lower academic performance than children from more advantaged background. Interventions addressed to these children should be available in order to foster their EF development and academic success. This thesis pursues three main objectives: (1) study of the links between habitual PA practice and core EF efficiency in school-age children, (2) study nature of the links between PA, academic performance and EF in children from socioeconomically disadvantaged background and (3) study in class active breaks inclusion effects on EF development, PA, academic performance and quality of life in school in children from socioeconomically disadvantaged background.

Design. Two studies were conducted. Study 1 met the first objective of the thesis through a cross-sectional perspective. Study 2 used a cross-sectional approach to meet the second objective and a controlled trial with two measure points (T1 and T2) within five months to meet the third objective of the thesis.

Method. Study 1. 169 children aged from 9 to 11 years old filled a habitual PA questionnaire and participated to core EF measures: inhibition was measured with the Stroop test, visuospatial working memory (WM) with the Corsi block-tapping task and flexibility with the Wisconsin Card Sorting Test. Study 2. 93 children in French CE2 class (M = 8,37 years old) were distributed between two groups: 54 in the action group that benefit from in class active breaks and 41 in the control group attending a normal schooling. Participants filled a one-week PA diary and a quality of life in school questionnaire and participated at core EF measures (same ones as in study 1). Their academic performance was appreciated by their teacher.

Results. Study 1. Some dimensions of habitual PA were linked to some core EF efficiency when taken separately. The more often children engaged themselves in daily PA and the less they engaged themselves in long time period of leisure time PA, better were their inhibition capacity. The more children engaged themselves in moderate rather than vigorous sports, better were their working memory capacity. There was no link between PA and mental flexibility nor between PA and EF as latent construct. Study 2. Core EF was a mediator of PA – academic performance link in children from socioeconomically disadvantaged background. EF scores increased between T1 and T2 except for WM. Action group had a larger flexibility development than control group. The intervention had no adverse effect on habitual PA, academic performance nor on quality of life in school of pupils.

Conclusion. PA could be an easy and cost-effective way to foster EF development in school-age children including children from socioeconomically disadvantaged background. It opens way to further in class PA inclusion interventional research and to pursue explicative processes investigation of the effect of PA on EF.

Key words: core executive functions, physical activity, school-based intervention, active breaks, school related quality of life, children

Correspondance

Université Paul Valéry Montpellier 3

✉ Route de Mende
34199 Montpellier Cedex 5

☎ Standard : +33 (0)4 67 14 20 00

Ecole doctorale 60 – TTSD

Territoires, Temps, Sociétés et Développement

✉ Université Paul Valéry Montpellier 3
Site Saint Charles
Route de Mende
34199 Montpellier Cedex 5

☎ Responsable administratif : +33 (0)4 11 75 70 33

Laboratoire EPSYLON – EA4556

Dynamique des Capacités Humaines et des Conduites de Santé

✉ Université Paul Valéry Montpellier 3
Site Saint Charles
Route de Mende
34199 Montpellier Cedex 5

☎ Administration : +33 (0)4 11 75 70 65

Table des matières

REMERCIEMENTS	3
RESUME	7
ABSTRACT	8
CORRESPONDANCE	9
ABREVIATIONS	23
INTRODUCTION GENERALE	27
PARTIE 1 : INTRODUCTION THEORIQUE	31
Chapitre 1 : Les fonctions exécutives, entre unité et diversité	33
1.1 Les fonctions exécutives, processus cognitifs d'adaptation	33
1.1.1 Naissance du concept de fonctions exécutives	33
1.1.2 La possibilité de choisir et contrôler ce que nous faisons	36
1.1.3 Le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives	38
1.2 Modèles des fonctions exécutives	45
1.2.1 L'apport de Shallice : Le système attentionnel superviseur	45
1.2.2 L'apport de Baddeley : La mémoire de travail	47
1.2.3 L'apport de Stuss : L'organisation hiérarchique du lobe frontal	51
1.2.4 L'apport de Miyake : Des processus différenciés et similaires à la fois	53
1.3 Ontogénèse des fonctions exécutives	56
1.3.1 Développement de l'inhibition	58
1.3.2 Développement de la mémoire de travail	60
1.3.3 Développement de la flexibilité mentale	62
1.4 Les fonctions exécutives pour s'adapter tout au long de la vie	65
1.4.1 Rôle majeur des FE dans toutes les sphères de la vie	65
1.4.2 Vulnérabilité précoce des fonctions exécutives	68
1.4.3 Favoriser le développement des fonctions exécutives	71
1.5 Synthèse	74
Chapitre 2 : Activité physique et cognition chez l'enfant d'âge scolaire, une perspective holistique	77
	11

2.1	L'activité physique de l'enfant	77
2.1.1	Eléments de définition	77
2.1.2	La mesure de l'activité physique de l'enfant	79
2.1.3	L'activité physique au cours du développement de l'enfant	82
2.1.4	La pratique d'activité physique des enfants aujourd'hui	86
2.2	Investigation de l'existence d'un lien entre l'activité physique et l'activité cognitive	91
2.2.1	Une question actuelle aux racines antiques	91
2.2.2	Travaux transversaux	94
2.2.3	Pistes explicatives	96
2.3	Investigation de l'effet de la pratique d'activité physique sur les fonctions exécutives	102
2.3.1	Mesurer les effets des différentes dimensions de l'activité physique	102
2.3.2	Méta-analyses des effets aigüe de l'activité physique sur les fonctions exécutives de base	103
2.3.3	Méta-analyses des effets chroniques de l'activité physique sur les fonctions exécutives de base	104
2.3.4	Perspectives actuelles	107
2.4	Synthèse	110
Chapitre 3 : Activité physique et interventions en milieu scolaire		113
3.1	Quelle place pour l'activité physique en milieu scolaire ?	113
3.1.1	Sur le chemin de l'école	113
3.1.2	L'éducation physique et sportive comme discipline scolaire	114
3.1.3	Les opportunités de pratique d'activité physique en contexte scolaire	117
3.2	L'école, un terrain idéal pour agir	119
3.2.1	La réussite académique pour tous, un défi français	119
3.2.2	Le réseau d'éducation prioritaire	121
3.2.3	Intervenir en milieu scolaire	122
3.3	Interventions d'activité physique en milieu scolaire et cognition	124
3.3.1	Différentes modalités interventionnelles	124
3.3.2	De l'activité physique dans la salle de classe	127
3.3.3	Les pauses actives	129
3.4	Synthèse	132
Chapitre 4 : Problématique de recherche et hypothèses		135
PARTIE 2 : CONTRIBUTION A LA PRODUCTION DE CONNAISSANCES		139
Chapitre 1 : Eléments de contexte		141
1.1	Cadre du travail doctoral	141
1.2	Considérations éthiques	142

1.3	Mode de recrutement des participants	143
-----	--------------------------------------	-----

Chapitre 2 : Etude 1, Relation entre les habitudes d'activité physique et l'efficacité des fonctions

exécutives, une approche transversale	145	
2.1	Méthode	145
2.1.1	Présentation de l'étude	145
2.1.2	Instruments de mesure	147
2.1.3	Procédure	157
2.1.4	Hypothèses	160
2.2	Résultats	163
2.2.1	Caractéristiques de l'échantillon	163
2.2.2	Analyses préliminaires	163
2.2.3	Effet du niveau scolaire sur l'efficacité des fonctions exécutives	170
2.2.4	Effets du niveau scolaire et du genre sur la pratique d'AP	173
2.2.5	Relation entre la pratique d'activité physique et l'efficacité des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire	180
2.3	Discussion	188
2.3.1	Objectif 1 : évolution des fonctions exécutives avec l'avancée en âge chez l'enfant d'âge scolaire	188
2.3.2	Objectif 2 : patterns de pratique d'activité physique habituelle des enfants d'âge scolaire, similarités et différences en fonction de l'âge et du genre	192
2.3.3	Objectif 3 : lien entre la pratique d'activité physique habituelle et l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire	197
2.3.4	Implication des résultats	200
2.3.5	Forces et limites	201
2.3.6	Conclusion	203
2.3.7	Vers l'étude 2 de la thèse	203

Chapitre 3 : Etude 2, Développer, mener et évaluer une intervention d'inclusion de pauses actives en classe pouvant favoriser le développement des fonctions exécutives d'enfants issus de milieux défavorisés

		205
3.1	Méthode	205
3.1.1	Présentation de l'étude	205
3.1.2	Le programme Mouv'enclasse	208
3.1.3	Instruments de mesure	215
3.1.4	Procédure	221
3.1.5	Hypothèses	226
3.2	Résultats	229
3.2.1	Caractéristiques initiales de l'échantillon	229

3.2.2	Analyses préliminaires	230
3.2.3	Axe 1 : Les fonctions exécutives comme médiateur du lien entre la pratique d'AP et la performance académique	236
3.2.4	Axe 2 : Effets et représentations liés à l'inclusion de pauses actives en classe	238
3.3	Discussion	254
3.3.1	Axe 1 : rôle médiateur des fonctions exécutives dans le lien entre la pratique d'activité physique et la performance académique	254
3.3.2	Axe 2 : Inclusion de pauses actives en classe	256
3.3.3	Implication des résultats	267
3.3.4	Forces et limites	268
3.3.5	Conclusion	272
 PARTIE 3 : DISCUSSION GENERALE		 273
 Chapitre 1 : Atteinte des objectifs de thèse		 275
1.1	Liens entre les dimensions de l'activité physique habituelle et l'efficacité des fonctions exécutives de base	276
1.2	Eclaircir les liens qu'entretiennent la pratique d'activité physique habituelle, les fonctions exécutives et la performance académique	278
1.3	Mouv'enclasse, un programme d'inclusion de pauses actives en classe pour favoriser le développement des fonctions exécutives de base d'élèves issus de milieux défavorisés ?	279
1.3.1	Effets des pauses actives sur le développement des fonctions exécutives	280
1.3.2	Effets des pauses actives sur les variables secondaires	282
1.3.3	Représentations vis-à-vis du programme	284
 Chapitre 2 : Activité physique, fonctions exécutives, performance académique, comment modéliser ces liens ?		 287
2.1	La mesure des fonctions exécutives	287
2.2	Vers un modèle de médiation en processus autorégressif	288
2.3	Favoriser le développement des fonctions exécutives via l'activité physique, des modèles psychologiques ?	290
2.3.1	Médiateurs possibles	290
2.3.2	Modérateurs possibles	292
 Chapitre 3 : Considérations sur les études interventionnelles		 295
3.1	Accompagner le changement	295
3.2	Contrôle des variables	296
3.3	Vers le gold standard	297

Chapitre 4 : Limites et perspectives appliquées	299
4.1 Limites liées aux outils	299
4.1.1 La mesure des fonctions exécutives	299
4.1.2 Les mesures subjectives	300
4.2 Limites liées aux designs d'investigation	301
4.3 Perspectives appliquées	302
Conclusion	305
BIBLIOGRAPHIE	309
ANNEXES	347

Table des annexes

ANNEXE 1 : IMC DES ENFANTS EN FONCTION DU GENRE.....	349
ANNEXE 2 : AVIS ETHIQUE RELATIF A L'ETUDE 1	351
ANNEXE 3 : AVIS ETHIQUE RELATIF A L'ETUDE 2	352
ANNEXE 4 : TRAME GENERALE DU QUESTIONNAIRE D'HABITUDES DE PRATIQUE D'ACTIVITE PHYSIQUE	353
ANNEXE 5 : MATRICES DE CORRELATIONS BIVARIEES DE SPEARMAN ENTRE LES VARIABLES D'INTERET DE L'ETUDE 1 POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS	357
ANNEXE 6 : DISTRIBUTION DES RESULTATS DE L'ETUDE 2 AU PREMIER TEMPS DE MESURE POUR LE TEST DE STROOP ET LES BLOCS DE CORSI	363
ANNEXE 7 : STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES DONNEES DE L'ETUDE 2 AU SECOND TEMPS DE MESURE T2	365
ANNEXE 8 : TRAJECTOIRES DES VARIABLES DE L'ETUDE 2 ENTRE T1 ET T2 POUR L'ENSEMBLE DES PARTICIPANTS.....	367
ANNEXE 9 : ANALYSES COMPLEMENTAIRES POUR L'AXE 2 DE L'ETUDE 2 : ETUDE DE L'EFFET DE L'INCLUSION DE PAUSES ACTIVES VIA DES TESTS NON PARAMETRIQUES.....	373
ANNEXE 10 : ITEMS DU QUESTIONNAIRE SUR LES REPRESENTATIONS DES ENSEIGNANTS QUANT A LEUR EXPERIENCE DU PROGRAMME MOUV'ENCLASSE.	383
ANNEXE 11 : GRILLE DE COTATION « DESSINE-MOI UNE PAUSE ACTIVE »	387
ANNEXE 12 : DESSINS DE PAUSE ACTIVE PRODUITS PAR LES ELEVES DE CLASSES AYANT PARTICIPE AU PROGRAMME MOUV'ENCLASSE.....	388
ANNEXE 13 : ECHELLE QOLS-FR FINALE	389
ANNEXE 14 : PROCESSUS D'ADAPTATION ET DE VALIDATION FRANÇAISE DE L'ECHELLE DE QUALITE DE VIE A L'ECOLE QOLS-FR CHEZ L'ENFANT D'AGE SCOLAIRE.....	395

Liste des tableaux

TABLEAU 1	66
<i>Importance des fonctions exécutives dans les aspects de la vie d'après Diamond (2013)</i>	
TABLEAU 2	149
<i>Illustration de la passation du test de Stroop</i>	
TABLEAU 3	163
<i>Caractéristiques des participants de l'étude 1</i>	
TABLEAU 4	166
<i>Résumé de la distribution des scores des participants au WCST-64 en indices de rang</i>	
TABLEAU 5	182
<i>Corrélations de Spearman entre les dimensions d'activité physique et les fonctions exécutives de base</i>	
TABLEAU 6	183
<i>Corrélations partielles entre les dimensions d'activité physique et les fonctions exécutives de base avec contrôle de la classe et du genre des participants</i>	
TABLEAU 7	186
<i>Résumé des modèles de régressions linéaires étudiés pour déterminer le poids relatif de la pratique d'activité physique dans l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire</i>	
TABLEAU 8	214
<i>Variables d'intérêt pour favoriser la compliance des enseignants au programme Mouv'enclasse, leurs dimensions et leur opérationnalisation</i>	
TABLEAU 9	220
<i>Définition des indicateurs graphiques des pauses actives</i>	
TABLEAU 10	230
<i>Caractéristiques démographiques initiales des participants</i>	
TABLEAU 11	235
<i>Résumé de la distribution des scores aux dimensions de l'échelle QoLS-fr pour l'ensemble des participants</i>	
TABLEAU 12	246
<i>Nombre d'indices graphique en fonction du genre des participants</i>	
TABLEAU 13	246
<i>Occurrence des indices graphiques en lien avec les pauses actives en classe dans les dessins</i>	

Liste des figures

FIGURE 1	34
<i>Crâne phrénologique de Gall</i>	
FIGURE 2	35
<i>Phineas Gage</i>	
FIGURE 3	38
<i>Schéma en coupe sagittale de l'organisation de l'encéphale humain</i>	
FIGURE 4	39
<i>Schéma de structure comparée d'encéphales des vertébrés (Gallien, 2008)</i>	
FIGURE 5	40
<i>Pourcentage du cortex cérébral occupé par le cortex préfrontal chez le mammifère</i>	
FIGURE 6	41
<i>Aires de Brodmann du cortex préfrontal humain (Carlén, 2017)</i>	
FIGURE 7	44
<i>Aires fonctionnelles cérébrales du lobe frontal (Thiebaut de Schotten et al., 2017)</i>	
FIGURE 8	46
<i>Modèle simplifié de Norman & Shallice 1980, d'après Norman & Shallice (1986)</i>	
FIGURE 9	48
<i>Modèle de la mémoire de travail d'après Baddeley et Hitch (1974)</i>	
FIGURE 10	50
<i>Modèle de la mémoire de travail, d'après Baddeley (2000)</i>	
FIGURE 11	52
<i>Modèle hiérarchique du contrôle cognitif, d'après Stuss et Benson (1986)</i>	
FIGURE 12	56
<i>Unité et diversité des fonctions exécutives, d'après Friedman & Miyake (2017)</i>	
FIGURE 13	58
<i>Trajectoire de développement typique des fonctions exécutives sur la vie entière (Center on the Developing Child, 2012)</i>	
FIGURE 14	63
<i>Fonctions exécutives et termes reliés, d'après Diamond (2013)</i>	
FIGURE 15	69

FIGURE 16	88
<i>Pourcentage des répartitions des niveaux d'activité physique des enfants d'âge scolaire en France en fonction de l'étude nationale et du genre (pour l'étude ESTEBAN dans laquelle une différence significative apparaissait entre les groupes), d'après Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail (2017) et Esen (2017)</i>	
FIGURE 17	89
<i>Profil d'activité des enfants âgés de 3 à 10 ans selon leur genre, d'après le compte-rendu de l'étude INCA3 (Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail, 2017)</i>	
FIGURE 18	99
<i>Modèle explicatif des bienfaits de l'activité physique sur la cognition à court terme et à plus long terme selon l'hypothèse physiologique (Stimpson et al., 2018)</i>	
FIGURE 19	100
<i>Lien bidirectionnel entre la pratique d'activité physique et les fonctions exécutives, d'après Audiffren & André (2019)</i>	
FIGURE 20	102
<i>Modèle explicatif des effets de l'AP sur la santé cognitive et mentale des jeunes (Lubans et al., 2016)</i>	
FIGURE 21	116
<i>Buts de l'éducation physique scolaire. Extrait des Cahiers de pédagogie moderne pour l'enseignant du premier degré : L'éducation physique, n°2, Avril 1938 aux éditions Bourrellet et cie Paris</i>	
FIGURE 22	151
<i>Photographie du matériel que nous avons construit pour l'épreuve de mémoire de travail (vue du participant)</i>	
FIGURE 23	151
<i>Photographie du matériel que nous avons construit pour l'épreuve de mémoire de travail (vue de l'expérimentateur)</i>	
FIGURE 24	152
<i>Photographie du matériel utilisé pour l'épreuve de flexibilité mentale (a)</i>	
FIGURE 25	152
<i>Photographie du matériel utilisé pour l'épreuve de flexibilité mentale (b)</i>	
FIGURE 26	155
<i>Capture de la section « mon activité physique de loisir » du questionnaire d'activité physique adapté pour ce travail doctoral</i>	
FIGURE 27	164

Boîte de Tukey résumant la distribution du nombre d'items correctement traités en 45 secondes en fonction de la tâche

FIGURE 28 165

Distribution en effectif du nombre maximal de cubes correctement rappelés dans l'ordre de présentation (empan endroit) et dans l'ordre inverse à l'ordre de présentation (empan envers) à l'épreuve des blocs de Corsi

FIGURE 29 169

Boîte de Tukey résumant la distribution de la durée de pratique d'activité physique hebdomadaire en fonction du type d'activité physique

FIGURE 30 173

Distribution des médianes aux mesures des FE en fonction du niveau scolaire

FIGURE 31 175

Nombre d'engagements médian dans des pratiques d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour l'ensemble des participants

FIGURE 32 176

Intensité moyenne médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour les participants s'étant engagés dans des activités physiques

FIGURE 33 177

Durée médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour l'ensemble des participants

FIGURE 34 178

Nombre d'engagements médian dans des pratiques d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour l'ensemble des participants

FIGURE 35 179

Intensité moyenne médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour les participants s'étant engagés dans des activités physiques

FIGURE 36 180

Durée médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour l'ensemble des participants

FIGURE 37 187

Modèle explicatif de l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire en fonction de la classe, du genre et de la durée de pratique d'activité physique hebdomadaire

FIGURE 38	209
<i>Schéma du processus de conception du programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 39	211
<i>Schéma descriptif du programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 40	212
<i>Structure en trois phases d'une pause active du programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 41	214
<i>Objectifs SMART, méthode de définition de buts atteignables, d'après Doran (1981)</i>	
FIGURE 42	216
<i>Mesurer la performance académique</i>	
FIGURE 43	222
<i>Plan d'expérimentation longitudinal avec groupe contrôle en pré/post intervention via le programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 44	238
<i>Modèle de médiation du lien entre la durée de pratique d'activité physique et la performance académique par l'efficacité des fonctions exécutives</i>	
FIGURE 45	240
<i>Score moyen d'interférence de Stroop en fonction du temps de mesure et du groupe</i>	
FIGURE 46	241
<i>Nombre d'erreurs persévératives moyen au WCST en fonction du temps de mesure et du groupe</i>	
FIGURE 47	242
<i>Nombre de réponses conceptuelles moyen au WCST en fonction du temps de mesure et du groupe</i>	
FIGURE 48	243
<i>Position relative des participants par rapport au niveau moyen de la classe en français</i>	
FIGURE 49	248
<i>Réponses des enseignants aux items d'évaluation des représentations en amont de l'application du programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 50	249
<i>Réponses des enseignants aux items d'évaluation de la formation à l'application du programme Mouv'enclasse</i>	
FIGURE 51	249

Réponses des enseignants aux items d'évaluation du suivi et du soutien à l'application du programme Mouv'enclasse

FIGURE 52 250

Réponses des enseignants aux items d'évaluation du guide pratique du programme Mouv'enclasse

FIGURE 53 251

Réponses des enseignants aux items d'évaluation de la faisabilité de Mouv'enclasse

FIGURE 54 252

Réponses des enseignants aux items d'évaluation des effets perçus du programme Mouv'enclasse

FIGURE 55 253

Réponses des enseignants aux items d'évaluation du potentiel de déploiement du programme Mouv'enclasse

FIGURE 56 275

Résumé du plan d'investigation de nos contributions

FIGURE 57 290

Proposition de modèle de médiation du lien entre l'activité physique et la performance académique par les fonctions exécutives en cross-lagged

FIGURE 58 291

Quel médiateur pour expliquer l'effet de l'activité physique sur le développement des fonctions exécutives ?

FIGURE 59 292

Quel modérateur pour expliquer les effets différentiels de l'activité physique sur le développement des fonctions exécutives ?

Abréviations

AFE : Analyse factorielle exploratoire

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé

ATP : Adénosine triphosphate

AP : Activité physique

CEEI : Comité d'Evaluation Ethique de l'INSERM

CER : Comité Ethique de la Recherche

CPF : Cortex préfrontal

CPP : Comité de Protection des Personnes

CV : Coefficient de variation

DSM : Manuel diagnostic et statistique des troubles mentaux (en : Diagnostic and Statistical Manual of mental disorders)

EI : Espace (intervalle) interquartiles

EPS : Education Physique et Sportive

ERC : Essai Randomisé Contrôlé

FE : Fonctions exécutives

GA : Groupe action

GC : Groupe contrôle

GDVB : Grand Défi Vivez Bougez

GPS : Géo-positionnement satellite

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

IRB : Institutional Review Board

IRM : Imagerie par résonance magnétique

KS : *Test de normalité de distribution de Kolmogorov-Smirnov*

MAR : *Donnée manquante aléatoire (Missing At Random)*

MCAR : *Donnée manquantes complètement aléatoires (Missing Completely At Random)*

MCT : *Mémoire à court terme*

MDT : *Mémoire de travail*

MET : *Equivalent métabolique des activités (en : Metabolic Equivalent of Task)*

MNAR : *Donnée manquantes non aléatoires (Missing Not At Random)*

OCDE : *Organisation de Coopération et de Développement Economiques*

OR : *Rapport de côte (en : Odd Ratio)*

PACER : *en : Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run*

PISA : *Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves*

QDV : *Qualité de vie*

QI : *Quotient intellectuel*

REP / REP+ : *Réseau d'Education Prioritaire (le « + » indique le dispositif renforcé)*

RIPH : *Recherche impliquant la personne humaine*

SIG : *Systèmes d'information géographiques*

SMART (objectifs) : *Objectifs spécifiques, mesurables, accessibles, réalistes et temporels*

TAP : *Temps d'accueil périscolaire*

TCC : *thérapie cognitivo-comportementale*

TCP : *Théorie du comportement planifié*

TDA-H : *Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité*

WCST : *Test des cartes du Wisconsin (en : Wisconsin card sorting test)*

WISC : *Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (en : Wechsler Intelligence Scale for Children)*

« On n'apprend pas à un enfant à se développer.
Tout ce qu'on peut faire, c'est multiplier autour de
lui des occasions de développement naturel. »

Edouard Claparède, *Psychologie de l'enfant et pédagogie
expérimentale*, 1946

Introduction générale

Lacer ses souliers. Voilà une opération qui peut sembler des plus banales. La plupart des individus accomplissent cette suite d'actions presque automatiquement, sans même y prêter particulièrement attention. Mais il n'en est pas toujours ainsi, en témoignent les enfants qui s'adonnent à cet exercice pour la première fois sans en obtenir l'effet escompté. Pour lacer ses souliers, il faut utiliser le bon brin, se souvenir de comment faire, planifier une suite d'actions, exécuter des gestes, maintenir en mémoire où on en est, évaluer la réussite de l'action... Autant d'opérations coûteuses et éprouvantes pour le système cognitif de l'enfant que l'expérience finira par alléger en systématisant des patterns d'action et de pensée.

Nombre de nos conduites habituelles se retrouvent en quelque sorte en « pilote automatique ». Toutefois, un tel fonctionnement ne peut pas être suffisant, il serait même inadapté, voire inefficace, dans de nombreuses situations quotidiennes. En effet, l'environnement, qu'il soit interne ou externe, exerce des contraintes sur nous. Dès lors, pour atteindre nos buts, nous devons régulièrement reconsidérer nos plans et nous ajuster en faisant appel à des fonctions cognitives dédiées à l'adaptation du sujet : les fonctions exécutives. Ces fonctions cognitives de haut niveau permettent de faire face aux situations nouvelles, non-routinières et/ou complexes (Luria, 1966; Stuss & Benson, 1986) et sont donc essentielles dans l'adoption de conduites adaptées. Elles jouent un rôle déterminant dans de nombreuses sphères de vie de comme l'intégration sociale, la réussite scolaire et professionnelle, la santé physique et psychologique et la qualité de vie (Diamond, 2013).

De nombreux modèles ont proposé de capturer les fonctions exécutives mais leur nature demeure encore évasive. Toutefois, un consensus scientifique s'accorde sur l'existence de trois fonctions exécutives de base sur lesquelles se développent d'autres fonctions plus complexes : l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité mentale (Miyake et al., 2000). A titre d'illustration, prenons l'exemple d'une invitation à prendre le thé durant laquelle de délicieux scones tiédis seraient servis. Les amateurs de biscuits anglais ne tarderaient pas à vider le plateau, mais pas entièrement. Nous remarquerons que le tout dernier scone, lui, restera longtemps sur le plateau avant d'être dégusté. En effet, la plupart des convives préféreront s'empêcher de le manger, malgré leur envie, pour le laisser à un autre, au moins par politesse. Les convives feraient alors preuve d'inhibition en se montrant capables de contrôler leurs pensées, leur comportement et leurs émotions pour s'empêcher de produire une réponse inadaptée en situation sociale. Maintenant, prenons l'exemple d'un individu se déplaçant dans le centre piétonnier d'une ville inconnue, sans carte ni GPS pour se repérer. Pour retourner à son point de départ, il pourrait revenir sur ses pas et faire le même trajet à l'envers pour

éviter de se perdre. Il se remémorerait alors dans l'ordre inverse les indices qui lui ont permis de cheminer dans la ville. Il aurait alors utilisé sa mémoire de travail en se montrant capable de maintenir en mémoire et de manipuler mentalement des informations. Enfin, pour illustrer la troisième fonction exécutive de base, prenons l'exemple d'un individu qui se serait engagé dans une conversation technique passionnante avec un interlocuteur adulte. Si l'enfant de cet individu venait lui poser une question, on pourrait s'attendre à ce que le parent utilise un niveau de langue adapté à celui de son enfant. Ensuite, le parent reprendrait sa conversation technique avec un niveau de langue adapté à celui de son interlocuteur adulte. Il aurait alors fait preuve de flexibilité mentale, capacité à changer de point de vue, de manière de penser avec plus ou moins d'aisance.

Les fonctions exécutives commencent à se développer tôt dans l'enfance et mûrissent jusqu'au début de l'âge adulte (Best & Miller, 2010; Diamond, 2006; Hodel, 2018; Zelazo et al., 1997). Elles sont particulièrement sensibles aux expériences de vie précoces qui peuvent constituer des facteurs de développement. Toutefois, elles sont tout aussi sensibles aux expériences de vies difficiles qui peuvent avoir des effets délétères sur le développement et avoir des répercussions à long terme (Hodel, 2018; Mackes et al., 2020). Nos connaissances des fonctions exécutives sont aujourd'hui bien documentées chez le sujet adulte et le jeune enfant, mais les trajectoires développementales à l'âge scolaire sont encore à préciser (Best & Miller, 2010). Compte-tenu de la contribution majeure des fonctions exécutives à l'adaptation de l'individu tout au long de sa vie, il est crucial de favoriser leur développement chez les enfants et leur sensibilité accrue à l'expérience constitue un atout à envisager.

Parmi les facteurs de développement des fonctions exécutives, l'activité physique apparaît comme un candidat intéressant, relativement accessible et facile à mettre en œuvre pour profiter à tous les enfants. En effet, les fonctions exécutives peuvent être plus efficaces suite à l'engagement des enfants dans une pratique d'activité physique et leur développement peut se montrer plus important chez les enfants les plus actifs physiquement (Aadland et al., 2017, 2017; Best, 2010; Chen et al., 2014; de Greeff et al., 2018; van der Niet et al., 2015). On parle alors respectivement d'effets aigus et d'effets chroniques de l'activité physique sur les fonctions exécutives. Dans une perspective développementale, nous nous intéresserons plus particulièrement aux effets chroniques de l'activité physique sur les fonctions exécutives. L'activité physique a été investie dans de nombreux travaux interventionnels à des fins de santé (Janssen & LeBlanc, 2010). Nous avons aujourd'hui de nombreux exemples d'interventions d'inclusion d'activité physique pour différents objectifs dans des milieux variés et des populations différentes. Aussi, l'activité physique a pu être envisagée comme facteur d'amélioration des performances académiques des élèves (de Greeff et al., 2018). Des modèles récents envisagent que le lien entre l'activité physique et la performance académique pourrait être indirect : ce serait l'effet de l'activité physique sur les fonctions exécutives qui permettrait l'amélioration des

performances académiques. Les fonctions exécutives seraient alors un médiateur du lien entre l'activité physique et la performance académique (Schmidt et al., 2017). Comme les enfants qui rencontrent des situations de vie difficiles, e.g., conditions socio-économiques défavorisées, ont plus de risques de présenter des fonctions exécutives moins efficaces et des performances académiques moins importantes que celles d'enfants issus de milieux plus favorisés, c'est auprès de ces enfants que des travaux interventionnels devraient être menés en priorité.

Cette thèse a pour objet l'étude des liens entre la pratique d'activité physique et le développement des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire et s'articule autour de trois objectifs généraux :

1. Étude des liens entre l'AP habituelle et l'efficacité des FE de base d'enfants d'âge scolaire.
2. Étude de la nature des liens entre AP, performance académique et FE chez des enfants issus de milieux défavorisés.
3. Étude des effets de l'inclusion de pauses actives en classe sur le développement des FE, l'AP, la performance académique et la qualité de vie à l'école d'enfants issus de milieux défavorisés.

Une première étude transversale et observationnelle sera conduite afin de répondre au premier objectif de cette thèse et une seconde étude longitudinale et interventionnelle avec groupe contrôle permettra de répondre aux objectifs 2 et 3.

Le manuscrit s'articule selon un plan tripartite dans lequel nous retrouverons une introduction théorique au problème posé, une présentation des travaux initiés dans cette thèse et une discussion critique des résultats obtenus à la lumière des connaissances scientifiques actuelles. Les forces et les limites de nos travaux seront abordées, ainsi que leurs implications pratiques et leur portée en recherche.

Partie 1 : Introduction théorique

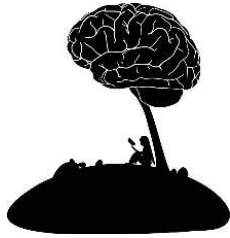
« ... et je sens tressaillir en moi quelque chose qui se déplace, voudrait s'élever, quelque chose qu'on aurait désancré, à une grande profondeur ; je ne sais ce que c'est, mais cela monte lentement ; j'éprouve la résistance et j'entends la rumeur des distances traversées. »

Marcel Proust, *Du côté de chez Swann*, 1913

1 Chapitre 1 : Les fonctions exécutives, entre unité et diversité

« La nature aime se cacher »

HERACLITE



Nous ouvrons ce travail doctoral sur un chapitre dédié aux fonctions exécutives. Le concept sera abordé à travers les perspectives épistémologiques et neuropsychologiques. Nous rendrons compte des modèles classiques et de modèles actuels apportant des éléments de consensus. Nous aborderons la singularité de l'ontogénèse des fonctions exécutives de base et mettrons en perspective les enjeux liés au développement de ces fonctions primordiales chez l'enfant et en le considérant comme un adulte en devenir. Enfin, nous nous interrogerons sur les variables qui permettraient de favoriser le développement des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire.

1.1 Les fonctions exécutives, processus cognitifs d'adaptation

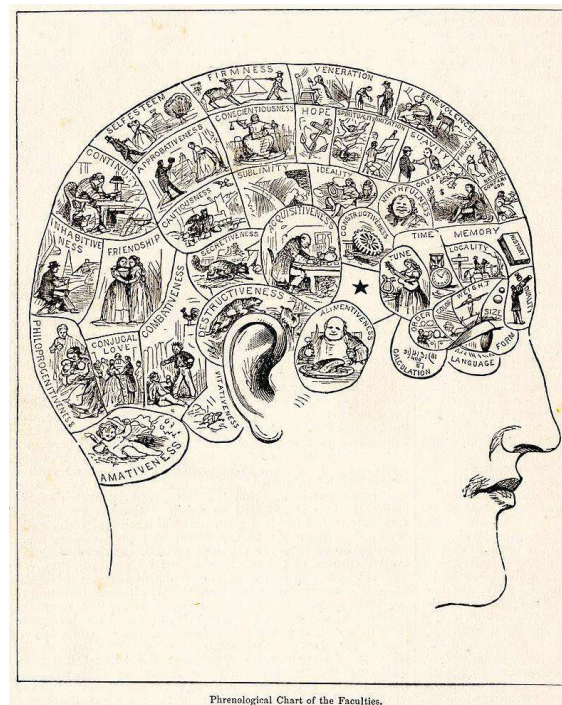
1.1.1 Naissance du concept de fonctions exécutives

Le questionnement humain sur la structure et le fonctionnement de ses propres fonctions mentales n'est pas nouveau ; durant l'Antiquité, l'Homme était déjà à la recherche du siège de l'âme en son corps. Le travail de Messerli (1993) recense la présence d'écrits relevant d'observations « neuropsychologiques » dans des papyrus datant de 3000 avant J.-C. Cependant, ce n'est qu'à la fin du XVIIIème siècle que des études princeps ont ouvert la voie avec les travaux de Franz Gall (1758-1828) fondateur de l'organologie (rebaptisée phrénologie) et, plus tard, le cas Phineas Gage de l'été 1848 devenu paradigmatique.

La phrénologie a pour ambition de reconnaître les dispositions intellectuelles et morales de l'homme et de l'animal par la configuration du crâne du sujet. Pour Gall, le cerveau serait fait d'organes spécialisés dans différentes fonctions de haut niveau dont la taille serait proportionnelle à leur efficacité (Gall et al., 1807). Ces organes cérébraux influenceraient la forme du crâne, notamment par la présence de « bosses » dont Gall propose un modèle interprétatif (voir figure 1). C'est de là que nous vient l'expression populaire de la « bosse des maths », protubérance que l'on observerait sur le front des personnes douées en mathématiques et en raisonnement logique. Cette théorie connu succès et scandales ; toutefois, l'idée de considérer le cerveau comme siège de l'âme à une époque empreinte de dualisme entre le corps et l'esprit et de considérer l'existence de spécialisation cérébrale à une époque où les connaissances en neurologie étaient rudimentaires était révolutionnaire (Damasio, 2010).

Figure 1

Crâne phrénologique de Gall

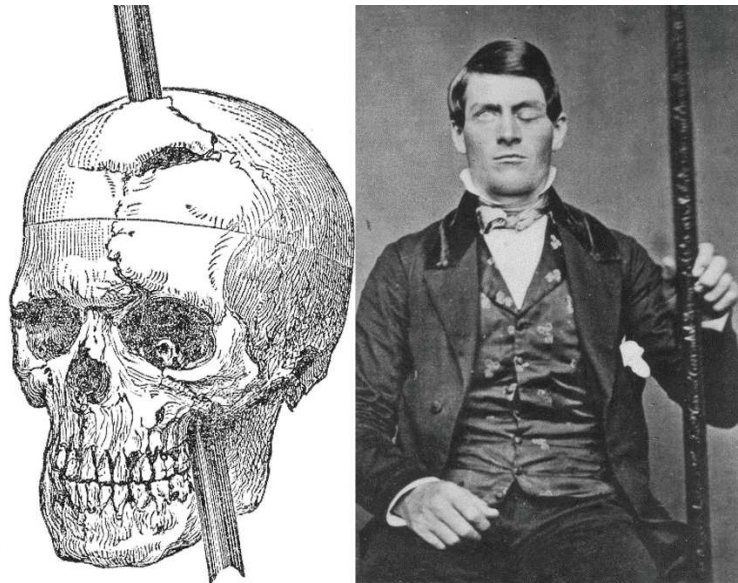


Phineas Gage était un chef d'équipe dans la construction de voies ferrées dans le Vermont. Il était vu comme un spécialiste du bourrage de mines, activité requérant à la fois concentration et force physique. Une erreur de manipulation coûta à Gage sa carrière et de devenir un cas d'école en neuropsychologie : un cas des plus énigmatiques qui anima la recherche jusqu'à très récemment. Cette erreur de manipulation était que Gage avait bourré une mine avec sa barre avant que le sable n'ait pu être introduit ce qui provoqua une explosion brutale. Gage fut projeté sur le dos et sa barre métallique pénétra son crâne par sa joue gauche, traversa l'avant de son cerveau et retomba à une trentaine de mètres plus loin (voir figure 2). Son suivi révéla qu'il avait pu récupérer complètement de cet accident sur le plan physique : il était capable de se déplacer et ne présentait pas de problème d'élocution. A l'époque, cette récupération avait mené à penser que l'avant du cerveau ne devait pas jouer un rôle important (Damasio, 2010). Toutefois, le docteur Harlow, qui avait suivi le cas de près, soulignait que Gage avait perdu l'équilibre entre ses « facultés intellectuelles et ses pulsions animales » (Harlow, 1993). En effet, la personnalité de Gage avait changé : « Gage n'était plus Gage ». Il n'était plus la personne appréciée, équilibrée et persévérante qu'il avait été. Il était désormais d'humeur changeante, peu respectueux, capricieux, proférait des jurons et abandonnait rapidement les projets qu'il débutait. A l'époque des grandes découvertes sur la spécialisation des aires cérébrales via les lésions (e.g., travaux de Paul Broca et de Carl Wernicke), le cas Phineas Gage restait une énigme et fut particulièrement controversé. Il fallut attendre les années 90 pour que le dossier soit rouvert. Les techniques d'investigation et les connaissances alors acquises permirent d'élucider le cas Gage : les

lésions sélectives du cortex préfrontal avaient atteint les zones en lien avec l'anticipation des actions pour l'avenir et la conduite sociale (Damasio et al., 1994). Le cas Phineas Gage permit d'identifier le rôle essentiel du lobe frontal dans le contrôle comportemental et ouvrit la voie à de nombreux travaux sur les syndromes dits frontaux.

Figure 2

Phineas Gage - Gravure du crâne de Phineas Gage traversé par sa barre à mine (à gauche), Phineas Gage posant avec sa barre à mine après son accident (à droite)



Les blessures de guerre de la deuxième guerre mondiale marquèrent un nouveau point d'intérêt pour les syndromes frontaux, notamment à travers les travaux d'Aleksandr Luria, neuropsychologue russe. Ce dernier s'est interrogé sur le fonctionnement cognitif dans les années 60 et proposa un modèle qui prépara le terrain aux approches contemporaines. Le modèle du fonctionnement cognitif de Luria fut proposé en 1973 et distinguait alors trois unités fonctionnelles (Luria, 1997). Chaque unité du modèle a sa spécialisation et son rôle particulier mais, chacune fonctionne de manière intégrative et interdépendante : l'expression particulière des unes est fonction de l'expression des autres. Selon Luria, la première unité régule l'excitation cérébrale en modulant, selon les besoins, les réseaux d'activation du thalamus, de l'amygdale, des ganglions de la base et du cortex via le système réticulaire. La deuxième unité reçoit, analyse et stocke les informations externes. Elle est composée de trois zones de traitement : (1) une zone d'input des informations sensorielles (les informations visuelles reçoivent un premier traitement dans le lobe occipital, les informations auditives dans le lobe temporal) et les informations tactiles dans le lobe pariétal) ; (2) les informations sont ensuite acheminées vers une zone d'association unimodale où les informations issues des différentes zones d'imput sont assemblées ; (3) le processus se termine dans une zone plus abstraite où les informations sont codées de manière amodale. De la première à la troisième zone de traitement de l'information, les processus sont de plus

en plus abstraits et de haut niveau. La troisième unité fonctionnelle programme, régule et vérifie les actions. Luria s'intéressa tout particulièrement à cette troisième unité logée dans le cortex frontal qu'il considérait comme une superstructure au-dessus des autres parties. Ses travaux sur les lésions chez l'animal permirent de montrer que les atteintes de la région frontale entraînaient des troubles du comportement qui empêchaient l'animal de sortir de ses comportements routiniers et de s'adapter et il souffrait de désinhibition. La programmation de comportements complexes se retrouvait alors entravée. De ses observations chez l'animal et chez des cas cliniques humains, Luria décrit le processus de contrôle comme une comparaison continue entre l'action effective et le résultat attendu. Lorsque qu'ils coïncidaient, l'action était terminée, sinon l'action était modifiée par des corrections successives jusqu'à l'atteinte du résultat escompté. Les atteintes frontales avaient alors des répercussions sur toutes les activités non-routinières et/ou complexes.

La lésion de Phineas Gage qui entrava son raisonnement social et sa capacité à prendre de bonnes décisions pour son avenir et la troisième unité fonctionnelle de Luria, unité capable de programmer et contrôler les actions sont liées à ce que Lezak nomma les « fonctions exécutives » (de l'anglais « executive » : le contrôle, l'administration). L'expression englobe un ensemble d'habiletés de haut niveau nécessaires à la réalisation de comportements dirigés vers un but. Les fonctions exécutives (FE) sont essentiellement dépendantes de l'activité du lobe frontal et de ses réseaux neuronaux (Luria, 1966).

1.1.2 La possibilité de choisir et contrôler ce que nous faisons

Les travaux menés en biologie renouvellent au fil des découvertes combien les organismes et leur environnement entretiennent des liens étroits. Les essais de théorisation de l'évolution des espèces initiés par Jean-Baptiste Lamarck (1744 – 1829) et Charles Darwin (1809 – 1882) ouvrirent la voie au questionnement sur les processus d'adaptation des espèces. Une espèce qui s'adapte, c'est une espèce qui survit, en témoignent les adaptations structurelles (e.g., l'adaptation de la forme du bec d'une race d'oiseau à l'autre en fonction de son alimentation : le bec de l'aigle, court, puissant et crochu, optimisé pour l'alimentation carnivore vs. le bec de la mésange, fort et fin, optimisé pour l'alimentation granivore), physiologiques (e.g., l'hibernation) ou comportementales (e.g., la migration saisonnière des hirondelles ou le phototropisme du tournesol) du vivant. A cette heure où les changements environnementaux comme sociétaux s'accélèrent et/ou s'intensifient, les capacités adaptatives des organismes sont mises à rude épreuve et constituent un enjeu primordial (Moran & Gillett-Netting, 1998). En psychologie, nous nous intéressons aux processus qui sous-tendent les adaptations comportementales des individus. Le concept d'adaptation y est largement influencé par son origine biologique et a été défini en 2002 par Jukobovicz comme un « processus qui entoure l'incessante interaction entre l'homme et le monde dynamique dans lequel il évolue et interagit » (cité dans

Simonet, 2009). Ces processus, qui permettent l'ajustement comportemental de l'individu aux contraintes posées par son environnement, sont notamment sous-tendus par les FE.

Le système cognitif humain est complexe et regroupe plusieurs niveaux d'activité. On distingue les processus dits de « bas niveau » impliquant les processus élémentaires de perception, d'émotion ou de motricité, et des processus dits de « haut niveau » impliquant un traitement approfondi de l'information comme le raisonnement, la mémoire ou la prise de décision. Lorsque nous parlons de FE, nous faisons référence à une expression « parapluie » regroupant des habiletés à la fois semblables et différentes sous-tendues par des processus cognitifs de haut niveau. Elles sont à l'œuvre lorsque nous nous engageons dans des conduites dirigées vers un but dans des situations nouvelles, non-routinières et/ou complexes requérant un certain niveau d'attention (Luria, 1966; Stuss & Benson, 1986). Elles nous permettent d'élaborer des comportements complexes afin de répondre aux contraintes de notre environnement physique et interne tout en prenant en compte le passé, le présent et l'avenir. Les FE nous offrent ainsi la possibilité de choisir et de contrôler notre comportement en situation (Diamond, 2013).

Nous utilisons régulièrement nos FE, ce sont elles qui nous permettent d'envisager un nouvel itinéraire lorsque notre trajet habituel est barré pour cause de travaux ; ce sont elles qui nous permettent d'interrompre, l'espace d'un instant, une conversation avec un adulte pour répondre à la demande d'un enfant en ajustant notre registre de langue puis de revenir à la conversation initiale ; ce sont elles qui nous permettent de réfréner notre agressivité pour expliquer calmement à notre voisin qu'il ne peut pas laisser la musique aussi forte à quatre heures du matin afin de conserver de bons rapports de voisinage pour le futur. Les FE nous permettent donc de nous ajuster aux contingences de notre environnement interne comme externe et de nous conduire de manière adaptée. Toutefois, nous ne pouvons pas utiliser nos FE en permanence puisque leur utilisation nécessite une dépense énergétique relativement importante et que nos ressources attentionnelles sont limitées (Norman & Shallice, 1986). Ainsi, nous faisons régulièrement appel à des processus plus « automatiques » pour économiser nos ressources attentionnelles. C'est notamment le cas lorsque nous effectuons des tâches routinières comme lacer nos chaussures, faire du café, taper un texte sur le clavier de l'ordinateur ou faire notre lit. De tels comportements, une fois appris, à force de répétition, deviennent quasi « automatiques » et ne nécessitent que peu de recours aux FE dans leur exécution. Notons tout de même qu'il n'en est pas toujours ainsi. En témoignent nos souvenirs d'enfance quant à l'apprentissage de ces tâches du quotidien qui a pu s'avérer plus ou moins long et difficile ; et en témoignent les pathologies qui entravent l'automatisation de ces comportements, rendant les tâches de la vie quotidienne particulièrement coûteuses cognitivement e.g., le trouble de l'acquisition des coordinations.

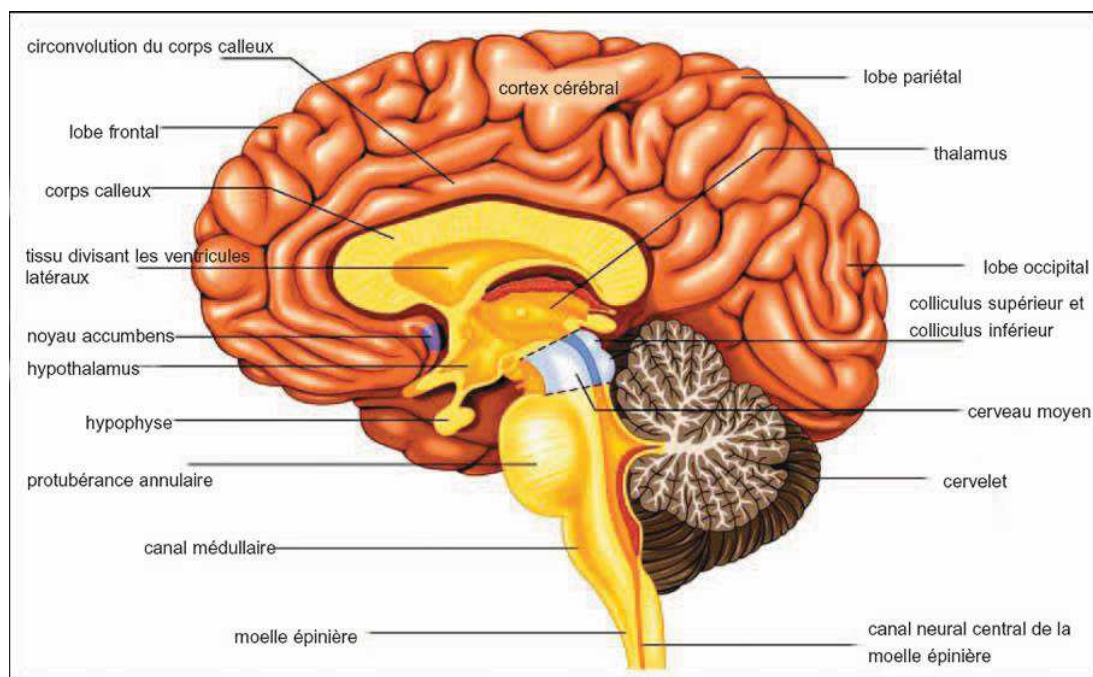
Les FE nous permettent de fonctionner au quotidien et de nous ajuster aux situations. Ces fonctions cognitives qui nous permettent de « transcender le fonctionnement par défaut » (the default mode hypothesis) (Mesulam, 2002) ont largement retenu l'attention de la recherche en neurosciences. Les FE, si singulières par leur structure et leur fonctionnement, sont mêmes envisagées comme étant « la spécificité de l'être humain » (Roy et al., 2012). Intéressons-nous à présent de plus près à ce qui les rend si singulières.

1.1.3 Le cortex préfrontal, siège des fonctions exécutives

L'étude des lésions cérébrales a révélé que le cortex préfrontal (CPF), situé à l'avant dans le lobe frontal du cerveau (voir figure 3), tenait une place de choix dans la mise en jeu des FE et que cette région était particulièrement développée chez l'Homme. Les travaux menés sur le CPF depuis le début du XX^{ème} siècle à aujourd'hui ont permis de mieux comprendre son développement phylogénique et ontogénique, son organisation anatomique et fonctionnelle et son lien étroit avec les FE.

Figure 3

Schéma en coupe sagittale de l'organisation de l'encéphale humain

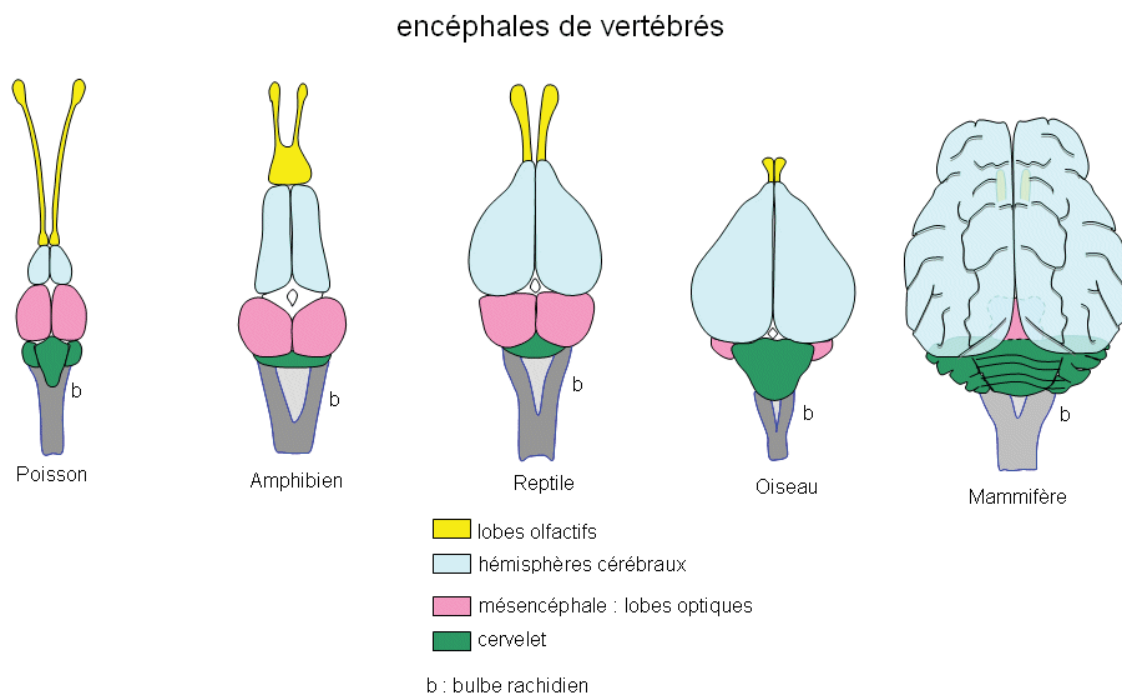


Les travaux menés en anatomie comparée ont mis en évidence des régularités et des différences phylogénétiques dans le développement du cerveau chez le vertébré. Les structures cérébrales fondamentales des vertébrés sont identiques : tous les vertébrés sont dotés de lobes olfactifs, d'un thalamus, d'un hypothalamus, d'un cervelet, d'un bulbe rachidien... Ces structures sont issues d'un même processus neurodéveloppemental du renflement du tube neural en trois (i.e., **proencéphale**, **mésencéphale** et **rhombencéphale**) puis cinq vésicules (**télocéphale**, **diencéphale**, **mésencéphale**,

métencéphale et myélocéphale) aboutissant au système nerveux que nous connaissons chez les vertébrés (Wolpert, 2011) (voir figure 4). Toutefois, d'une espèce à l'autre, le développement relatif de ces structures fondamentales diffère en fonction des besoins d'intelligence propres à l'espèce. Par exemple, le bulbe olfactif (zone de traitement primaire des informations olfactives) est particulièrement développé chez la plupart des vertébrés, mais pas chez les primates, dont l'humain, qui utilisent relativement peu les informations olfactives (Northcutt, 1981).

Figure 4

Schéma de structure comparée d'encéphales des vertébrés (Gallien, 2008)



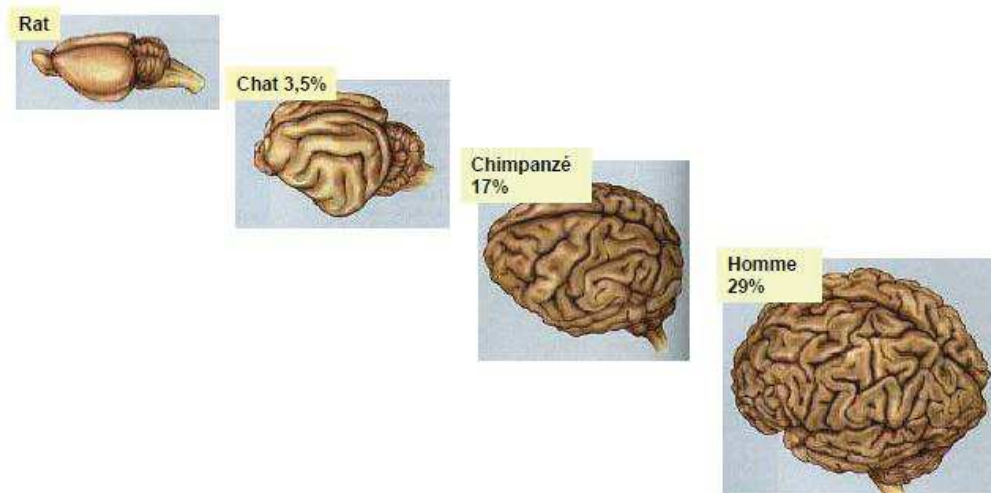
Les mammifères se distinguent des autres vertébrés par le développement important de leur pallium. On l'appelle d'ailleurs cortex cérébral chez le mammifère tant il s'est considérablement développé par rapport à son précurseur. Le cortex cérébral connaît une expansion massive chez les primates par rapport aux mammifères, expansion encore plus importante chez l'humain (Wolpert, 2011). C'est en particulier le CPF qui distingue l'homme des autres animaux. En effet, les travaux de Brodman de 1909 et 1912 (cité dans Bruin, Corner, Feenstra, Eden, & Uylings, 1991) ont montré que le CPF occupait une proportion importante du cortex chez les primates dont l'humain en comparaison avec d'autres mammifères comme le chat ou le rat. Aussi, en phylogénie, le CPF est la partie du cortex la plus récente et celle qui a atteint son développement maximal relatif chez l'homme.

Les travaux menés au XX^{ème} siècle considéraient que l'homme se distinguait de ses proches cousins primates par la taille relativement plus importante de son CPF (voir figure 5). Toutefois, ces travaux anciens avaient été menés uniquement via des comparaisons avec de petits primates. Les travaux

menés dans les années 2000 qui ont comparé le CPF humain avec celui de grands singes ont révélé que le volume relatif occupé par le CPF par rapport à la taille de l'organisme et la taille de son cerveau étaient équivalentes chez l'homme et le grand singe. Ce qui différencierait l'homme des grands primates ne serait plus une question de taille relative du CPF mais plutôt un plus grand volume de matière blanche (i.e., gaines de myélines entourant les axones et favorisant la transmission du potentiel d'action neuronal) contenue dans CPF de l'homme ; ce qui permettrait à l'homme de bénéficier d'une plus grande quantité de communication intra-CPF et avec les autres aires cérébrales que l'animal (Schoenemann et al., 2005; Semendeferi et al., 2002). Ce serait l'importance de ces connexions qui permettrait à l'homme de se distinguer des animaux et des grands singes par l'étendue de ses capacités de raisonnement, de mémoire et de prise de décision consciente.

Figure 5

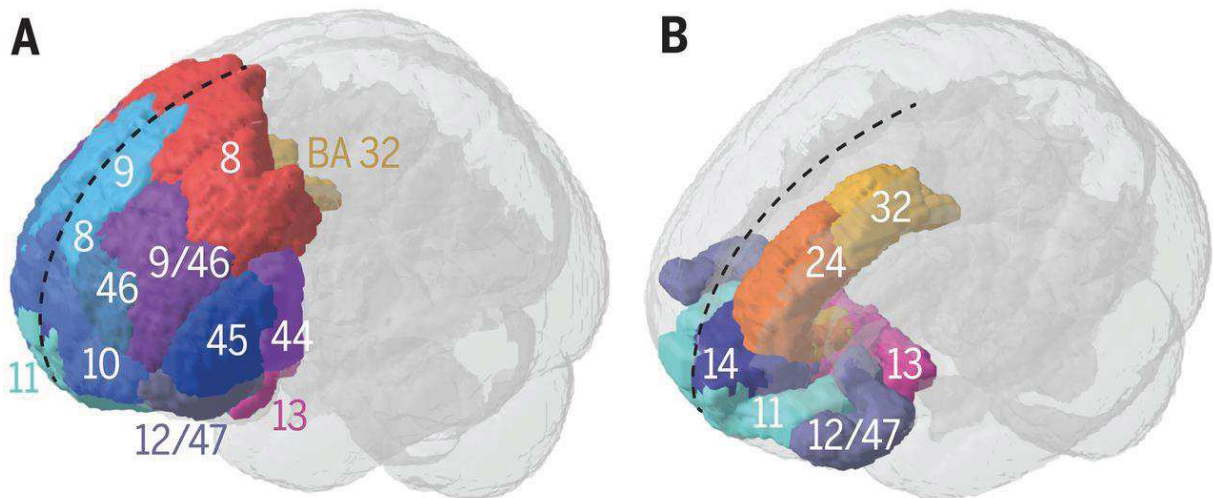
Pourcentage du cortex cérébral occupé par le cortex préfrontal chez le mammifère



Korbinian Brodmann s'est essayé à une cartographie du cortex en de nombreuses aires en fonction de leur citoarchitecture (distribution, densité, forme et taille des corps cellulaires) chez l'animal (notamment le primate) et chez l'humain (Brodmann, 1906-1909 cité dans (Amunts & Zilles, 2015)). Bien que très largement débattus, les travaux du pionnier ont eu un impact majeur en neurosciences, si bien que la structure neuroanatomique du cortex cérébral est, de nos jours, encore envisagée selon la cartographie de Brodmann affinée et enrichie (voir figure 6) (Amunts & Zilles, 2015)). Les aires structurales de Brodmann présentent, pour certaines, une homologie fonctionnelle : i.e., le cortex moteur primaire (contrôle de l'exécution du mouvement) correspond à l'aire 4 de Brodmann et l'aire auditive primaire (enregistre les sons sans les interpréter) correspond aux aires 41 et 42 de Brodmann. Toutefois, notons bien que toutes les aires de Brodmann ne sont pas strictement associées à une fonction cérébrale particulière.

Figure 6

Aires de Brodmann du cortex préfrontal humain (Carlén, 2017)



Note: (A and B) Tilted frontal-side view (left) of the human brain. (A) Schematic illustration of Brodmann areas (BAs) in the prefrontal cortex, including ACC. Note that not all prefrontal BAs are visible [see (B) for additional BAs]. (B) Schematic illustration of medial and ventral BAs in the prefrontal cortex, including ACC. Dashed black line indicates sagittal midline.

Lorsque l'on s'intéresse au CPF en tant que siège possible des fonctions exécutives, il va de soi de s'interroger sur les fonctions du CPF. Les travaux menés sur des cas de lésion précoce du lobe frontal humain ont notamment pu mettre en évidence que l'atteinte de l'aire 10 de Brodmann pouvait entraîner l'apparition de comportements impulsifs et l'atteinte de l'aire 14 de la désinhibition (Eslinger, Biddle, Pennington & Page, 1999). Chez le primate non-humain, des variations du niveau de norépinéphrine ont pu moduler le fonctionnement du CPF : une concentration importante de norépinéphrine entraînait des manifestations comportementales mimant la symptomatologie du trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité TDA-H (impulsivité et hyperactivité motrice) (Arnsten & Li, 2004). L'ensemble des travaux menés sur les fonctions du lobe frontal ont pu mener à un découpage du CPF en divers aies fonctionnelles spécifiques. Le découpage dit « classique » comprend trois aires fonctionnelles (d'après Fuster, 2009) :

❖ Cortex préfrontal dorsolatéral

- **Neuroanatomie** : aires 9 et 46 de Brodmann
- **Fonction** : pilote les processus cognitifs en lien avec les fonctions mentales supérieures comme la planification, la mémoire de travail, la résolution de problème et la direction et le maintien de l'attention.
- **Connections principales** : hippocampe

L'atteinte de cette aire est liée à des troubles cognitifs, notamment des troubles de l'attention (e.g., distractibilité, difficulté à se concentrer longtemps sur une tâche,

difficulté à gérer plusieurs tâches simultanément) ou de la mémoire (Volle & Levy, 2014). Les performances de mémoire de travail sont en lien avec la concentration d'acide γ -aminobutyrique (GABA), neurotransmetteur inhibiteur du cerveau le plus répandu, dans le CPF dorsolatéral. La concentration de GABA peut expliquer les performances de sujets humains sains à une tâche de mémoire de travail : plus la concentration de GABA était importante dans le CPF dorsolatéral, meilleure était la performance de mémoire de travail des sujets (Yoon et al., 2016).

❖ **Cortex préfrontal orbitofrontal**

- **Neuroanatomie** : aires 10 et 11 de Brodmann
- **Fonction** : prise en compte des informations sensorielles et émotionnelles dans la prise de décision. Lié à l'attachement social et à la régulation des émotions.
- **Connexions principales** : système limbique

Le CPF orbitofrontal participe à la modulation de l'apparition de comportements d'agression consécutifs à un événement frustrant (Blair, 2004) et à la régulation des comportements (Dolan, 2007). Une atteinte du CPF orbitofrontal peut entraîner des comportements de prise de risque (notamment à des jeux d'argent), même lorsque la stratégie la plus avantageuse est clairement exposée (Bechara et al., 1997).

❖ **Cortex préfrontal ventrolatéral**

- **Neuroanatomie** : aires 44, 45 et 47 de Brodmann
- **Fonction** : prise de décision en situation globale. Prise de décisions sociales, production de jugement, permission à l'émotion d'entrer dans le processus de prise de décision. Son activation est notamment liée au courage, à la honte ou à la culpabilité
- **Connexions principales** : amygdale, lobe temporal, thalamus

Le CPF ventrolatéral est notamment engagé dans les processus de réinterprétation d'un stimulus, dans les tâches de suppression (i.e., consigne de taire les émotions) (Sturm et al., 2016).

Les avancées techniques à l'œuvre en imagerie cérébrale, notamment avec les révolutions de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) nous pouvons avancer de plus en plus près du cerveau en fonctionnement. Les premières techniques IRM mises au point dans les années 70 ont permis de rendre compte de la structure des tissus mous avec une excellente résolution : on pouvait visualiser l'anatomie cérébrale in vivo. Dans les années 90, l'avènement de l'IRM fonctionnelle nous a permis

d'appréhender de manière indirecte l'activité du cerveau via les variations locales d'influx sanguin (Andreelli & Mosbah, 2014). A l'aube des années 2000 l'imagerie du tenseur de diffusion a permis d'approcher encore plus près du fonctionnement cérébrale en nous permettant de suivre la direction principale des fibres blanches et de reconstruire par tractographie les trajectoires des faisceaux pour rendre compte des connexions entre les différentes zones cérébrales en activité (Delmaire et al., 2007; Yogarajah et al., 2009).

De très récents travaux menés sur des banques de données d'images obtenues par tractographie sur des participants engagés dans des tâches impliquant des capacités spécifiques (e.g., tâches motrices, tâches de mémoire) ont pu mettre au jour une douzaine d'aires cérébrales spécifiques tant sur le plan structurel que fonctionnel au sein du CPF qui correspondaient aux zones déjà documentées dans la littérature (voir figure 7) (Thiebaut de Schotten et al., 2017). Ces travaux ont également pu confirmer la disposition selon l'axe rostro-caudale des fonctions d'association de haut niveau (les parties les plus antérieures du cortex frontal étant notamment liées aux processus de contrôle, à la mémoire et aux comportements sociaux) aux fonctions les plus simples. L'épaisseur corticale se distribuerait également sur l'axe rostro-caudale du plus épais au plus fin. Ces résultats vont dans le sens des résultats retrouvés par ailleurs avec d'autres facteurs comme la myélinisation, la densité cellulaire ou la complexité synaptique et dendritique intrinsèque à une zone corticale (Wagstyl et al. 2015 ; Zilles et Amunts, 2015 cités dans Thiebaut de Schotten et al., 2017).

Figure 7

Aires fonctionnelles cérébrales du lobe frontal (Thiebaut de Schotten et al., 2017)



En résumé, depuis les observations anatomo-cliniques de Harlow et les travaux sur le cas Phineas Gage, les fonctions qui permettent à l'Homme de moduler son comportement n'ont eu de cesse de questionner et de fasciner les neurosciences. Ces fonctions cognitives de haut niveau qui permettent de répondre de manière adaptée aux situations nouvelles, non-routinières et/ou complexes sont les FE.

Les FE siègeraient principalement dans CPF, zone du cerveau remarquable par son évolution lente tant sur le plan phylogénétique qu'ontogénétique et qui a atteint son apogée dans l'espèce humaine. Nous avons tenté de nous rapprocher au plus près de sa structure et son fonctionnement en diversifiant les approches et les techniques et nous avons pu mieux connaître cette aire si particulière par la complexité de sa structure, de ses fonctions et des nombreux liens qu'elle entretient avec elle-même et les autres structures corticales et sous-corticales. Toutefois, la nature et les fonctions du CPF

sont encore à préciser et quoiqu'il en soit, "We can be confident that the prefrontal cortex did not evolve to enable animals to learn delayed response problems"¹ (Warren et al., 1972).

Si le support anatomique des FE demeure mystérieux, ces dernières ne le sont pas moins. Les neurosciences s'interrogent aujourd'hui encore à la compréhension des FE et de leur fonctionnement pour mieux comprendre les remarquables capacités adaptatives de l'humain et les potentialiser chez les individus qui en ont besoin. Les connaissances actuelles des FE, leurs modèles, leur développement et leur importance seront abordés à la suite de ce chapitre.

1.2 Modèles des fonctions exécutives

Comment prenons-nous une décision ? Comment décidons-nous de faire une action ou une autre ? Quels mécanismes sous-tendent les prodigieuses capacités adaptatives de l'être humain ? Ces questions qui ont suscité un vif intérêt en neurosciences ces cinquante dernières années et ont donné lieu à pléthore de travaux. Déjà dans les années 50, nous différencions deux processus attentionnels : l'un automatique, l'autre contrôlé. Le premier étant non-conscient et le second conscient et permettant d'orienter l'action vers un but et inhiber d'autres processus attentionnels plus automatiques (Broadbent, 1957). Cette distinction centrale servie de base à l'identification de nombreux mécanismes cognitif et à l'élaboration de nombreux modèles des fonctions assurées par le CPF. Nous aborderons dans cette partie des modèles classiques du fonctionnement exécutif et proposerons des modèles actuels faisant consensus dans la communauté scientifique.

1.2.1 L'apport de Shallice : Le système attentionnel superviseur

Les travaux de Luria ont fortement influencé les neurosciences cognitives, notamment le modèle devenu classique de Norman et Shallice (1980) (voir figure 8). Pour ces auteurs, la pensée et l'action sont sous-tendues par trois niveaux de contrôle : un niveau automatique, un niveau semi-automatique et un niveau « contrôlé ». La majorité des activités quotidiennes peuvent être réalisées de manière plus au moins automatisée à l'aide de schémas de pensée et d'action que nous avons intégrés et demandent un contrôle minimal. Toutefois, il nous arrive de rencontrer des situations dans lesquelles ces schémas ne suffisent plus pour répondre de manière adaptée et nous devons exercer un contrôle plus important pour atteindre nos buts. Voyons les spécificités de ces différents niveaux de contrôle.

¹ Mais nous pouvons être sûrs que le CPF n'a pas évolué pour permettre aux animaux d'apprendre à résoudre des problèmes de réponse différée (traduction libre)

Figure 8

Modèle simplifié de Norman & Shallice 1980, d'après Norman & Shallice (1986)

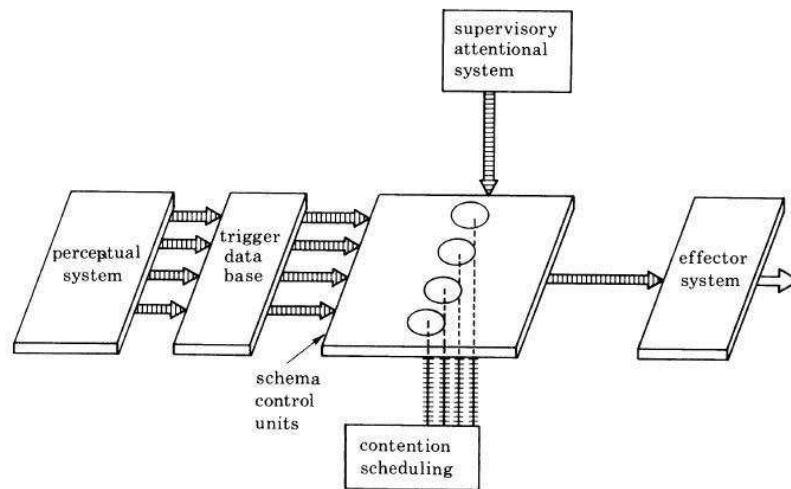


FIGURE 1. A simplified version of the Norman & Shallice (1980) model representing the flow of control information. The lines with arrows represent activating input, the crossed lines represent the primarily mutually inhibitory function of contention scheduling. The term 'effector system' refers to specific purpose-processing units involved in schema operation for both action and thought schemas. In the latter case schema operation involves placing information in short-term stores that can activate the trigger data base.

Le contrôle automatique consiste en la mise en œuvre de nos routines. Celles-ci sont sous-tendues par des *schémas* : unités de connaissances qui guident les séquences de pensée ou d'action. Ces schémas sont activés en fonctions d'indices contextuels ou d'affordances liés à l'environnement et par nos dispositions internes. Nous utilisons nos schémas internes automatisés lorsque nous n'avons pas besoin de faire un effort attentionnel particulier pour penser ou faire quelque chose e.g., nous brosser les dents, ouvrir une porte ou prendre une note sur notre agenda. Il peut arriver que différents schémas s'activent dans des situations plus ou moins familières. C'est là qu'intervient un système semi-automatique permettant de sélectionner le schéma le plus pertinent à appliquer à la présente situation parmi les schémas mis en compétition. Ce système est le *gestionnaire des conflits* (« contention scheduling »). C'est lui qui nous permet de penser à tourner à droite pour nous rendre chez un ami de longue date plutôt qu'à gauche sur la route habituelle pour aller au travail.

Mais toutes les situations que nous rencontrons ne sont pas routinières et on ne peut pas toujours y répondre à l'aide des quelques stratégies que nous avons intégrées. Nous devons parfois faire face à des situations non-routinières, nouvelles et/ou complexes qui requièrent un effort attentionnel pour y répondre de manière appropriée ou pour corriger une erreur éventuelle. C'est dans ce type de situations qu'intervient le *système attentionnel superviseur (SAS)* capable de coordonner et superviser les schémas de manière attentionnelle, lente et adaptée pour atteindre un but. Notons qu'ici que le terme « attention » est à envisager comme concept général faisant référence à l'allocation des

ressources. Le SAS est capable d'intervenir dans la sélection des schémas en modulant les seuils d'activation pour que les plus pertinents deviennent plus probables, et ce, par la modulation du gestionnaire des conflits. Le SAS permet donc la mise en œuvre de planifications complexes et d'adaptation à des situations nouvelles. Plus précisément, ce système intervient dans cinq types de situations :

1. Les situations de planification ou la prise de décision
2. Les situations de correction des erreurs
3. Les situations nouvelles impliquant de nouveaux apprentissages
4. Les situations dangereuses et techniquement difficiles
5. Les situations impliquant l'inhibition d'une réponse renforcée

Les travaux menés auprès de patients souffrant d'atteintes frontales ont mis en avant que les patients avaient des capacités préservées pour la réalisation d'activités routinières, mais étaient en échec devant des situations nouvelles ou nécessitant un certain niveau de planification (Shallice, 1982; Shallice & Evans, 1978). Ces travaux ont permis de valider ce modèle du contrôle de l'action et de localiser le SAS comme système de contrôle volontaire de l'action et de l'adaptation en conscience dans le CPF. Le SAS correspondrait alors à une entité unique « d'arbitrage », du moins dans sa conception initiale.

1.2.2 L'apport de Baddeley : la mémoire de travail

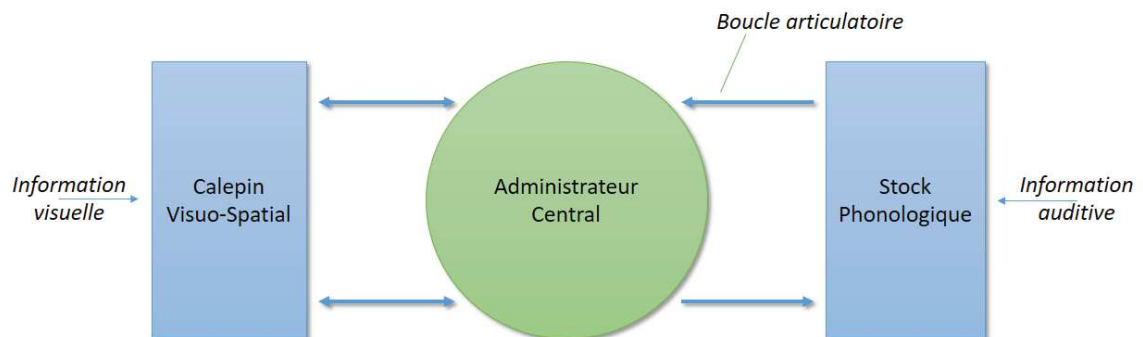
Depuis la révolution cognitive qui permet de dépasser les limites de la conception behavioriste, la cognition est envisagée comme un ensemble de processus mentaux capables d'intégrer des informations, d'en former des représentations, les stocker, les transformer, les manipuler et les mettre en œuvre. Les recherches menées dans les années 50 ont montré que nos ressources attentionnelles étaient limitées et que nos activités entraînent en concurrence. Parmi les travaux les plus représentatifs, nous pouvons citer les travaux d'écoute dichotique (Cherry, 1953) qui ont pu mettre en avant la concurrence cognitive et permis de développer le concept d'attention divisée (i.e., capacité à gérer plusieurs tâches en même temps). Les tâches d'attention divisée auditive ont notamment pu montrer que nous n'étions pas capables de restituer l'énoncé de deux messages diffusés simultanément l'un dans l'oreille droite, l'autre dans l'oreille gauche lorsqu'on demandait de se focaliser sur l'un des deux énoncés. Aussi, il est presque impossible de mémoriser deux messages simultanés utilisant le canal auditif. Pour interpréter ces observations, Baddeley proposa le concept de mémoire de travail (MDT).

La MDT fait référence à la capacité de retenir en mémoire et manipuler des informations (Baddeley & Hitch, 1974), on l'utilise notamment dans la tâche de calcul mental. Baddeley propose un modèle triparti de la MDT (voir figure 9) : elle serait composée de deux systèmes esclaves de stockage

temporaire de l'information selon sa nature (i.e., un système spécialisé dans le traitement de l'information auditive, l'autre spécialisé dans le traitement de l'information visuelle) et d'un administrateur central amodal de contrôle des opérations de traitement et faisant le lien avec la mémoire à long terme (MLT) (sélection des stratégies cognitives, gestion du stockage et du traitement de l'information) (Baddeley & Hitch, 1974). L'administrateur central est la composante attentionnelle du modèle dont le fonctionnement peut être compris, selon l'auteur, grâce au SAS de Shallice (Baddeley, 1986).

Figure 9

Modèle de la mémoire de travail d'après Baddeley et Hitch (1974)



La *boucle phonologique* est le système esclave qui stocke et manipule l'information verbale et la parole (Gathercole & Baddeley, 1993). Elle est constituée d'un *registre phonologique* passif capable de retenir un nombre limité d'informations verbales court terme. L'information y est codée sous une forme phonologique et est amenée à décliner en moins de deux secondes si elle n'est pas « rafraîchie ». Afin de maintenir l'information en mémoire, la boucle phonologique est dotée d'une *boucle d'auto-répétition* articulatoire (analogue à un langage intérieur) responsable du rafraîchissement cyclique de l'information dans le registre de stockage en la réactivant. Ce processus d'auto-répétition subvocale est aussi impliqué dans la conversion de stimuli visuels en codes phonologiques. En effet, des mots lus sont mieux retenus lorsqu'ils sont phonologiquement dissimilaires que similaires. La boucle phonologique a été très largement documentée et mise en évidence dans la littérature et les sous-composantes de la boucle phonologique ont été inférées d'observations cliniques. Le registre phonologique a été défini à partir de l'effet de similarité phonologique : il a été observé que lors de tâches de rappel sériel, les items phonologiquement proches étaient moins bien rappelés que ceux plus éloignés, cet effet serait dû à une confusion entre les traits phonologiques des items se trouvant dans le stock phonologique (Baddeley, 1966). La boucle

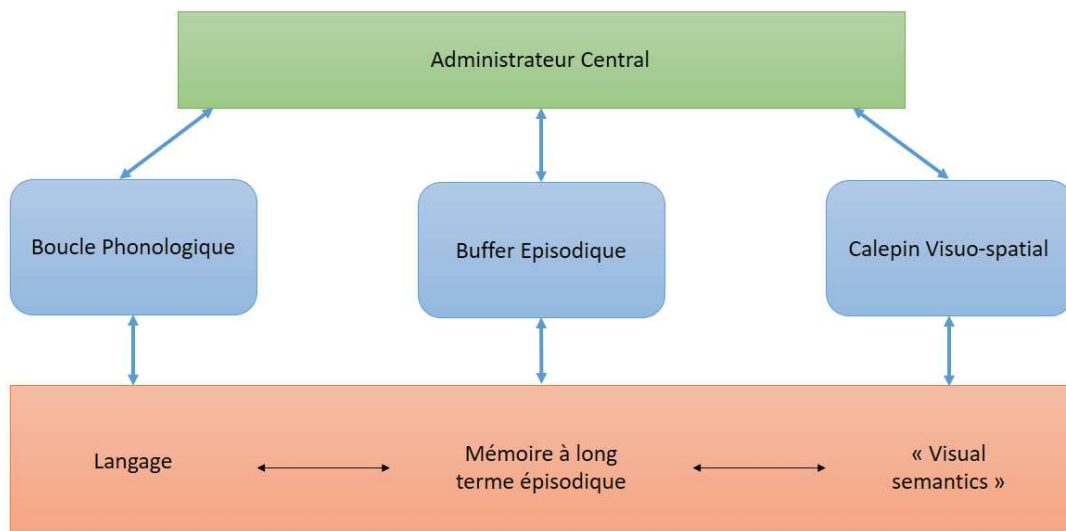
articulatoire a été définie à partir de l'effet de longueur des mots : il a été observé que les mots longs étaient moins bien retenus que les mots courts et que les mots ayant la même longueur et le même nombre de syllabes étaient moins bien retenues lorsqu'ils étaient plus longs à prononcer, cet effet serait dû au fait que les mots longs sont plus longs à rafraîchir par le processus d'autorépétition subvocale et ainsi plus sensibles au déclin en mémoire. Il a aussi été remarqué que si durant la période d'encodage, le sujet devait prononcer un mot sans signification, les items étaient moins bien retenus, en effet, prononcer un mot sans signification vient entraver le processus de répétition subvocale et empêche le rafraîchissement de l'information en mémoire (on parle d'effet de suppression articulatoire) (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975).

Le *calepin visuo-spatial* est le système esclave qui stocke et manipule l'information visuelle directe (informations issues de la perception visuelle) et indirecte (image mentale produite à partir des informations verbales de la boucle phonologique). Le calepin visuo-spatial est constitué d'un *cache visuel* passif capable de retenir un nombre limité d'informations visuelles à court terme. Par analogie à la boucle phonologique, ce sous-système est sensible au nombre d'informations à retenir et son contenu disparaît rapidement s'il n'est pas rafraîchi. Toujours par analogie à la boucle phonologique, le *scribe interne* rafraîchit et manipule l'information visuelle. Le calepin visuo-spatial a très peu été étudié par rapport à la boucle phonologique, en effet, il s'avère particulièrement difficile d'établir des paradigmes expérimentaux capables de rendre compte du fonctionnement de ce système. Toutefois, les travaux de Logie révèlent deux composantes du calepin visuo-spatial : une composante visuelle et une composante spacio-motrice. La première composante renvoie à la mémorisation à court terme et à la manipulation de configuration visuelles (e.g., test de Wilson dans lequel on utilise des grilles avec des cases noircies (Wilson et al., 1987)), la seconde renvoie à la mémorisation et à la manipulation de mouvements dans l'espace (e.g., tâche des blocs de Corsi dans lequel on pointe des cubes disposés sur une planche (Fournier & Albaret, 2013)).

Le premier modèle de Baddeley s'est montré pertinent pour l'étude de la MDT chez le sujet typique et chez les patients atteints de troubles neuropsychologiques. Toutefois, ce modèle ne permettait pas d'expliquer certains phénomènes. En effet, l'observation d'effets de similarités visuelles sur le rappel d'items verbaux (e.g., rappel de chiffres) laisse penser qu'il existe un lien entre la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. La possibilité de ne retenir que 5 mots isolés et plus d'une quinzaine s'ils peuvent, entre eux, avoir du sens laisse penser que la MLT joue un rôle dans la rétention d'informations à court terme en formants des unités de sens (chunks) (Miller, 1956). Pourtant, des patients de neuropsychologie affichant des problèmes de mémoire à court terme avec une MLT préservée n'ont pas pu montrer de capacités préservées lors de tâches permettant de réaliser des unités de sens. Le lien à la MLT ne serait donc pas si direct.

Figure 10

Modèle de la mémoire de travail, d'après Baddeley (2000)



En réponse à ces phénomènes, Baddeley, actualise son modèle en incluant le *buffer épisodique* (Baddeley, 2000) (voir figure 10), système esclave de capacité limitée capable de stocker et manipuler des informations de différentes modalités sous le contrôle de l'administrateur central. Ce système est dit épisodique puisqu'il peut retenir des informations intégrées dans l'espace et potentiellement dans le temps. Le buffer épisodique est une interface où l'on retrouve des informations codées différemment en provenance des autres systèmes esclaves ou de la MLT et choisies en conscience par le biais de l'administrateur central. Ce système esclave particulier permet de retenir et manipuler des informations issues de différentes sources ensemble. En ce sens, des informations perceptuelles peuvent être consolidées par des informations en MLT (processus top-down) et les manipulations faites en MDT peuvent modeler les représentations en MLT (processus bottom-up) par le biais du buffer épisodique. Le buffer épisodique est donc intéressant sur le plan conceptuel puisqu'il permet de répondre aux limites du modèle initial de Baddeley, cependant, à notre connaissance, il n'est pas possible d'en rendre compte expérimentalement.

Les modèles de Baddeley ont été très étudiés et sont largement utilisés en neuropsychologie pour appréhender le fonctionnement normal et pathologique de la MDT. Baddeley a été le premier à modéliser la MDT à partir du concept de mémoire à court terme (MCT). Il s'agit donc d'un modèle modulaire de la MDT dans lequel l'administrateur central serait similaire au SAS de Shallice et rappellerait le concept de fonctions exécutives. Des visions plus unitaires de la mémoire existent comme le modèle de Cowan et le modèle de Engle (cités dans Barouillet & Camos, 2008), toutefois, les modèles existants s'entendent sur le fait que la MDT n'est pas à proprement parler une mémoire

comme on l'entend de la MCT ou la MLT « mais plutôt mais plutôt une structure ou un ensemble de processus dédiés au contrôle et à la régulation des traitements » (Barouillet & Camos, 2008) soumise aux processus attentionnels et inhibiteurs.

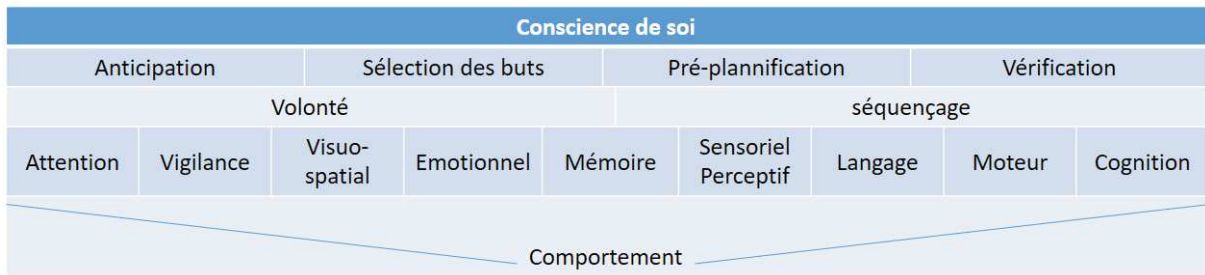
1.2.3 L'apport de Stuss : l'organisation hiérarchique du lobe frontal

Les modèles de Shallice et de Baddeley sont des modèles classiques des FE encore usités de nos jours. Toutefois, dans ces modèles, initialement unitaires, la part exécutive demeure floue et ne permet pas de rendre compte de son fonctionnement (Godefroy et al., 2008). En ce sens, Shallice proposa un fractionnement du SAS en trois étapes : (1) élaboration d'un schéma temporaire (Godefroy et al., 2008; Tim Shallice & Burgess, 1996), (2) Mise en œuvre du schéma temporaire et (3) Evaluation et vérification du nouveau schéma. Ce modèle du SAS a été repris dans les travaux de Stuss et a été utilisé dans l'exploration des lésions frontales focales (Stuss, 2006). Cette étude approfondie des processus cognitifs particuliers touchés par des atteintes frontales a permis à Stuss de distinguer différents patterns de déficits selon la localisation des atteintes frontales et de proposer un modèle hiérarchique du fonctionnement frontal (Stuss & Benson, 1986).

Les travaux neuropsychologiques et expérimentaux de Stuss ont mis en avant que (1) l'atteinte bilatérale des zones frontales médianes supérieures entraînaient des déficits dans l'anticipation et l'initiation d'un comportement, ce que Stuss appelle « energization » ; (2) l'atteinte de la zone latérale gauche du lobe frontal entraînait des difficultés à répondre de manière appropriée à la demande de la tâche : tendance à répondre « oui » en présence de cible et de non-cible. Il y avait alors une difficulté à faire le lien entre le stimulus et la réponse à apporter ; et (3) l'atteinte de la zone latérale droite du lobe frontal entraînait des déficits liés au contrôle global de l'action (Stuss, 2006). Ces résultats montrent un certain fractionnement des fonctions frontales. Aussi, l'auteur observe des maillages entre différentes régions frontales et des régions plus postérieures du cerveau en fonction des tâches effectuées par les participants. Ces réseaux se faisaient autant de manière top-down que de manière bottom-up dans l'ensemble du cerveau. Ainsi, différentes régions du lobe frontal seraient spécialisées dans des fonctions bien particulières et feraient une synthèse des informations issues de l'ensemble du cerveau.

Figure 11

Modèle hiérarchique du contrôle cognitif, d'après Stuss et Benson (1986)



Pour comprendre le lien entre l'activité frontale et le comportement, Stuss et Benson (1986) ont proposé de distinguer deux unités complémentaires permettant l'organisation cérébrale. La première unité (voir figure 11) suppose l'existence de nombreux systèmes fonctionnels sous-tendant les comportements et basés dans les régions basales postérieures du cerveau : *l'attention, la vigilance, les habiletés visuo-spatiales, les émotions, la mémoire, le système sensoriel et perceptif, le langage, les habiletés motrices et la cognition.*

La seconde unité est une unité de contrôle frontal organisé en trois niveaux hiérarchiques. Le premier niveau met en jeu deux noyaux de base fonctionnels : un *noyau motivationnel* et volitif de mise en action, d'initiative et de désir et un *noyau de séquençage* permettant de sélectionner les informations, les séquencer et d'organiser l'action à la manière de « contention scheduling » de Shallice. Ces noyaux de base sont contrôlés par les FE qui se trouvent au deuxième niveau hiérarchique. Elles sont mises en jeu, comme dans le modèle SAS, lors de situations nouvelles, non-routinières et/ou complexes. Dans son modèle on retrouve différentes FE : *l'anticipation* (l'initiation), la *sélection des buts*, la *pré-planification* (sélection des moyens à employer) et la *vérification* (contrôle). Au plus haut niveau hiérarchique, on retrouve la *conscience de soi* ; ce concept fait référence à la capacité à analyser les processus menés aux niveaux inférieurs. Cette zone intégrative ne ferait pas partie intégrante des FE et serait logée dans l'aire 10 de Brodmann (Stuss, 2011).

Stuss proposa un modèle basé sur de nombreux travaux menés auprès de patients porteurs d'atteintes frontales. L'un des apports de Stuss est de s'être intéressé au lobe frontal et non pas seulement aux FE, ce qui nous permet de savoir que CPF n'est pas uniquement impliqué dans les FE (Stuss, 2011). De plus, les composantes exécutives du modèle sont en lien avec l'ensemble du cerveau dans des interactions de type top-down comme bottom-up. Ces faisceaux ont permis à des auteurs de supposer que les FE n'étaient pas nécessairement uniquement logées dans le CPF, mais distribuées dans l'ensemble du cerveau (Zelazo et al., 1997). En effet, de nombreux travaux ont pu montrer que le

thalamus, les noyaux accubens et les ganglions de la base étaient liés à des activités exécutives (Balleine et al., 2009; Goto & Grace, 2008; Little et al., 2010).

1.2.4 L'apport de Miyake : des processus différenciés et similaires à la fois

L'intérêt pour les FE n'a eu de cesse de croître et soulever l'intérêt de divers disciplines ces dernières décennies (Willoughby et al., 2016), tant et si bien que pléthore de modèles plus pointus les uns que les autres ont pu être proposés : modèles issus d'études de cas, de modèles animaux, de comparaisons de groupes, de données comportementales, psychométriques, neurologiques, moléculaires, de modèles probabilistes... Toutefois, les chercheurs n'ont pas pu s'accorder et l'étude des FE reste particulièrement difficile en l'absence de consensus.

Une controverse majeure que l'on rencontre dans la littérature, que nous avons tenté d'illustrer dans cet exposé des modèles classiques, est la question de la nature unitaire ou diverse des FE. Cette question fut adressée pour la première fois par Teuber en 1972 (cité dans Miyake et al., 2000) qui constata que les processus se réclamant être des FE étaient nombreux et variés. Les différentes mesures que nous faisons des FE reflètent-elles une même habileté, une base commune unique, traduisant ainsi une unicité des FE ? Ou au contraire un ensemble pluriel de processus individualisés, soit une diversité des FE ? Ce n'est que dans les années 2000 que des éléments de réponse ont pu être apportés, notamment à travers les travaux de Miyake et al. (2000) que nous allons détailler plus en avant.

L'objectif principal de cette étude était de fournir une base empirique pour théoriser et spécifier l'organisation des FE. Pour ce faire, les auteurs ont procédé à une revue de la littérature afin de sélectionner des construits et des outils d'appréciation pertinents pour mettre en avant l'organisation des FE dont la mesure est un véritable défi. En effet, comme les FE sont des fonctions de haut niveau, il est difficile, voire impossible, à l'heure actuelle, d'en rendre compte sans que d'autres processus, non-exécutifs, ne soient mis en jeu (Burgess, 1997) comme e.g., le niveau d'éveil. Pour minimiser ce problème « d'impureté » des mesures liées aux FE, les auteurs ont choisi de mesurer les composantes à l'aide de plusieurs outils sensés mesurer chacune d'entre elles. Ainsi, ils pouvaient capturer la variance partagée par plusieurs outils pour rendre compte d'une composante exécutive particulière. Aussi, les construits plus élaborés supposent la mise en jeu de FE de plus basiques, e.g., la planification serait une FE complexe qui mettrait en jeu d'autres FE plus « basiques » comme l'inhibition ou la MDT (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). De plus, la plupart des tâches classiques développées ont été validées par leur sensibilité aux atteintes frontales si bien que les processus impliqués n'ont été que peu spécifiés, e.g., le test des cartes du Wisconsin (WCST – Wisconsin Card Sorting Test) (Kremen et al., 2007) impliquerait la mise en jeu de plusieurs processus exécutifs et non exécutifs et non pas

seulement de la flexibilité mentale (Miyake et al., 2000). Devant ce défi, les auteurs ont choisi d'étudier l'unité et la diversité de trois FE fréquemment étudiées dans la littérature (1) définies et opérationnalisées de manière concise et précise ; (2) qui peuvent être mesurées à l'aide de tâches cognitives simples et (3) qui sont impliquées dans des tâches plus complexes. Ces trois FE sont : l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale (éléments de définition voir encadré ci-dessous). Ces trois FE dites FE de base, ont chacune été étudiées, à l'aide de trois outils psychométriques valides différents. Un objectif secondaire de cette étude était de rendre compte de la contribution de ces FE de base dans des tâches plus complexes, qui pourraient nécessiter l'intervention de plusieurs composantes, comme le WCST.

❖ Inhibition

Habilité cognitive de haut niveau qui permet de contrôler son attention, son comportement, ses pensées et ses émotions pour outrepasser une forte inclinaison interne ou externe et de faire ce qui est plus approprié ou utile. Elle nous permet de résister aux tentations, de ne pas être soumis à nos impulsions ou à la force de nos habitudes (Diamond, 2013).

Illustration : Avoir plus ou moins d'aisance à se retenir de lire un document qui nous intrigue mais ne nous concerne pas, posé en évidence sur la table d'un ami avec qui nous sommes venus discuter.

❖ Mémoire de travail

Habilité cognitive de haut niveau qui permet de retenir mentalement des informations non-disponibles à la perception directe et de les manipuler. Elle nous permet de relier des informations entre elles en une construction nouvelle pour résoudre un problème (Diamond, 2013).

Illustration : Avoir plus ou moins d'aisance en calcul mental. Tâche pour laquelle nous devons retenir mentalement les nombres énoncés à court terme et les manipuler pour trouver le résultat de l'opération.

❖ Flexibilité mentale

Habilité cognitive de haut niveau qui permet de passer d'une manière d'envisager des stimuli à une autre, de changer de perspective ou d'approche. Elle nous permet d'envisager un problème sous différents angles ou d'intégrer une nouvelle demande à une tâche en cours (Diamond, 2013).

Illustration : Avoir plus ou moins d'aisance à changer de manière de discuter lorsqu'un enfant vient nous interrompre dans une conversation entre adultes pour nous poser une question, à répondre de manière adaptée à cet enfant et revenir à la conversation initiale.

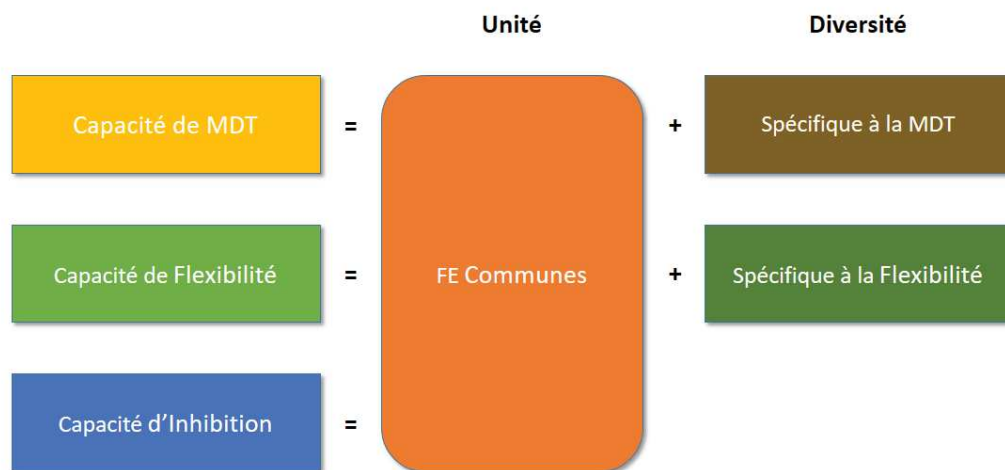
L'étude a été menée auprès de 137 étudiants de l'université du Colorado. Pour répondre au premier objectif : la spécification de la structure unitaire ou différenciée des FE, l'équipe de Miyake a proposé de mener une analyse factorielle confirmatoire dans laquelle l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale étaient envisagées comme des variables latentes à partir des résultats observés à des tâches cognitives (trois tâches par construit). Des modèles de un à trois facteurs latents étaient testés pour décider de l'unité ou de la diversité des FE. Le modèle en trois facteurs latents présentait le meilleur ajustement aux données avec d'excellents indices d'ajustement (X^2 non significatif, SRMR = 0.47 et CFI = 1). Ainsi, l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale constituent des composantes distinctes, séparées des FE. Toutefois, ce modèle stipulait l'existence de covariance entre les trois construits latents. Lorsque les auteurs testaient le modèle sans ces covariances, les indices d'ajustement chutaient. Ainsi, bien que les construits soient séparés, ils ne sont pas non plus complètement indépendants et partagent des similitudes. Concernant le second objectif : rendre compte de la contribution des FE de base testées dans des tâches plus complexes, les auteurs ont fait une série d'équations structurelles dans lesquelles les compétences observées à des tâches complexes étaient prédites par les FE de base proposées à l'étude ici et envisagées comme variables latentes à partir des trois tâches choisies pour définir chacun de ces construits. Ces essais d'équations structurelles ont notamment permis de montrer que les performances au WCST pouvaient être expliquées par un modèle à deux variables latentes : la flexibilité et l'inhibition. Toutefois, les meilleurs ajustements sont observés dans le modèle à une variable latente : la flexibilité. Ce test peut alors être utilisé pour étudier la flexibilité mentale une fois des précautions sont prises quant à l'interprétation des résultats obtenus.

Le travail de Miyake et ses collaborateurs a permis d'apporter un élément de réponse à la question de la nature unitaire ou diverse des FE en observant les différences individuelles au niveau latent : les FE sont entre unité et diversité (voir figure 12). Le modèle en trois facteurs proposé par les auteurs s'est avéré particulièrement intéressant pour les travaux qui ont suivi. En effet, les auteurs souhaitant investiguer les FE le font régulièrement via l'étude des FE de base : l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale (e.g., Diamond, 2013; Raffard & Bayard, 2012; Shields, Sazma, & Yonelinas, 2016) ; aussi, des auteurs se sont intéressés à la nature de « noyau » de ces fonctions et ont pu mettre en avant que ces FE étaient impliquées dans des FE plus complexes comme le raisonnement, la planification ou la résolution de problème (Collins & Koechlin, 2012; Lunt et al., 2012). Bien que ce modèle facilite le choix des FE à étudier, il ne faut pas perdre de vue qu'il ne peut pas être envisagé comme modèle explicatif.

En effet, il est dépendant des FE choisies par les auteurs et d'autres FE pourraient constituer des FE plus élémentaires (Friedman & Miyake, 2017).

Figure 12

Unité et diversité des fonctions exécutives, d'après Friedman & Miyake (2017)



En résumé, l'expression FE est utilisée pour décrire un large panel de processus complexes et, malgré l'intérêt multidisciplinaire qui leur est porté, ces fonctions cognitives de haut niveau soulèvent encore de nombreuses questions et demeurent insaisissables.

Les modèles classiques ont permis de capturer de nombreuses dimensions liées aux FE qui étaient envisagées comme un système unique de contrôle et d'ajustement des réponses (e.g., le SAS de Shallice ou l'administrateur central de Baddeley) ou comme une variété de systèmes (e.g., les quatre FE de Stuss : anticipation, sélection des buts, pré-planification et vérification).

Les pistes factorielles actuelles ont permis d'apporter davantage de consensus. Elles ont proposé une modélisation des FE « entre unité et diversité », avec une variabilité commune et des spécificités propres à chaque FE. Aussi, trois FE de base ont été identifiées : l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale. C'est sur ce noyau que prendraient appui des FE plus complexes e.g., la planification. Etudions à présent l'ontogénèse de ces FE de base.

1.3 Ontogénèse des fonctions exécutives

Nos connaissances des FE chez l'enfant sont relativement récentes. Ce n'est pas avant les années 80 que les premiers travaux furent engagés en s'appuyant sur les connaissances et les outils de la neuropsychologie adulte (Roy et al., 2012). Ces travaux ont permis l'élaboration d'une base

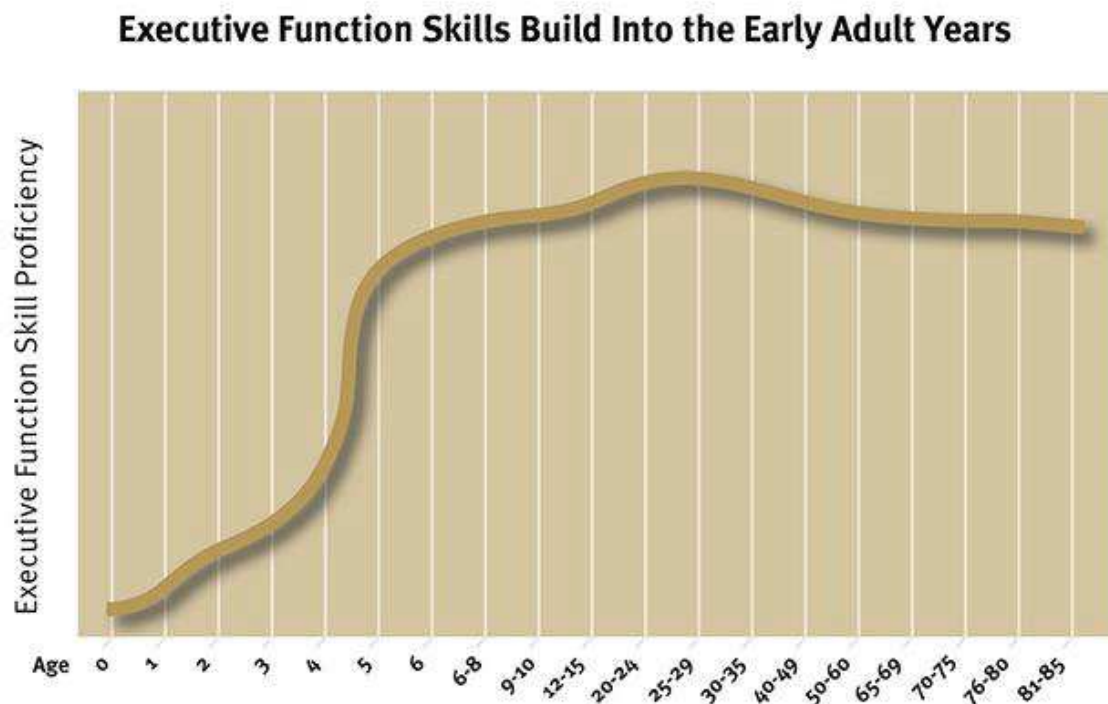
méthodologique d'investigation et un ancrage conceptuel des FE chez l'enfant pour peu à peu prendre en compte la composante développementale dans sa diversité et sa complexité. Envisager l'enfant dans son développement cognitif suppose que l'on prenne en compte la maturation neurobiologique de l'organisme dans son contexte génétique et environnemental en restant vigilant aux phénomènes de plasticité et à la notion de période critique dans le développement (Zesiger & Hirsbrunner, 2000).

L'absence de modèle théorique consensuel des FE matures, induit qu'il est à ce jour difficile de proposer un modèle explicatif développemental de ces fonctions cognitives. Toutefois, il y eu des efforts d'adaptation des modèles adultes aux enfants (e.g., les jeunes enfants s'appuierait davantage sur leur calepin visuo-spatial dans les tâches de MDT (Hitch et al., 1988)) et des tentatives d'explication des performances des enfants à des tâches cognitives (e.g., l'erreur A-non-B classiquement observée chez l'enfant de 8 à 10 mois dans la méthode Piagétienne d'investigation de la permanence de l'objet serait due à un défaut d'inhibition plus qu'à un développement non abouti de la permanence de l'objet comme envisagé par Piaget (Baillargeon et al., 1985; Cuevas & Bell, 2010; Houdé & Borst, 2014)). Aussi, l'étude du développement troublé a permis de mettre en évidence des particularités du fonctionnement exécutif des enfants (e.g., le modèle de Barkley du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité envisage la symptomatologie comme un défaut primaire d'inhibition des comportements (Barkley, 1997)) bien que ces modèles demeurent spécifiques aux pathologies concernées. Parmi les diverses approches utilisées en neuropsychologie développementale, la meilleure reste l'investigation longitudinale des FE (Zesiger & Hirsbrunner, 2000) ; bien que cette méthode reste difficile à mettre en œuvre pour des raisons évidentes de contraintes temporelles et budgétaires et puisque les outils existants ne sont pas adaptés à des investigations fines sur de larges panels d'âges développementaux (Best & Miller, 2010).

La littérature scientifique sur le développement des FE montre que ces fonctions émergent tôt dans l'enfance (i.e., au cours de la première année de vie) e.g., on remarque déjà des capacités d'autorégulation chez le nouveau-né (Brazelton, 1978; Lundqvist-Persson, 2007), et continuent à se développer selon des trajectoires propres durant l'enfance, l'adolescence jusqu'au début de l'âge adulte (voir figure 13) (Best & Miller, 2010). Le développement des FE est lié à la maturation du CPF qui débute rapidement et se prolonge jusqu'au début de l'âge adulte et aux expériences de vie précoces des enfants (pour une revue, voir Hodel, 2018). Nous nous focaliserons ici sur les trajectoires développementales des FE de base telles que décrites dans le modèle de Miyake et al. (2000) et dont la structure factorielle a pu être répliquée chez l'enfant (Brydges et al., 2014; Demetriou & Spanoudis, 2015; Lehto et al., 2003).

Figure 13

Trajectoire de développement typique des fonctions exécutives sur la vie entière (Center on the Developing Child, 2012)



Note : Les fonctions exécutives apparaissent tôt dans l'enfance et se développent durant l'enfance et l'adolescence jusqu'à l'âge adulte. La période de 3 à 5 ans constitue une fenêtre de progression spectaculaire.

1.3.1 Développement de l'inhibition

L'inhibition est une FE de base du modèle factoriel de Miyake et al. (2000). En tant qu'activité volontaire et processus cognitif de haut niveau, elle se révèle être plurielle : il existerait différents types d'inhibition : l'inhibition motrice, l'attention sélective (i.e., inhiber des distracteurs), l'inhibition émotionnelle et l'inhibition de mémoire (i.e., inhiber un item) impliquant différents circuits neuronaux (Aron, 2007). Pour appréhender l'inhibition, l'individu est mis dans une situation où il aura pour consigne de ne pas donner une réponse qu'il est fortement enclin de donner. Les tâches existantes mettant en jeu les capacités d'inhibition peuvent être plus ou moins complexes. Les tâches d'inhibition les plus simples sont les tâches de délai qui nécessitent de s'empêcher de donner une réponse que l'on est fortement enclin à donner, e.g., la tâche de délai avant gratification (Mischel & Moore, 1973) où l'on demande à un enfant de choisir entre avoir un bonbon maintenant ou deux dans quelques minutes. Dans ce type de d'épreuves, les enfants les plus jeunes (moins de trois ans) ne peuvent pas résister à l'envie de manger le bonbon tout de suite contrairement aux enfants plus âgés qui réussissent à attendre un certain délai au profit d'une gratification plus importante. On observe une augmentation des performances jusqu'à une relative stabilité vers 4 ans (Carlson, 2005).

Des tâches plus complexes demandent, en plus de l'inhibition de la réponse la plus prégnante, de donner une autre réponse. C'est le cas des tâches dites « de conflit » comme la tâche de Stroop dans laquelle on donne à l'enfant une planche sur laquelle apparaissent des noms de couleurs écrits avec des encres de différentes couleurs. La consigne est de dire à voix haute la couleur de l'encre avec laquelle sont écrits les mots, ces derniers étant des noms de couleurs. Chez un enfant lecteur, dont la lecture est devenue un processus automatisé, il est particulièrement difficile de se retenir de lire les mots, réponse la plus prégnante, pour donner à la place la couleur avec laquelle le mot est écrit (Stroop, 1935). Avant cette tâche d'interférence, dans le test de Stroop, apparaissent des conditions contrôle : (1) on s'assure que les participants savent lire (lecture de mots faisant référence à des noms de couleurs inscrits en encre noire sur une planche) ; (2) on s'assure que les mots écrits en couleurs sont lisibles (lecture de noms de couleurs écrits avec des encres colorées) ; (3) on s'assure que les participants connaissent les couleurs (nommer la couleur d'une série de rectangles colorés). On retrouve dans la littérature des adaptations de cette tâche d'interférence aux enfants pré-lecteurs (i.e., pour lesquels la lecture n'est pas automatisée et ne peut donc pas être une réponse à inhiber) : une épreuve développée en 2003 a proposé comme tâche d'interférence, de donner à des enfants une série de dessins canoniques d'animaux dont la tête ne correspondait pas au corps (e.g., un corps de cochon et une tête de vache) et de leur demander d'identifier les animaux selon leur corps. Les enfants identifient automatiquement des animaux dessinés via leur tête, pas leur corps. Cette épreuve contient deux conditions contrôle où l'on s'assure que : (1) les enfants identifient bien les animaux (reconnaître un animal sur un dessin canonique) et (2) qu'ils sont capables de les identifier uniquement avec leur corps (reconnaître un animal par le dessin canonique de son corps surmonté d'une tête d'humain caricaturée ou d'une forme géométrique) (Wright et al., 2003). Selon la difficulté de la tâche, les tâches d'inhibition requièrent aussi une intervention plus ou moins importante de la MDT (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013).

La revue de Best et Miller (2010) nous propose une perspective du développement de l'inhibition au cours de l'enfance. Les auteurs relèvent des différences d'âge de maîtrise selon la demande cognitive inhérente à la tâche. Toutefois, ils observent une augmentation des performances avec l'âge quelle que soit la difficulté de la tâche. La trajectoire de développement de l'inhibition présente une croissance particulièrement importante jusqu'à l'âge de 4 ans, suivie d'améliorations notables mais moins radicales entre 5 et 8 ans. L'inhibition poursuit ensuite son développement plus lentement. Au niveau neurologique, les auteurs rapportent que, lors de tâches d'inhibition, les jeunes enfants présentent des patterns d'activation globaux puis de plus en plus localisés vers les zones ventrales du CPF en lien avec la performance à ces tâches. Aussi, après l'âge de 8 ans, on observe une réduction des ondes N2 liées au suivi des conflits dans le CPF et une augmentation des ondes P3 liées aux processus

attentionnels volontaires. Ainsi, les progrès majeurs observés lors de la petite enfance seraient liés à des changements dans la manière d'envisager les tâches proposées : e.g., progressivement, ils seront capables d'intégrer les règles. Les changements à l'œuvre, plus tard, semblent davantage liés à des questions quantitatives dans la capacité à gérer des tâches complexes, de généraliser : les circuits sont de plus en plus efficaces et demandent moins d'efforts, notamment grâce à la myélinisation. De récents travaux corroborent le travail de Best et Miller : Richardson, Anderson, Reid et Fox (2018) mettent en avant que la période de 7 à 11 ans est une période critique du développement où, lors de tâches d'inhibition, les performances augmentent avec l'âge, les ondes N2 diminuent avec l'âge et le temps (i.e., entre deux temps de mesure, on observe moins de conflits) et les ondes P3b (ondes liées à l'allocation volontaire de l'attention) augmentent avec l'âge.

Les capacités d'inhibition augmentent avec l'âge de manière non-uniforme, avec une progression particulièrement importante jusqu'à l'âge de 6 ans suivi d'un développement plus lent. Les performances d'inhibition sont liées à la complexité des tâches demandées : les tâches simples d'inhibition motrice (suppression d'une réponse motrice prégnante) sont réussies plus tôt que les tâches d'inhibition cognitives dans lesquelles une réponse prégnante doit être inhibée et remplacée par une autre réponse. Les facteurs de développements identifiés dans la revue de littérature de Best et Miller (2010) sont notamment la maturation cérébrale, l'habilité croissante à manipuler des tâches complexes et l'utilisation des règles. Les capacités d'inhibition seraient liées à la maturation du CPF (Best & Miller, 2010; Richardson et al., 2018) mais le parallèle ne serait pas parfait et la maturation du système précéderait l'amélioration des performances (Schuch & Konrad, 2017). La capacité d'inhibition serait la FE de base « efficiente » le plus tôt dans le développement et servirait d'appui à l'établissement des autres FE de base (Best et al., 2009).

1.3.2 Développement de la mémoire de travail

La MDT fait partie des FE de base du modèle factoriel de Miyake et al. (2000) et a particulièrement été développée dans les travaux de Baddeley et ses collaborateurs qui l'ont modélisée. Ce modèle stipule l'existence d'un administrateur central contrôlant l'activité de deux systèmes esclaves : la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial opérant respectivement sur les informations verbales et visuo-spatiales à retenir en mémoire à court terme. Toutes les capacités de la MDT ne sont pas opérantes à la naissance, mais se développent avec le temps. Les tâches requérant uniquement de maintenir des informations en mémoire sont maîtrisées plus tôt que les tâches demandant en plus de manipuler mentalement les informations.

Déjà à l'âge de 6 mois, on peut repérer des capacités de rétention en MCT et des progrès avec l'âge sont observés (Diamond & Doar, 1989). Toutefois, les enfants ne semblent pas mettre en œuvre de

stratégie de maintien avant l'âge de 3-4 ans (pas d'autorépétition subvocale) (Gathercole & Baddeley, 1993). Avant 4 ans, on ne peut donc mesurer que la capacité de MCT soit la capacité de la boucle phonologique ou du calepin visuo-spatial du modèle de Baddeley. La capacité de la boucle phonologique peut être appréhendée par des tâches de rappel de mots ou de chiffres dans l'ordre de présentation : on parle ici d'empan endroit de mots ou de chiffres. La capacité du calepin visuo-spatial peut être appréhendée par l'épreuve des blocs de Corsi (Corsi, 1973; Milner, 1971) dans laquelle on demande à l'enfant de pointer du doigt des cubes préalablement montrés et dans le même ordre de présentation : on parle d'empan endroit visuo-spatial. On observe une évolution progressive dans ces deux modalités et les capacités du calepin visuo-spatial seraient plus limitées puisqu'elles demanderaient davantage de ressources à l'administrateur central qui deviendrait plus autonome à partir de l'âge de 6 ans (Alloway et al., 2006). Dans une norme française à l'épreuve des blocs de Corsi chez l'enfant d'âge scolaire, on observe à 6 ans un empan endroit de 4.33 items en moyenne (ET = 1.21) et de 5.67 (ET = 0.74) à 12 ans, les performances évoluent de manière régulière et lente (Fournier & Albaret, 2013).

Pour mesurer la MDT, et donc amener les enfants à manipuler mentalement des informations présentes en MCT, notamment en leur demandant de restituer les items présentés dans l'ordre inverse à l'ordre de présentation. Dans une tâche où l'on demande de restituer dans l'ordre d'inverse une série de 4 mots dits par une poupée, on observe une progression entre 3 et 5 ans : les enfants les plus jeunes ne peuvent restituer qu'un item environ contre près de 3 items à 5 ans. Dans la norme française évoquée plus tôt, l'empan envers moyen à l'épreuve des blocs de Corsi est de 3.17 (ET = 1.60) à 6 ans et de 5.29 (ET = 0.98) à 12 ans. Cette évolution est significative et régulière avec l'âge (Fournier & Albaret, 2013). La revue de Best & Miller (2010) observe une évolution linéaire de la MDT de 7 ans à l'âge adulte. Cette évolution est plus ou moins longue selon la difficulté de la tâche : les tâches requérant la mise en place d'une stratégie supplémentaire à celles à utiliser pour performer en tâches de MDT n'atteignent pas leur niveau optimal avant 18-20 ans (Luciana et al., 2005). L'évolution rapide de la MDT (au sens large) observée chez le jeune enfant serait due à la maturation des processus inhibiteurs. Chez le jeune enfant, l'inhibition et la MDT impliqueraient la partie latérale du CPF, la différenciation se faisant ensuite progressivement (Beattie et al., 2018; Best et al., 2009; Tsujimoto et al., 2007). Cette conception d'un développement linéaire et lent est corroborée par les données neurologique : la myélinisation du CPF fronto-pariétal est en lien avec la MDT qui évolue selon une trajectoire linéaire entre 7 et 21 ans. Une étude récente s'est intéressée au développement de la MDT verbale via une étude longitudinale sur 3 ans de deux groupes d'âge : 6-7 ans et 8-9 ans au début de l'étude. Les résultats montrent une trajectoire discontinue sur cette période, soit un bond développemental entre 8 et 12 ans (Lensing & Elsner, 2018). Les auteurs interprètent ce bond comme

témoignant du développement rapide du CPF en milieu d'enfance avant de diminuer lors de l'adolescence.

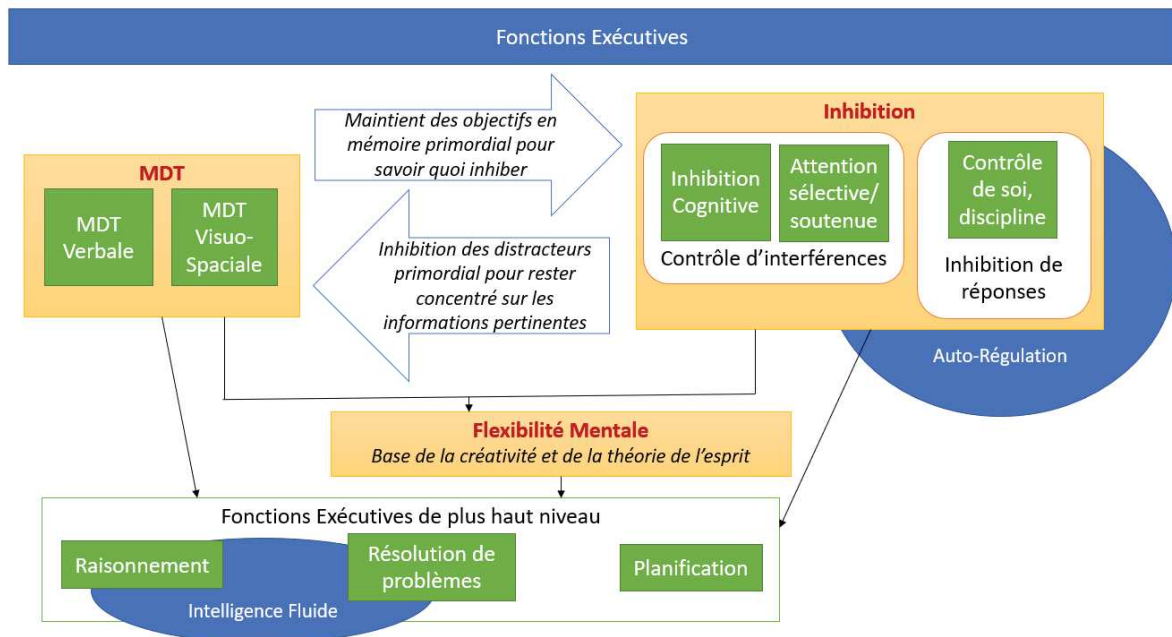
La littérature scientifique s'accorde sur un développement relativement linéaire de la MDT de l'enfance à l'âge adulte. Le développement rapide qui peut être observé aux tâches de MDT chez le jeune enfant peut être expliqué par le développement de l'inhibition qui est en jeu pour les tâches de MDT. A 6-7 ans, la MDT est efficace et les capacités de mise à jour émergent pour aider à son rafraîchissement (Best et al., 2009). Les performances aux tâches de MDT sont sensibles à la complexité de la tâche et les âges de performance adulte peuvent varier entre 14 et 21 ans. Le milieu de l'enfance apparaît comme une période importante dans le calendrier développemental de la MDT, mais les travaux s'y étant intéressés restent encore rares (Lensing & Elsner, 2018). Le développement de la MDT est nécessaire à la maturation de la flexibilité mentale, troisième FE de base (Best et al., 2009).

1.3.3 Développement de la flexibilité mentale

La flexibilité mentale fait partie des FE de base du modèle factoriel de Miyake et al. (2000). Elle permet de passer d'un état mental à un autre, d'une règle à une autre ou encore d'une tâche à une autre avec plus ou moins d'aisance. L'émergence de cette FE repose sur le développement de l'inhibition et de la MDT (Best et al., 2009). En effet, pour jongler d'un type de fonctionnement à un autre, encore faut-il être capable de sélectionner le fonctionnement voulu et inhiber les autres et être capable de se souvenir et de mettre à jour les paramètres à mettre en œuvre pour atteindre le but que l'on s'est fixé. L'idée d'un développement hiérarchique des FE chez l'enfant est corroborée dans des travaux longitudinaux qui retrouvent une structure à un seul facteur (Brydges et al., 2014) ou deux chez le jeune enfant (Usai et al., 2014) et les FE se différencieraient avec l'âge. Le modèle de Diamond (2013) propose un modèle hiérarchique du développement des FE de base (voir figure 14). Les FE de base sont en place de manière différenciée dès l'âge de 8 ans (Demetriou & Spanoudis, 2015; Lehto et al., 2003).

Figure 14

Fonctions exécutives et termes reliés, d'après Diamond (2013)



La revue de Best et Miller (2010) montre que la flexibilité mentale s'améliore avec l'âge et peut s'observer dès 3-4 ans, moment où les enfants sont capables de ranger des cartes de manière flexible avec deux règles : ranger par forme ou ranger par couleur. Dès 3 ans, les enfants sont capables d'opérer selon un raisonnement causal de type « si-alors », toutefois, à cet âge, les enfants ne sont pas capables d'appliquer une nouvelle règle si celle-ci crée un conflit avec la règle précédente. Ils appliqueraient alors la règle active par défaut. La bascule vers la règle pertinente serait à l'œuvre vers 4 ans (Zelazo et al., 2003). Pour Diamond et al., (2005), les échecs de switching que l'on observe chez les plus jeunes seraient dus à l'immaturité du système inhibiteur qui rendrait difficile le changement comportemental stimulus-réponse opérant pour un nouveau pattern comportemental. La flexibilité mentale évolue jusqu'à la fin de l'adolescence (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Lehto et al., 2003). Elle est souvent évaluée via des épreuves de changement de règles, e.g., le WCST propose de ranger une série de cartes selon leur couleur, leur forme ou le nombre d'items représentés sur la carte à ranger. Une fois une règle correctement appliquée (après plusieurs cartes correctement rangées), la règle change et l'on doit deviner la nouvelle règle de rangement des cartes grâce à un feedback positif ou négatif après rangement d'une carte (Grant et al., 1949). L'évolution à ce type d'épreuves est lente, même dans les tâches adaptées aux enfants (Zelazo et al., 2003). Dans ces épreuves, il est nécessaire d'appliquer un contrôle conscient pour se défaire de la réponse « apprise » et prendre en compte les données environnementales pour appliquer le bon comportement, effort particulièrement coûteux et qui demande de dépasser un mode de fonctionnement « par défaut » plus automatique et moins coûteux

pour le système attentionnel (Diamond, 2009) : il n'est pas aisé de défaire une inhibition précédemment opérante et dépasser un système par défaut. Avec l'âge et le développement de la métacognition, les enfants sont capables de réduire leur temps de réponse après un feedback négatif et ainsi répondre en faisant moins d'erreurs. Dans la même veine, à partir de 12-14 ans, on observe un ralentissement des battements de cœurs après un feedback négatif, ralentissement encore plus important à 16-18 ans qui traduit un regain attentionnel au moment de changer de règle et donc un contrôle du contrôle cognitif : la métacognition (Best & Miller, 2010). Les observations comportementales sont en accord avec les observations neurologiques qui rapportent une activité croissante du cortex cingulaire antérieur lié au processus de gestion des conflits avec l'âge et la réduction de l'activité du CPF dorso-latéral que les plus jeunes utiliseraient comme système compensatoire.

Le développement de la flexibilité mentale repose sur le développement de l'inhibition et de la MDT et du CPF. A l'âge préscolaire, ces composantes seraient peu différenciées et se différencieraient jusqu'à l'âge de 8 ans. Les tâches de flexibilité mentale sont particulièrement coûteuses pour le système de contrôle cognitif et requièrent des bases solides. La flexibilité mentale évolue lentement jusqu'à l'âge adulte et l'intervention de la métacognition favorise son efficacité.

En résumé, l'étude du développement des FE de base est relativement récente. Les travaux menés ont permis de qualifier le calendrier développemental des FE de base de précoce, rapide et long. En effet, les FE commencent à se développer dès la naissance et arrivent à maturité au début de l'âge adulte. Leur développement est étroitement lié au développement de fonctions de plus bas niveau sur lesquelles elles prennent appui et sur la maturation cérébrale. Chacune suit une trajectoire de développement qui lui est propre avec des périodes de développement plus ou moins lentes ou rapides, des accélérations et des stagnations.

Les FE de base seraient très liées, telles un construit unitaire chez les jeunes enfants et se différencieraient avec l'avancée en âge à l'âge scolaire. Pour se développer et s'autonomiser, les FE prendraient appui sur celles qui se sont développées et autonomisées en amont. Ainsi, la MDT se développerait en s'appuyant sur l'inhibition qui connaît une maturation et autonomisation plus précoce et la flexibilité sur l'inhibition et la MDT.

L'âge scolaire est une période de développement des FE à part entière qui connaît des périodes d'accélération développementales. Les capacités d'inhibition se développent massivement entre 6 et 8 ans et poursuivent ensuite un développement plus lent, il en va de même pour la MDT entre 8 et 12 ans et la flexibilité mentale entre 10 et 14 ans. Toutefois, cette période de développement a moins été

investie que la période particulièrement sensible de la petite enfance ou la période stable de l'âge adulte et davantage de travaux sont nécessaires pour affiner nos connaissances.

Cette période représente aussi un défi dans l'appréciation des FE du fait de la variabilité que nous pouvons retrouver dans les performances compte tenu de la variété des outils, de leur niveau de difficulté et de la pureté des mesures. Il est difficile de rendre fidèlement compte des FE avec les mêmes outils chez l'enfant.

1.4 Les fonctions exécutives pour s'adapter tout au long de la vie

Nous avons précédemment défini le cadre historique de l'émergence du concept de FE, avons investigué les bases neurologiques de ces fonctions, nous sommes intéressés à leurs modélisations et à leur développement. Toutefois, comme l'ont expliqué Warren et al (1972), elles ne se sont pas développées pour répondre à des problèmes de réponse différée. Nous aborderons dans cette section l'importance des FE pour fonctionner et leur implication dans la vie courante. Nous intéresserons ensuite aux retentissements que peuvent engendrer des troubles des FE pour ensuite réfléchir à des pistes pour favoriser leur développement chez l'enfant.

1.4.1 Rôle majeur des FE dans toutes les sphères de la vie

Dans sa revue sur les FE, Diamond (2013) rapporte que les FE sont impliquées dans toutes les sphères de la vie (voir tableau 1). D'abord, de plus en plus de travaux montrent l'implication des FE dans la santé des individus. Les FE sont impliquées dans nos choix comportementaux, ainsi, elles sont aussi en jeu dans nos comportements de santé. En effet, si nous avons l'intention d'intégrer certains comportements à nos habitudes de vie pour favoriser notre santé (e.g., pratiquer une activité physique régulière ou limiter notre consommation d'aliments riches en graisses saturées ou en sucre), nous avons besoin de nos FE pour maintenir actifs nos objectifs et résister aux distractions et tentations environnementales ou « viscérales » (Hall & Marteau, 2014). De nombreux travaux ont pu montrer que les personnes atteintes d'obésité ou de dépendance à des substances psychoactives présentaient de pauvres FE (Blume et al., 2018; Day et al., 2015; Giancola & Tarter, 1999; Seigneurie et al., 2013; Yang et al., 2018). Aussi, une récente étude s'intéressant à l'environnement alimentaire d'enfants a montré que les mères présentant les FE les moins efficaces suivaient moins les recommandations alimentaires faites aux parents pour la santé de leurs enfants, proposaient moins de repas en famille et les temps de repas étaient moins planifiés et structurés que pour les mères présentant de meilleurs FE. Ces résultats étaient contrôlés par le niveau d'éducation des mères, les revenus de la famille et par l'âge des enfants. L'efficacité des FE des mères serait ainsi liée à la qualité de l'environnement alimentaire des enfants et à leur prise de poids (Bauer et al., 2019). Ce lien entre les FE et la santé se retrouve tout au long de la vie. En effet, les personnes vieillissantes présentant de bonnes FE mettent

en place davantage de comportements préventifs pour leur santé et s'engagent moins dans les comportements à risque que celles présentant des FE moins efficaces. Aussi, elles ont plus de chances d'éviter de contracter une maladie chronique et, dans le cas où une se serait déclarée, les personnes âgées ayant de meilleures FE survivent plus longtemps que celles ayant des FE moins efficaces (Hall et al., 2009, 2010; Hall & Marteau, 2014). Une bonne efficacité des FE favoriserait donc la santé des individus en les aidant à adopter des habitudes de vie saines et à éviter de s'engager dans des conduites à risque.

Tableau 1

Importance des fonctions exécutives dans les aspects de la vie d'après Diamond (2013)

Aspects de la vie	Manière dont les FE sont importantes pour cet aspect de la vie	Référence
	Les FE sont atteintes dans de nombreux troubles mentaux, dont :	
Santé mentale	❖ Addictions	Baler & Volkow, 2006
	❖ Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA-H)	Diamond, 2005 ; Lui & Tannock, 2007
	❖ Trouble des conduites	Fairchild et al., 2009
	❖ Dépression	Taylor-Tavares et al., 2007
	❖ Trouble obsessionnel compulsif	Penadés et al., 2007
	❖ Schizophrénie	Barch, 2005
Santé physique	De pauvres FE sont associées à l'obésité, la suralimentation, l'abus de substances et une pauvre observance aux traitements	Crescioni et al., 2011 ; Miller et al., 2011 ; Riggs et al., 2010
Qualité de vie	Les personnes ayant les meilleures FE présentent une meilleure qualité de vie	Brown et Landgraf, 2010 ; Davis et al., 2010
Préparation à l'école	Les FE sont plus importantes pour la préparation à l'école que le QI ou le niveau en lecture ou en mathématiques à la rentrée	Blair & Razza, 2007 ; Morrison et al., 2010
Succès à l'école	Les FE prédisent les compétences en mathématiques et en lecture durant les années scolaires	Borella et al., 2010 ; Duncan et al.,

Aspects de la vie	Manière dont les FE sont importantes pour cet aspect de la vie	Référence
		2007 ; Gathercole et al., 2004
Succès au travail	De pauvres FE sont liées à une faible productivité et des difficultés à trouver et à garder un travail	Bailey, 2007
Harmonie conjugale	Il est plus difficile de s'entendre avec un partenaire avec de pauvres FE qui s'avère moins fiable qui a plus de chance d'agir de manière impulsive	Eakin et al., 2004
Sécurité publique	De pauvres FE sont liées à des problèmes sociaux (crimes, actions imprudentes, violence, débordements émotionnels)	Broidy et al., 2003 ; Denson et al., 2011

Les FE sont impliquées dans les apprentissages et la réussite scolaire. Les situations d'apprentissage, notamment en contexte scolaire, nécessitent de l'apprenant qu'il soit en mesure d'observer des règles de conduite, qu'il retienne des informations en mémoire, qu'il soit capable d'exécuter une tâche demandée sans se laisser tenter par des distracteurs et d'être en mesure de retourner à une activité s'il a dû s'en défaire un moment. Ces comportements liés aux apprentissages ne sont pas sans nous rappeler les FE de base dont nous avons fait l'exposé, d'ailleurs, les FE sont positivement liées aux comportements liés aux apprentissages et à l'engagement dans les activités scolaires dès l'école maternelle (Brock et al., 2009). Les FE à l'âge préscolaire prédisent le développement langagier, la compréhension verbale et la richesse du vocabulaire (Fuhs et al., 2014; Lohndorf et al., 2019; Schmitt et al., 2019; Wanless et al., 2011). Nombre de travaux se sont intéressés au lien entre les FE et la réussite académique. Ces travaux montrent que les FE entretiennent des liens particulièrement étroits avec la réussite scolaire : les FE prédiraient la réussite scolaire (Blair & Razza, 2007; Fuhs et al., 2014), même jusqu'à 17 ans (Best et al., 2011) et mieux que le quotient intellectuel communément évoqué comme facteur explicatif de la réussite scolaire (Blair, 2002; Blair & Razza, 2007). De bonnes FE permettraient aux enfants de s'engager plus efficacement dans les activités proposées et la relation aux pairs et aux enseignants, ce qui favoriserait leur réussite. Malgré un vaste corpus de recherche, des auteurs mettent l'accent sur la nécessité de mener des travaux rigoureux méthodologiquement pour rendre compte du lien causal entre les FE et la réussite scolaire (Jacob & Parkinson, 2015). Cette implication des FE perdure passant d'une influence sur la réussite à l'école à l'influence de la vie professionnelle : les personnes ayant des FE moins efficaces sont moins productives et ont plus de difficultés à trouver et à garder un travail que celles ayant des FE plus efficaces (Bailey, 2007).

Les FE sont impliquées dans notre vie émotionnelle et sociale. C'est notamment le cas des FE dites « chaudes », par opposition aux FE dites « froides » impliquées dans le raisonnement et la planification. Elles sont notamment mises en jeu lorsque nous rencontrons des situations dans lesquelles interviennent des variables émotionnelles ou motivationnelles (Brock et al., 2009; Lensing & Elsner, 2018). Les FE et plus spécifiquement l'inhibition, sont impliquées dans la capacité des jeunes enfants et des enfants à réguler leurs émotions (Carlson & Wang, 2007; Pauli-Pott & Becker, 2011; Simonds et al., 2007). La possibilité de réguler les émotions permet aux enfants d'agir de manière adaptée et d'éviter l'expression de comportement problème/défi. La méta-analyse de Schoemaker, Mulder, Deković et Matthys (2013) montre que les jeunes enfants présentant des FE moins efficaces manifestaient davantage de problèmes de comportement et de troubles oppositionnels. L'inhibition est la FE la plus en lien avec les comportements problème ($r = ,24$). La MDT ($r = ,17$) et la flexibilité mentale ($r = ,13$) y est aussi liée, mais plus faiblement. De plus, les FE sont davantage liées aux comportements externalisés au cours des deux années à venir que le comportement initial (Riggs et al., 2004). Elles tiennent dès lors une place importante dans l'intégration sociale des individus (Diamond, 2011; Lensing & Elsner, 2018; Riggs et al., 2006). Elles sont impliquées dans toutes les sphères de la vie, mais, qu'en est-il lorsque leur développement se retrouve entravé ?

1.4.2 Vulnérabilité précoce des fonctions exécutives

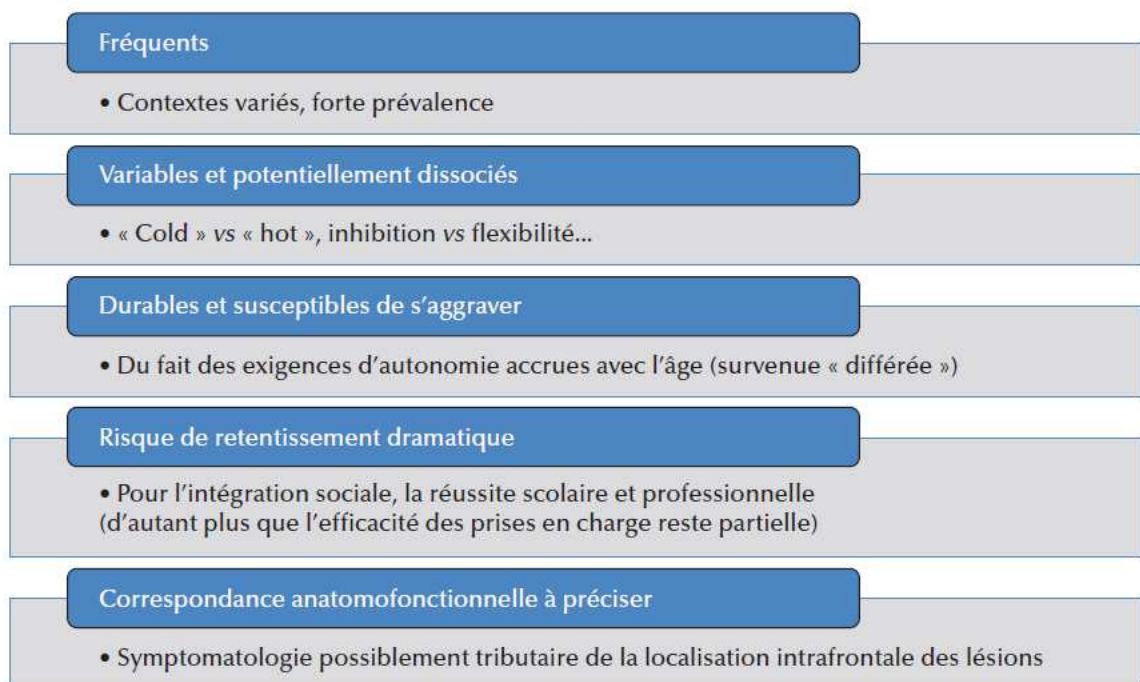
Le développement des FE est lié à la maturation du CPF, soit selon un calendrier précoce et particulièrement prolongé. Ce développement singulier est sensible et d'éventuelles perturbations qui peuvent avoir des répercussions à long terme. En effet, des troubles des FE sont avérés ou supposés dans les troubles neuro-développementaux comme le TDA-H (Barkley, 1997; Biederman et al., 2004; Schoemaker et al., 2012, 2013), le syndrome de Gilles de la Tourette (Channon et al., 2003; Watkins et al., 2005), les troubles du spectre de l'autisme (Hill, 2004; Merchán-Naranjo et al., 2016; Wu et al., 2018), les troubles de la communication (Henry et al., 2012; Im-Bolter et al., 2006) ou les troubles spécifiques des apprentissages (Meltzer, 2007). On peut aussi observer des troubles des FE dans la phénylcétonurie (Canton, 2017; M. L. Smith et al., 2000) et la neurofibromatose de type 1 (Hyman et al., 2005). Enfin, on peut retrouver chez l'enfant, comme chez l'adulte, des pathologies acquises des FE suite à un syndrome alcoolo-fœtal, un traumatisme crânien, une tumeur, une crise d'épilepsie ou un accident vasculaire cérébral (Chieffo et al., 2011; Guerri et al., 2009; Levin & Hanten, 2005; Roy et al., 2012).

L'expression clinique des troubles des FE n'est pas sans rappeler la dichotomie de la clinique adulte entre les syndromes comportementaux et les syndromes cognitifs (Charbonnier et al., 2011; Godefroy et al., 2008). Le versant comportemental du trouble dysexécutif se traduit chez l'enfant par de l'irritabilité, de l'impulsivité, de l'intolérance à la frustration, une labilité émotionnelle, des

comportements agressifs verbaux ou physiques. Le versant cognitif se caractérise par des difficultés à planifier l'action, des difficultés de mémoire, des difficultés à réprimer des comportements automatisés ou à changer de manière de réfléchir ou d'agir (Ardila, 2013; Charbonnier et al., 2011; Roy et al., 2012). Les troubles des FE lors du développement peuvent avoir de graves implications pour la vie future de l'enfant, la précocité du trouble étant un facteur aggravant. Les exigences comportementales et cognitives grandissant avec l'âge, les troubles peuvent s'accroître et devenir persistants (Anderson et al., 2011; Hodel, 2018; Roy et al., 2012) (voir figure 15). De plus, les difficultés exécutives peuvent s'exprimer dans une variété de contexte, dans de nombreux domaines de vie. Ainsi, les enfants qui rencontrent des difficultés exécutives sont à risque d'isolement social, ce qui peut notamment impacter négativement leur qualité de vie et leur estime de soi et favoriser, entre autre, l'émergence de troubles anxieux et de dépression (Micco et al., 2009).

Figure 15

Particularités des troubles des fonctions exécutives chez l'enfant (Roy, 2015)



Depuis les travaux de Hebb initiés dans les années 50, les neurosciences ont pu rendre compte de la place critique de l'expérience dans l'organisation synaptique et le comportement : le cerveau est plastique (Cooper, 2005; Kolb, 1999). La plasticité se joue à différents niveaux selon les expériences (changements neuronaux, vascularisation...). Les modifications les plus durables sont liées aux situations d'apprentissage qui entraînent des changements synaptiques durables (i.e., genèse de synapse et de neurones, réorganisation des dendrites) et de myélinisation des axones (Markham & Greenough, 2004). La plasticité est importante chez le sujet en développement chez lequel s'ouvrent

temporairement des fenêtres où, pour une habileté donnée, le système sera particulièrement sensible à l'environnement et plastique (Hensch, 2005; Markham & Greenough, 2004). Dès lors, l'expérience de stress précoce peut affecter le développement des FE (Blair et al., 2011; Pechtel & Pizzagalli, 2011) et laisser des séquelles durables, jusqu'à des âges avancés (Ritchie et al., 2011). Une étude menée sur des enfants sans-abris durant un été a montré un impact négatif de cette situation de vie sur le développement des FE des enfants et que l'efficacité de ces dernières était positivement liée à la réussite scolaire des enfants durant l'année scolaire suivante, plus qu'à leur QI (Masten et al., 2012). D'autres travaux se sont interrogés sur l'effet du statut socio-économique des parents sur l'efficacité des FE des enfants. Ils soulignent que moins le statut socio-économique des parents est élevé, moins les FE des enfants sont efficaces à un âge donné et ce, via différentes mesures (Blair et al., 2011; Hackman et al., 2015; Hackman & Farah, 2009; Raver et al., 2013; Sarsour et al., 2011). La notion de statut socio-économique est un concept pluriel qui englobe d'autres variables comme le niveau d'étude des parents, les revenus moyens... Le lien statut socio-économique – FE est à étudier plus en détail. La qualité et la quantité de stimulations et de soutien disponible dans l'environnement familial pour l'enfant et la nutrition pourraient médier ce lien (Bauer et al., 2019; Sarsour et al., 2011). La récente revue de littérature de Hodel (2018) souligne que la précarité est liée à de faibles FE dès le début dans le développement et peut perdurer.

Cette même revue de la littérature s'est intéressée aux situations de maltraitance et de négligence, notamment dans les cas d'adoption après un séjour en orphelinat. Les enfants issus d'orphelinats présentaient des FE moins efficaces que les enfants issus de population générale (Wretham & Woolgar, 2017), même un an après l'adoption et présentaient des patterns d'activation atypiques lors de tâches cognitives (Hodel, 2018). Moins le séjour à l'orphelinat était important, meilleures étaient les chances pour les enfants de ne pas rencontrer de difficultés dans leur développement. Toutefois, des effets délétères sur la maturation du CPF s'observaient dès 6 mois de séjour en orphelinat (Zeanah et al., 2003) et les retentissements des carences sur la cognition perduraient dans le temps (Beckett et al., 2006). Dans la même veine, une étude anglaise a comparé le volume cérébral, le QI et la présence de symptômes liés au TDA-H de jeunes adultes orphelins issus d'orphelinats roumains ayant connu une adversité précoce et adoptés par des familles anglaises durant leur troisième année de vie avec un groupe contrôle de jeunes adultes orphelins n'ayant pas connu de telles institutions et ayant été adoptés avant l'âge de 6 mois. Plus de 20 ans après leur adoption, les orphelins ayant connu l'adversité précoce présentaient un volume cérébral 8,6% inférieur à celui du groupe contrôle, notamment au niveau des régions frontales (régions liées aux FE). Ils présentaient aussi un QI significativement inférieur et davantage de symptômes liés au TDA-H que les participants du groupe contrôle ; et les répercussions étaient d'autant plus importantes que la durée de séjour en institution était longue

(Mackes et al., 2020). L'exposition précoce à des expériences de vie difficiles a des effets délétères sur le développement et des répercussions à long terme. Si un milieu enrichi ultérieur permet de réduire les effets négatifs de telles situations de vie, il ne se suffit pas à lui seul pour permettre au sujet d'exprimer son plein potentiel. Fort est de constater que, compte-tenu de l'importance des FE pour l'adaptation du sujet dans de nombreuses sphères de vie et son devenir, il est urgent de se questionner de comment favoriser leur développement chez l'enfant.

1.4.3 Favoriser le développement des fonctions exécutives

La littérature florissante montre que les FE sont sensibles aux entraînements et à la pratique ; ainsi, nombre d'interventions, programmes et approches se sont essayés à les améliorer (Diamond & Ling, 2016). On retrouve notamment deux approches destinées au traitement des troubles attentionnels et des FE chez les enfants porteurs de TDA-H. La première approche est une approche orientée sur le déficit, elle propose des programmes pour compenser les difficultés. On y retrouve notamment les thérapies cognitivo-comportementales (TCC) telles que développées dans les années 80 proposant des apprentissages (e.g., résolution de problème étape après étape) ou la mise en place de stratégies spécifiques permettant de fonctionner au quotidien (e.g., contrôle de soi, auto-apprentissage, auto-renforcement) ; et les interventions de réorganisation environnementale pour soulager des FE rapidement excédées en minimisant la demande (e.g., limiter les distracteurs, donner des consignes concises et claires, poser des visuels stipulant les étapes à suivre pour résoudre un problème). La seconde approche est orientée sur la performance, elle propose des programmes pour favoriser le développement des FE. Cette approche regroupe un panel de programmes d'entraînements intensifs des FE altérées pour leur permettre de s'améliorer sur une tâche, puis d'autres jusqu'à la généralisation des habiletés en cours de développement. Ces entraînements reposent principalement sur des formats informatisés (e.g., Cogmed Working Memory Training (CWMT) pour entraîner la MDT (Chacko et al., 2014, 2018)).

Les travaux menés sur l'efficacité de ces traitements sont mitigés. A notre connaissance, les méta-analyses menées sur l'efficacité des TCC montrent que ces traitements sont efficaces pour les troubles externalisés et les symptômes du TDA-H (Battagliese et al., 2015) et une étude menée sur deux cohortes n'a pas pu montrer de bénéfice à l'aménagement du milieu scolaire sur la MDT d'enfants porteurs de TDA-H (Elliott et al., 2010, cité dans Rapport, Orban, Kofler, & Friedman, 2013). Concernant les entraînements intensifs, les résultats sont peu consensuels et la généralisation des acquis espérée n'a pas pu être observée (Chacko et al., 2014; Diamond & Lee, 2011). De plus, une méta-analyse menée sur traitements par entraînements intensifs n'a pas pu conclure, par manque de niveau de preuve, sur l'efficacité de ce traitement sur les symptômes du TDA-H, l'amélioration comportementale ni sur la réussite scolaire (Rapport et al., 2013). De plus, ces prises en charge n'ont pas montré de bénéfice à

moyen ni à plus long terme (Diamond & Lee, 2011; Diamond & Ling, 2016; Rapport et al., 2013). De plus amples évaluations sont nécessaires pour mieux connaître l'efficacité des interventions (Anderson et al., 2011).

Plus récemment, des travaux interventionnels de stimulation des FE des enfants typiques à l'école ont vu le jour, majoritairement sous forme de programmes informatisés. Cette nouvelle vague de travaux a pour vocation répondre aux difficultés rencontrées par les enseignants dans les classes ordinaires dont les élèves présenteraient de plus en plus de difficultés de contrôle de leurs impulsions, à suivre les règles et une occurrence grandissante de troubles des apprentissages. La revue de littérature récente de Cardoso et al. (2018) montre que ce type d'interventions peuvent être efficaces, d'autant plus si elles utilisent des approches multimodales. Toutefois, de telles interventions s'avèrent coûteuses en termes de temps et de moyens mis en place pour les réaliser et nous devons aussi nous questionner sur des alternatives admettant davantage de faisabilité.

Le modèle développemental hiérarchique proposé par Diamond ne prend pas en compte la composante environnementale qui participe pourtant de manière non-négligeable au développement des FE (Anderson et al., 2011; Er-Rafiqi et al., 2017). C'est ce que nous avons pu observer via les perturbations développementales que pouvaient entraîner des expériences de vie difficiles à des âges précoces. Si l'environnement peut avoir des effets délétères, certaines de ses propriétés pourraient aussi favoriser le développement des FE et c'est ce que montre une récente vague de travaux. Par exemple, les travaux qui s'intéressent aux affects ont pu montrer que les émotions et les humeurs positives favorisaient l'efficacité des FE (Kanske & Kotz, 2011; Pessoa, 2009; Storbeck & Maswood, 2016). Aussi, l'humain, animal fondamentalement social, a besoin des autres pour se développer. Les personnes bénéficiant d'un bon soutien social présentent de meilleures FE que celles se sentant seules (Cacioppo & Patrick, 2008). D'autres travaux se sont davantage centrés sur les propriétés de l'environnement familial qui pouvaient favoriser les FE. Carlson (2003) a proposé trois dimensions liées à la parentalité capables de favoriser le développement des FE de l'enfant : l'apprentissage basé sur la résolution de problèmes, la transmission d'outils verbaux pour favoriser l'autorégulation progressive et permettre le succès des interventions de l'enfant sur son environnement. Les dimensions du modèle de Carlson ont été mesurées sur les parents d'un échantillon de 80 enfants âgés de 12 à 15 mois et ont prédit le niveau des FE des enfants plusieurs mois plus tard – ils étaient alors âgés de 18 à 26 mois (Bernier et al., 2010), le soutien à l'autonomie étant le plus fort prédicteur. Dans la même veine, une étude très récente, la première à notre connaissance, s'est intéressée aux activités pratiquées à la maison spécifiquement en lien avec les FE (e.g., jeux de mémoire, casse-têtes, activité physique au moins 30 min par jour). Les auteurs ont pu montrer que les FE d'enfants préscolaires étaient liées aux

activités spécifiques liées aux FE identifiées par les auteurs et aux pratiques parentales générales (Korucu et al., 2019).

Ainsi, il serait envisageable de favoriser le développement des FE sans les cibler directement via des entraînements spécifiques et coûteux tant pour leur mise en œuvre que pour les bénéficiaires. La possibilité de favoriser le développement des FE de manière indirecte, e.g., en répondant aux besoins émotionnels, physiques et sociaux des enfants, constitue une piste innovante et prometteuse dont les effets pourraient s'avérer durables (Diamond & Lee, 2011; Diamond & Ling, 2016; Hughes, 2011). La pratique d'activité physique pourrait constituer une piste pour favoriser le développement des FE. En effet, la littérature scientifique recense un nombre grandissant de travaux montrant des effets aigus et chroniques de la pratique d'activité physique sur l'efficacité des FE chez l'enfant (Best, 2012; Kvalø et al., 2017). L'activité physique est une variable qui a largement été étudiée chez l'enfant, tant dans des populations typiques que cliniques et qui a été mise en œuvre dans divers travaux interventionnels, majoritairement en promotion de la santé (Guinhouya, 2013). Compte-tenu des connaissances sur l'opérationnalisation de cette variable et sa faisabilité apparente, l'idée d'implémenter de la pratique d'activité physique pour favoriser le développement des FE a retenu notre attention. Le lien entre la pratique d'activité physique et la cognition chez l'enfant seront donc l'objet de notre deuxième chapitre.

Les FE occupent une place majeure dans le développement du potentiel des enfants. Elles sont impliquées dans toutes les sphères de la vie et impactent la vie future de façon durable. Les FE sont aussi particulièrement sensibles aux perturbations internes et externes et l'enfance constitue une période de grande vulnérabilité. Toutefois, comme les FE sont malléables et répondent aux interventions, il est possible d'agir (Zelazo et al., 2016). La convention internationale relative aux droits de l'enfant adoptée par l'assemblée générale des nations unies le 20 novembre 1989 et mis en application en France le 6 septembre 1990 prévoit dans son article 24 sur la santé et les services médicaux que « l'enfant a le droit de jouir du meilleur état de santé possible et de bénéficier de services médicaux. L'État met un accent particulier sur les soins de santé primaires et les soins préventifs [...] » et dans son article 27 sur le niveau de vie que « Tout enfant a le droit à un niveau de vie suffisant à son développement physique, mental, spirituel, moral et social. C'est aux parents qu'incombe la responsabilité primordiale de lui assurer ce niveau de vie. L'État a le devoir de faire en sorte que cette responsabilité puisse être – et soit – assumée [...] ». Dès lors, favoriser le développement des FE des enfants est primordial et devrait constituer une préoccupation politique centrale. De récentes recommandations d'experts soulignent que les programmes éducatifs devraient davantage pouvoir intégrer les FE dans leur construction ; que les professionnels de l'enfance devraient bénéficier des ressources nécessaires pour favoriser le développement des FE ; les

enseignants devraient être mieux équipés et informés pour répondre aux problématiques liées aux FE qu'ils rencontrent au quotidien et que les enfants vivant dans des conditions difficiles devraient faire l'objet d'une attention toute particulière pour favoriser le développement de leur FE pour favoriser leur réussite à l'école et dans leur future vie d'adulte (Center on the Developing Child, 2012).

En résumé, les FE sont impliquées dans l'adaptation du sujet dans de nombreuses sphères de vie dont la santé, les émotions et leur régulation, l'intégration sociale, la réussite académique et la qualité de vie. Elles émergent précocement et leur développement se poursuit jusqu'au début de l'âge adulte en lien avec la maturation du CPF et des expériences de vie.

Les FE sont particulièrement vulnérables durant leur développement si bien que la survenue de pathologies affectant le système nerveux, de troubles neuro-développementaux ou d'expériences de vies difficiles (e.g., carences affectives, précarité) peuvent leur porter atteinte et avoir des retentissements importants et durables tout au long de la vie du sujet. Compte-tenu du rôle majeur des FE dans les perspectives de vie des individus, favoriser le développement de ces fonctions devrait constituer un enjeu de société auquel il faut répondre.

La neuropsychologie clinique nous a appris que les FE pouvaient être stimulées par entraînement. Toutefois, dans une perspective à grande échelle, l'utilisation d'une approche indirecte (i.e., sans viser directement l'entraînement des FE) paraît plus faisable. En effet, avec une approche indirecte, il serait possible de favoriser les FE en répondant à des besoins fondamentaux qui leur sont liés. En ce sens, la pratique d'AP pourrait être une candidate intéressante.

1.5 Synthèse

Depuis les travaux initiateurs de phrénologie, du cas d'école Phineas Gage et des travaux de Luria, les neurosciences n'ont eu de cesse de s'intéresser aux FE. Ces fonctions cognitives nous permettent d'agir de manière adaptée lorsque nous sommes confrontés à des situations non-routinières, nouvelles et/ou complexes et sont centrales dans nombre de situations que nous rencontrons quotidiennement. Les FE seraient principalement liées à l'activité du CPF, partie particulièrement développée chez l'Homme, à l'œuvre dans nos processus de raisonnement, de mémoire et de décision consciente. Les modèles classiques de neuropsychologie ont permis d'appréhender les processus conscients via des travaux menés sur des cas de pathologies lésionnelles, d'études de groupes et de modèles animaux. Les modèles factoriels récents menés sur diverses populations ont permis d'apporter davantage de consensus et de rendre compte d'une structure des FE plongée entre unité et diversité. L'étude du développement des FE permet de rendre compte d'un calendrier particulier à chaque FE qui se construirait sur des fonctions de moins haut niveau. La période d'âge scolaire, bien que primordiale

dans le développement des FE, a été relativement peu étudiée et des travaux sont nécessaires pour préciser les trajectoires prises par les FE. Le développement des FE est lié à la maturation précoce et prolongée du CPF et est particulièrement sensible à l'environnement. Les FE sont donc des fonctions cognitives vulnérables et des difficultés précoces peuvent avoir des répercussions majeures et durables dans de nombreuses sphères de vie (e.g., pauvreté des stimulations environnementales). Toutefois, cette malléabilité des FE offre aussi une possibilité d'agir pour favoriser leur développement et permettre aux enfants d'exprimer leur potentiel. Favoriser le développement des FE doit être un enjeu de société. Les interventions indirectes qui se proposent d'agir sur des variables liées aux besoins physiques et sociaux des enfants pour favoriser le développement des FE sont à envisager et l'activité physique est une variable qui a retenu notre attention. En effet, la littérature la présente comme facteur potentiel du développement des FE et, compte-tenu du niveau de connaissance que nous avons à son sujet chez l'enfant d'âge scolaire et sa faisabilité dans des designs d'études interventionnels, elle constitue une piste à explorer.

2 Chapitre 2 : Activité physique et cognition chez l'enfant d'âge scolaire, une perspective holistique

« Au commencement était l'action »

GOETHE, FAUST (1770)



Dans ce deuxième chapitre, nous nous intéresserons plus avant aux liens entre l'activité physique et la cognition chez l'enfant d'âge scolaire. Nous commencerons par introduire la notion d'activité physique, définirons les notions qui s'y rapprochent et décrirons ses dimensions. Nous parlerons ensuite de l'activité physique dans la population pédiatrique et aborderons sa singularité, sa place dans le développement de l'enfant, les défis liés à sa mesure et décrirons les données épidémiologiques actuelles françaises la concernant. Nous poursuivrons sur l'exploration du lien entre la pratique d'activité physique et la cognition à travers différents travaux et courants de pensée et présenterons les pistes explicatives actuelles. Enfin, nous aborderons la question de l'effet de la pratique d'activité physique sur la cognition chez l'enfant. Nous circonscriurons l'état des connaissances sur le sujet et identifierons les patterns d'activité physique pouvant favoriser le développement des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire.

2.1 L'activité physique de l'enfant

2.1.1 Eléments de définition

Pour fonctionner, notre organisme a besoin d'énergie. Même au repos, un minimum incompressible d'énergie est nécessaire pour fonctionner (e.g., permettre les battements de cœur, la respiration et le maintien du corps à bonne température) : c'est le métabolisme de base. Si nous sommes en activité, ne serait-ce que pour lire un livre allongé sur un lit ou assis sur une chaise, nous sollicitons notre organisme et avons besoin de davantage d'énergie et encore plus lorsque nous nous engageons dans des activités comme de la marche, du vélo ou de la natation. Nos muscles squelettiques sont les effecteurs des mouvements nécessaires à nos activités et, pour fonctionner, ils doivent puiser dans l'organisme de l'énergie. Chez l'humain, comme chez de nombreuses espèces, l'énergie utilisable par les muscles squelettiques provient de l'hydrolyse de molécules d'adénosine-triphosphate (ATP). L'énergie nécessaire pour s'engager dans une activité est régulièrement définie par rapport à l'énergie nécessaire au métabolisme de base dont la valeur de référence est de 1 MET (Metabolic Equivalent of Task). Cette valeur correspond à une dépense énergétique de 3,5 ml de

dioxygène par kilogramme de poids de corps chez le sujet adulte. Plus une activité est coûteuse en énergie, plus sa valeur en METs sera importante et plus l'activité sera intense.

L'activité physique (AP) peut être définie comme « tout mouvement suscité par la contraction volontaire des muscles squelettiques et duquel résulte une augmentation substantielle de la dépense énergétique au-delà du métabolisme de repos » (légèrement plus coûteux en énergie que métabolisme de base) (Caspersen et al., 1985). Il s'agit donc d'un comportement de sens large qui comprend aussi bien l'exercice physique que les activités sportives, les activités de loisir, les AP professionnelles, les activités de la vie courante, et même certaines tâches ménagères (Bouchard & Shephard, 1994). Dès lors, lorsque nous parlons d'AP journalière ou habituelle, il convient d'englober l'ensemble de ces activités. Les expressions « activité physique » « exercice physique » « sport » sont des termes souvent employés de manière interchangeable et il en va de même pour les expressions « inactivité physique » et « sédentarité ». Pourtant, ces termes traduisent des comportements différents, il convient donc de les nuancer.

L'exercice physique correspond aux activités physiques réalisées dans le cadre des loisirs de manière structurée, planifiée et systématique. On peut parler d'entraînement physique dans la mesure où cette AP est pratiquée dans le but d'améliorer la condition physique, la performance ou la santé du pratiquant (Bouchard & Shephard, 1994). En Europe, nous avons tendance à utiliser « sport » comme terme générique à la place d'activité physique. Or, le sport est une AP institutionnalisée et suppose souvent l'adhésion à un cadre spécifique à l'activité (e.g., une licence). L'activité sportive est réalisée dans des conditions particulières à la discipline ou à un ensemble de disciplines. La pratique passe par des apprentissages, des entraînements et le respect de règles propres à la discipline et les pratiquants ont souvent pour perspective de se mesurer à d'autres lors de compétitions et/ou d'accroître leurs performances et leur maîtrise de la discipline (Bouchard & Shephard, 1994). La sédentarité, elle, n'est pas synonyme d'inactivité. En effet, on parle d'activités sédentaires pour les activités généralement pratiquées en position assise ou couchée et qui n'augmentent pas de manière substantielle la dépense énergétique par rapport au niveau de dépense basal. Les activités sont dites sédentaires si elles ont un équivalent métabolique inférieur ou égal à 1.5 METs (Pate et al., 2008). Toutefois, si l'on s'en tient à cette définition, le fait de se tenir debout nous rend actif physiquement. Pourtant, se tenir debout n'a peut-être pas les mêmes effets que marcher ou nager ; il est nécessaire d'étudier l'AP de manière plus précise. L'AP est couramment étudiée selon 5 dimensions (Malina et al., 2004) :

- ❖ **Nature** : action motrice de l'activité (e.g., marche, natation ou patinage)
- ❖ **Forme** : patron de travail (e.g., effort long et continu ou court et fractionné)

- ❖ **Intensité** : quantité d'effort requis, coût énergétique fonction de la nature et de la forme de l'activité – l'intensité d'une AP peut être qualifiée de (OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2011) :
 - **Faible** : AP demandant une dépense énergétique de plus de 1.5 à 2.9 METs (e.g., rester debout ou marcher lentement)
 - **Modérée** : AP demandant une dépense énergétique de 3 à 6 METs (e.g., marcher d'un pas vif ou jardiner)
 - **Vigoureuse** : AP demandant une dépense énergétique de plus de 6 METs (e.g., courir ou faire du vélo à vive allure)
- ❖ **Durée** : temps d'exposition à l'activité sur une session ou une période de temps donnée (e.g., sessions de 15 minutes ou 60 minutes)
- ❖ **Fréquence** : nombre d'expositions à l'activité sur une période temps donnée (e.g., une journée ou une semaine)

2.1.2 La mesure de l'activité physique de l'enfant

L'idée selon laquelle les maladies contemporaines – les maladies chroniques non-transmissibles - peuvent être causées par les comportements mêmes des individus (McKeon, 1979) a entraîné un engouement particulier à la définition de comportements de santé, dont le comportement d'AP. Pour identifier dans quelle mesure l'AP pouvait constituer un comportement protecteur de la santé, les sciences ont proposé une variété d'outils pour capturer ses différentes dimensions, du simple questionnaire aux mesures de laboratoire les plus sophistiquées. L'AP peut être appréhendée via des méthodes déclaratives nécessitant de faire appel à une personne comme pour les questionnaires ou le remplissage de grilles d'observation et/ou des instruments plus autonomes ne nécessitant pas d'intervention directe d'une personne pour enregistrer un indicateur d'AP comme les marqueurs physiologiques ou les capteurs de mouvements.

Les outils déclaratifs regroupent les questionnaires auto et hétéro administrés et les journaux ou carnets d'AP. Ces outils permettent de capturer différentes dimensions de l'AP (nature, fréquence, durée) pratiquée sur une période de temps relativement longue (usuellement les 7 derniers jours pour les questionnaires) en faisant appel à la mémoire de la personne renseignant les informations. Les questionnaires auto-administrés et les carnets ou journaux d'AP restent relativement difficiles à renseigner pour les enfants : ils sont coûteux en termes de mémoire et nécessitent une bonne maîtrise des concepts temporels dont la durée qui sont relativement tardives dans le développement. Il est donc difficile de demander aux enfants de remplir un questionnaire avant une dizaine d'années (Droit-Volet & Coull, 2015; Fraisse, 1957; Pate, 1993). Les hétéro-questionnaires peuvent être une alternative

intéressante chez les jeunes enfants, mais ne permettent pas de capturer l'ensemble de l'AP de l'enfant, e.g., un questionnaire parental ne peut rendre compte que des moments passés en présence des parents. Les méthodes déclaratives présentent l'avantage de hiérarchiser dans le temps les activités, d'être faciles à administrer et d'être moins coûteuses que les techniques dites objectives. Elles sont très utilisées dans la littérature, d'autant plus dans les travaux de surveillance menés sur de larges échantillons (Guinhouya, 2013). Toutefois, ces méthodes sont soumises à la subjectivité du remplisseur et les biais qui l'accompagne (e.g., désirabilité sociale), sa compréhension et à ses capacités cognitives. Le carnet ou journal permet davantage de précision, mais requiert une excellente adhésion. Certains auteurs conseillent de ne pas y avoir recours avant l'âge de 15 ans (Saris 1986, cité dans Guinhouya, 2013). L'observation armée d'une grille précise peut aussi être une alternative intéressante ; toutefois, cette méthode qui peut être très informative est aussi très coûteuse en termes de ressources temporelles et humaines.

Des approches plus « objectives » ont été développées à partir d'indices physiologiques et biomécaniques de l'AP. Par exemple, l'eau doublement marquée est une méthode physiologique particulièrement intéressante et précise. Cette méthode est non invasive et consiste à la prise de deux isotopes stables (2H et 18O_2) sans toxicité connue à faible dose par le sujet. Le calcul de la dépense énergétique se fait via la mesure de la disparition différentielle des deux isotopes permettant de calculer le taux de production de carbone sachant le métabolisme de base et la thermogénèse alimentaire (Guinhouya, 2013). Cette méthode est particulièrement précise pour déterminer la dépense énergétique de l'enfant sur 1 à 3 semaines. Toutefois, cette technique, aussi précise soit-elle, demeure particulièrement coûteuse et donc difficile à utiliser sur de grands échantillons. Un autre outil utilisant des indices physiologiques, largement connu et usité tant il s'est « démocratisé » (miniaturisation et coût modéré), est le capteur de fréquence cardiaque. Son utilisation est basée sur la relation linéaire entre la fréquence cardiaque et le volume d'oxygène consommé lors d'efforts physiques. Il reste à noter que l'effort n'est pas seul à influencer la fréquence cardiaque, aussi en situation écologique, le genre du porteur, la position du corps, le stress ou la condition physique peuvent influencer sur la fréquence cardiaque et être confondus avec l'AP. Aujourd'hui, ces facteurs peuvent être pris en compte pour une meilleure précision de la mesure de l'AP, mais l'utilisation de tels outils reste particulièrement chronophage et devrait être réservée dans des buts bien particuliers (Guinhouya, 2013).

Parmi les approches biomécaniques, les travaux ont régulièrement fait appel à la podométrie et à l'accélérométrie. Les podomètres se présentent sous forme de petits boîtiers légers et peu encombrants à fixer généralement au niveau du bassin du porteur (aujourd'hui, les podomètres revêtent des formes diverses et variées, mais tous ne sont pas suffisamment sensibles ni valides pour

des travaux scientifiques). Les podomètres permettent de comptabiliser le nombre de pas fait par le porteur via un système de leviers à ressorts (enregistrement des mouvements verticaux du centre de gravité du porteur) ou par un système de piézo-électricité similaire à celui des accéléromètres (que nous allons présenter juste après). Les podomètres sont des outils intéressants et relativement fiables pour mesurer l'AP globale des enfants sur une période donnée et leur coût modéré permet de les utiliser à grande échelle. Ils permettent aussi de pouvoir fournir des recommandations de santé publique concrètes : e.g., « réaliser 15 000 pas/jour pour un enfant » (Guinhouya, 2013). Les dernières technologies de podomètres sont plus sensibles et permettent de mieux estimer l'AP des enfants de plus de 5 ans et les adolescents (Clemes & Biddle, 2013). Aussi, leurs gains de sophistication leur permettent de donner des indications de plus en plus précises quant aux intensités d'AP et renseignent notamment de mieux en mieux sur les AP modérées à vigoureuses en lien avec les recommandations d'AP actuelles. Le podomètre présente tout de même des limites. D'abord, il renseigne uniquement sur les activités ambulatoires et non sur les activités non-locomotrices comme le vélo. De plus, le simple port de l'outil peut influencer la pratique d'AP (Lubans et al., 2015). Sur ces limites, la littérature argumente que l'AP de l'enfant si intense sur de courtes périodes peut être capturée par le podomètre et qu'en 7 jours de port de l'outils, les données se sont montrées fiables (Clemes & Biddle, 2013). Davantage de rigueur et de comparabilité des mesures sont nécessaires, i.e., meilleure standardisation du traitement des données, du contrôle des temps de port et de non-port du podomètre sont à définir (Clemes & Biddle, 2013).

De nos jours, l'accéléromètre est devenu un outil de référence dans la mesure de l'AP en laboratoire comme en situation écologique (Guinhouya, 2013). Cet outil détecte la composante dynamique du mouvement humain qui va déformer la céramique piézo-électrique selon trois axes dimensionnels. Les accélérations et décélérations sont comptabilisées sous des unités de temps et ces données brutes sont appelées *counts* (Guinhouya, 2013). Il existe pléthore de modèles d'accéléromètres et autant d'algorithmes permettant de passer des *counts* à un continuum d'intensité d'AP et les seuils adaptés aux enfants ne sont pas encore consensuels d'un outil à l'autre et d'un algorithme à l'autre : les protocoles de mesure et la réduction des données manquent encore de standardisation et les temps de capture des activités si sporadiques durant l'enfance sont difficiles à établir. Les accéléromètres sont des outils particulièrement précis et sont devenus « méthode de référence » mais l'extraction des données comme leur nettoyage ou leur manipulation requièrent une expertise non-négligeable bien que les logiciels facilitent de plus en plus la tâche (Guinhouya, 2013).

L'utilisation des données géographiques peut s'avérer intéressante pour expliquer l'AP des enfants. En effet, nombre de travaux montrent qu'un accès facilité aux espaces récréatifs ou aux installations sportives peut faciliter l'engagement dans une AP (Bancroft et al., 2015; Ding et al., 2011; Roemmich

et al., 2006). Afin de mieux connaître l'environnement dans lequel l'enfant est actif, le recours aux systèmes d'information géographiques (SIG) ou au géo-positionnement satellite (GPS) sont pertinents. En effet, les SIG permettent de connaître les espaces disponibles à l'AP dans un secteur donné (e.g., présence de parcs, d'installations sportives, connectivité et densité des rues...), il s'agit de référencements géographiques. Les GPS eux, sont des systèmes permettant de suivre géographiquement son porteur par satellite et permet ici de mieux connaître le contexte d'AP du porteur. Toutefois, comme le fonctionnement du GPS peut être interrompu ou difficile en zone urbaine (e.g., intérieur d'un immeuble), le recours aux données SIG peut s'avérer utile. Si le GPS est très utile pour mieux connaître l'interaction entre l'environnement et le comportement, l'utilisation combinée de plusieurs outils s'avère la meilleure solution pour rendre compte de l'AP habituelle des enfants (e.g., GPS avec accéléromètre) (Guinhouya, 2013).

La mesure de l'AP et plus spécifiquement de son intensité reste un défi de taille et, à ce jour, il n'y a pas d'outil qui remplisse un cahier des charges alliant précision, facilité d'utilisation, large palette de dimensions de l'AP et lieux de pratique. Le choix de l'outil de mesure de l'AP est à l'appréciation du chercheur qui fera un choix raisonné en fonction de la spécificité de ses objectifs de recherche, ses moyens et de du niveau de précision requis et d'imprécision qu'il peut accepter dans son étude. A la lumière de cette brève revue (non-exhaustive) des outils disponibles, explorons à présent les données actuelles disponibles sur l'AP des enfants puis les données épidémiologiques françaises actuelles.

2.1.3 L'activité physique au cours du développement de l'enfant

De la naissance à l'âge adulte, l'enfant se développe sur les plans cognitif, émotionnel, social, moral et moteur (Caspersen et al., 1998). Comme nous l'avons précédemment évoqué, cette période est particulièrement sensible aux influences biologiques, psycho-sociales et environnementales. Ainsi, les interactions entre l'organisme et son milieu peuvent influencer le « capital santé » de l'organisme i.e., sa durée de vie en bonne santé (Grossman, 1972) et l'AP est capable de moduler ce capital santé. En effet, plus un individu est actif physiquement et moins il est sédentaire, plus il peut vivre longtemps et préserver ses capacités fonctionnelles. Avec l'avancée en âge, l'écart se creuse entre les individus ayant un style plus actifs et ceux ayant un style plus sédentaire (Dishman et al., 2013) et les patterns d'AP s'installent tôt dans l'enfance et perdurent à l'âge adulte (Armstrong & McManus, 1994). Dès lors, il est primordial de nous intéresser à l'AP des jeunes et favoriser l'expression de ce comportement pour favoriser leur santé présente et future (Dishman & Gettman, 1980; Sallis et al., 1992). En étant actif physiquement, l'enfant opère sur son environnement et s'y adapte. L'AP pourrait alors contribuer au développement d'autres dimensions que le plan moteur, dont la cognition qui nous intéresse plus particulièrement (Best, 2010; Piaget, 1937; Zhao et al., 2017).

L'AP de l'enfant se présente principalement sous forme d'activités de loisir, que ce soit de manière structurée dans des centres de loisirs ou davantage discrétionnaire lors de jeux avec des pairs dans le voisinage, le parc, l'aire de jeu ou le jardin. Les enfants peuvent aussi s'engager dans des pratiques sportives (e.g., natation, gymnastique) ou des AP de la vie courante (e.g., promener le chien, jardiner, ranger sa chambre). La forme d'AP dite « professionnelle » se traduit chez l'enfant par les AP pratiquées à l'école lors des enseignements d'Education Physique et Sportive (EPS), de la récréation (e.g., jouer à l'épervier, faire la course, jouer à la corde à sauter) ou lors des temps d'accueil périscolaires (Guinhouya, 2013). L'AP spontanée de l'enfant est tout à fait singulière en ce qu'elle se révèle *intermittente et transitoire* : des périodes d'activité particulièrement intenses de quelques secondes (moins de 15 secondes) sont suivies de périodes de repos excédant rarement quelques minutes (moins de 4 minutes) (Bailey et al. (1995) cité dans Guinhouya (2013)). Ainsi, les enfants ne sont jamais inactifs bien longtemps et peuvent s'engager dans diverses activités sur des lapses de temps relativement courts. Le métabolisme de l'enfant est beaucoup moins « économique » que celui de l'adulte. En effet, chez l'enfant de 5 ans, le métabolisme de base de 1 MET équivaut, à la consommation de 6 ml d'O₂/kg/min - contre 3.5 ml d'O₂/kg/min à 18 ans (Schofield, 1985). De la même manière, le coût énergétique de l'AP de l'enfant est supérieur à celui de l'adulte d'où le développement récent de compendiums des dépenses énergétiques des activités adaptés aux enfants (Butte et al., 2018; Ridley et al., 2008).

Depuis les vingt dernières années de nombreuses études se sont intéressées aux variables explicatives de l'AP de l'enfant via des hypothèses biologiques (e.g., centre régulateur de l'activité pour favoriser un équilibre énergétique), génétiques, psychologiques, sociales ou environnementales, mais, à notre connaissance, il n'y a pas encore de réponse consensuelle (Eisenmann & Wickel, 2009; Rowland, 1998). Cependant, de nombreuses pistes ont été ouvertes, notamment sur les changements de patterns d'AP avec l'avancée en âge. L'AP est de moins en moins importante au cours de la vie d'un individu et au cours du développement, l'adolescence marque un point de rupture important dans les travaux transversaux comme longitudinaux (Craggs et al., 2011; Sallis, 2000). Le déclin dans la pratique d'AP avec l'âge s'observe aussi chez l'animal (Ingram, 2000; Sallis, 2000) si bien que des hypothèses biologiques ont été avancées ; notamment celle d'un déclin dopaminergique (moins de libération ou moins de récepteurs) qui altérerait la motivation à s'engager dans des comportements locomoteurs. Une autre hypothèse serait que les changements hormonaux à l'œuvre à l'adolescence pourraient altérer l'engagement dans une AP, les rapides changements physiques seraient notamment une difficulté puisque l'adolescent va devoir redécouvrir son corps et sa sensorialité et redéfinir son schéma corporel (Assaiante et al., 2014; Sisk & Zehr, 2005).

La revue systématique de Craggs et al. (2011) a étudié les déterminants possibles des changements dans la pratique d'AP au cours du temps chez les jeunes. Parmi 62 déterminants potentiels, entre 4 et 9 ans, les changements s'expliquaient par le genre des enfants : les filles essayaient une baisse d'AP plus importante que les garçons et par le statut marital des parents : les enfants dont les parents avaient divorcé avaient une baisse d'AP plus importante que ceux dont les parents étaient mariés. Entre 10 et 13 ans, les changements s'expliquaient par l'AP pratiquée antérieurement : les jeunes les moins actifs avaient tendance à être de moins en moins actifs et par le sentiment d'auto-efficacité : les enfants qui se sentaient les plus capables de s'engager dans des activités étaient plus actifs. Après 14 ans, la dimension psycho-sociale était encore plus prégnante et le sentiment d'auto-efficacité et le contrôle perçu étaient les seuls prédicteurs des variations d'AP entre les jeunes. Une récente étude française de Roux et al. (2020) a exploré dans quelle mesure l'AP des enfants d'âge scolaire français pouvait être expliquée par des variables sociocognitives et a vérifié la stabilité des liens entre les variables dans le temps en fonction de l'âge et du genre. Pour ce faire, les auteurs ont testé chez des enfants âgés de 7 à 11 ans un modèle longitudinal en cross-lagged de la théorie du comportement planifié (TCP) (Ajzen, 2011) d'explication de la pratique d'AP entre deux temps de mesure (T1 & T2) espacés de trois mois. La TCP est un modèle socio-cognitif de référence dans l'explication des comportements de santé dont l'AP. Il postule que le comportement d'AP est expliqué par les intentions du sujet à pratiquer de l'AP et que les intentions sont elles-mêmes expliquées par les croyances de l'individu vis-à-vis du comportement : les attitudes (i.e., croyances plus ou moins positives ou négatives envers l'AP), les normes subjectives (i.e., croyances en ce que les autres significatifs font comme AP et en la pression sociale qu'ils peuvent exercer pour que l'on pratique de l'AP) et le contrôle perçu (i.e., croyance en sa capacité à s'engager dans une pratique d'AP qui est fonction de l'évaluation subjective que l'on peut faire des obstacles et des ressources à disposition pour y faire face). Dans la TCP, le contrôle perçu entretient aussi un lien direct avec le comportement d'AP (Ajzen, 2011). L'étude a révélé que le modèle parvenait à expliquer 25% de la variance de l'AP des enfants et que les liens autorégressifs entre les variables (e.g., attitudes T1 → attitudes T2) étaient significativement liés ($\beta = ,19, p < ,001$ à $\beta = ,54, p < ,001$). Les patterns motivationnels variaient peu avec l'âge. Toutefois, la pratique d'AP des plus jeunes (enfants de 7 à 9 ans) se révélait davantage spontanée que celle des plus grands (enfants de 10 à 11 ans). Aussi, les normes subjectives se stabilisaient avec l'avancée en âge. La stabilité du modèle variait également peu en fonction du genre. Toutefois, les intentions de pratiquer de l'AP étaient plus stables dans le temps chez les garçons que chez les filles. Ces dernières apparaissaient plus enclines à s'engager dans une pratique d'AP en fonction de leur expérience passée dans des comportements d'AP qui influençait leur contrôle perçu vis-à-vis de l'AP. Il reste à signaler que les techniques de mesure utilisées dans ces travaux sont déclaratives et que, pour dresser des

conclusions développementales sur les patterns d'AP chez les jeunes, davantage d'études et l'utilisation d'outils plus objectifs sont nécessaires (Atkin et al., 2016).

L'AP, si elle est pratiquée sous certaines conditions, peut constituer un facteur protecteur de la santé de l'enfant et favoriser son capital santé pour le futur (Grossman, 1972; Janssen & LeBlanc, 2010). En effet, elle peut favoriser la croissance et la densité minérale osseuse, prévient le diabète de type 2, l'obésité et l'hypertension (Bailey et al., 1999; Hills et al., 2011; Knowles et al., 2013; Rush & Simmons, 2014) ; peut prévenir l'anxiété et la dépression (Bahrke & Morgan, 1978; Ryan, 2008) ; et favoriser l'intégration sociale et la coopération (Eime et al., 2013). Pour que l'AP puisse constituer un facteur protecteur de la santé physique, psychologique et sociale, il est actuellement mondialement recommandé aux enfants d'âge scolaire de pratiquer au moins 60 minutes d'AP d'intensité modérée à vigoureuse chaque jour ; ceci tout en incluant des activités de résistance ou de renforcement musculaire (Barlow & Expert Committee, 2007; OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2010; Strong et al., 2005). Si l'AP peut nous protéger de nombreuses maladies chroniques non-transmissibles, d'autres comportements peuvent les favoriser, e.g., la sédentarité et l'inactivité physique. La sédentarité est un « nouveau facteur de risque pour la santé » et non-négligeable dans nos sociétés occidentales où nous passons une grande partie de notre temps à des activités sédentaires (Owen et al., 2010; Ryan et al., 2015; Thyfault et al., 2015). Ainsi, le temps que nous passons assis dans les transports, devant la télévision ou l'ordinateur, ou à ne rien faire peut constituer un risque pour la santé. Il est à noter qu'une même personne peut à la fois être active physiquement et sédentaire. Ces deux comportements ne sont pas deux faces opposées d'une même pièce, mais bien deux comportements différents e.g., un enfant peut parfaitement rester sur le canapé une grande partie de la journée, se lever et faire ses 60 minutes d'AP pour rejoindre les recommandations journalières et retourner pour le reste de sa journée sur le canapé. La littérature montre qu'une partie des individus qui rejoignent les recommandations en matière d'AP sont en fait des « patates de canapé actives » (*the active couch potato phenomenon*) (Marshall et al., 2006; Ryan et al., 2015). Rejoindre les recommandations en termes d'AP ne suffit donc pas pour protéger la santé : il faut être actif fréquemment et donc réduire les temps de sédentarité prolongée (Peddie et al., 2013). Chez l'enfant d'âge scolaire, il est aujourd'hui recommandé d'éviter des périodes d'inactivité ou de sédentarité de plus de deux heures pour qu'elles ne constituent pas un risque pour la santé.



Enfin, la pratique d'AP peut aussi comporter des risques pour la santé des enfants. Une récente revue sur les risques de blessures nécessitant un traitement médical lors d'AP a pu inclure 8 études à

ses analyses et a montré un risque de blessure de ,15 à ,27 pour 1000 heures d'AP. Ces risques étaient plus importants lors d'activités spontanées non structurées et pour les enfants les moins actifs habituellement ; toutefois, les blessures demeurent mineures (Nauta et al., 2015). Aussi, les enfants présentant un surpoids ou de l'obésité mettaient plus de temps à se remettre de fractures, d'entorses ou de foulures (Warsh et al., 2011). L'AP apparaît donc davantage comme un comportement profitable à la santé qu'un comportement à risque. Bien l'AP puisse entraîner des blessures, elles restent relativement superficielles et rarement graves chez l'enfant typique. Cependant, la littérature sur les risques liés à l'AP sont parcellaires, il est donc encore tôt pour conclure définitivement sur les risques liés à l'AP des enfants.

2.1.4 La pratique d'activité physique des enfants aujourd'hui

A notre connaissance, les données françaises les plus récentes sur la pratique d'AP des enfants en France métropolitaine sont issues de rapports édités en 2017 sur des données récoltées entre 2014 et 2015 : la troisième étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA3) et l'Etude de Santé sur l'Environnement, la bio surveillance, l'Activité physique et la Nourriture (ESTEBAN) (Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail, 2017; Équipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017). Ces deux études s'intéressaient à la pratique d'AP et à la sédentarité de la population française et ont interrogé l'AP d'un échantillon de plus de 1000 enfants chacune (N = 2698 enfants âgés de 3 à 17 ans (dont N = 1133 enfants âgés de 3 à 10 ans) dans INCA3 et N = 1182 enfants âgés de 6 à 17 ans dans ESTEBAN). Le recueil des données d'AP et de sédentarité des enfants s'est fait par hétéroévaluation par les parents via des questionnaires propres à chaque étude sur la fréquence d'engagement des enfants dans différentes AP au cours de la semaine (e.g., jeux de plein air, EPS, transports actifs). Nous nous intéressons ici à la tranche d'âge des enfants d'âge scolaire âgés de 6 à 10 ans.

Les deux études épidémiologiques ont montré que relativement peu d'enfants d'âge scolaire rejoignaient les recommandations d'AP de l'OMS (voir figure 16) : ¼ des enfants âgés de 7 à 10 ans de l'étude INCA3 et 20% des enfants âgés de 6 à 10 ans de l'étude ESTEBAN s'engageaient au moins 5 fois par semaine dans des AP et se rendaient à l'école par des moyens actifs (e.g., marche à pieds, vélo, trottinette) (voir figures 16 et 17). L'étude ESTEBAN a montré une différence significative d'activité entre les filles et les garçons à ces âges : les filles étaient moins actives physiquement que les garçons ; mais l'étude INCA3 ne retrouvait pas de différence liée au genre. Le manque d'AP tendait à augmenter avec l'âge dans les deux études, toutefois, comme les questionnaires n'était pas les mêmes selon les groupes d'âge, nous devons rester prudents quant à cette interprétation. Les patterns d'AP entre les enfants français différaient selon leur région de domiciliation et la taille de l'agglomération : davantage d'enfants rejoignaient les recommandations en termes d'AP dans le nord-est (23% des enfants) que

dans le sud-ouest (12%) et plus la ville était grande, plus les enfants étaient actifs physiquement : 35% des enfants de Paris rejoignaient les recommandations d'AP contre 27.5% dans les villes de moins de 100 000 habitants et 14.2% dans les zones rurales (voir rapport INCA3 de 2017). Concernant les pratiques d'AP des enfants, l'étude ESTEBAN montrait que près de 57% des garçons et 62% des filles pratiquaient une AP sportive ; que plus de 83% des enfants, tout genre confondu, ont reçu une séance d'EPS lors des sept derniers jours précédant le questionnaire (certaines passations avaient eu lieu pendant les vacances) ; que près de 70% des garçons et près de 74% des filles déclaraient avoir pratiqué des jeux de plein air quelques jours pendant les jours d'école, contre 83% des garçons et près de 95% des filles les jours où il n'y avait pas ou pas beaucoup école. Un peu plus d'1 garçon sur 3 se rendait à l'école par des moyens actifs contre 45% des filles.

Afin de dresser un profil d'activité des enfants (voir figure 17), ces travaux ont aussi interrogé leur sédentarité qui a été évaluée via le temps passé par les enfants devant un écran (télévision, ordinateur et/ou jeux vidéo). Les rapports d'études alarmaient quant à l'importance de la sédentarité des participants – d'autant plus qu'ils ont pu minimiser le temps passé à des activités sédentaires en ne prenant en compte que le temps passé devant un écran : ¼ des enfants âgés de 3 à 10 ans de l'étude INCA3 et plus de 50% des garçons et 40% des filles âgés de 6 à 10 ans de l'étude ESTEBAN passaient plus de 3 heures par jour devant un écran. La tendance à la sédentarité augmentait avec l'âge : un enfant sur 5 est à la fois actif et sédentaire contre ½ à l'adolescence et 4/5 à l'âge adulte (voir rapport INCA3 2017). Les garçons apparaissaient comme plus sédentaires que les filles et cette différence perdurait avec l'âge. Le niveau d'étude des parents avait un impact sur le niveau de sédentarité des enfants : les enfants dont le représentant familial avait au moins un niveau bac étaient moins sédentaires que les enfants dont le représentant familial avait un niveau d'étude inférieur. Devant l'ampleur du manque d'AP et de l'importance de la sédentarité (pourtant minimisée dans ces données) et puisque les patterns d'AP se mettent en place dans l'enfance et sont prédictifs de l'AP à l'âge adulte (Armstrong & McManus, 1994), il est urgent d'agir au plus tôt dans le développement des enfants français pour favoriser l'adoption d'un style de vie actif.

Figure 16

Pourcentage des répartitions des niveaux d'activité physique des enfants d'âge scolaire en France en fonction de l'étude nationale et du genre (pour l'étude ESTEBAN dans laquelle une différence significative apparaissait entre les groupes), d'après Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail (2017) et Esen (2017)

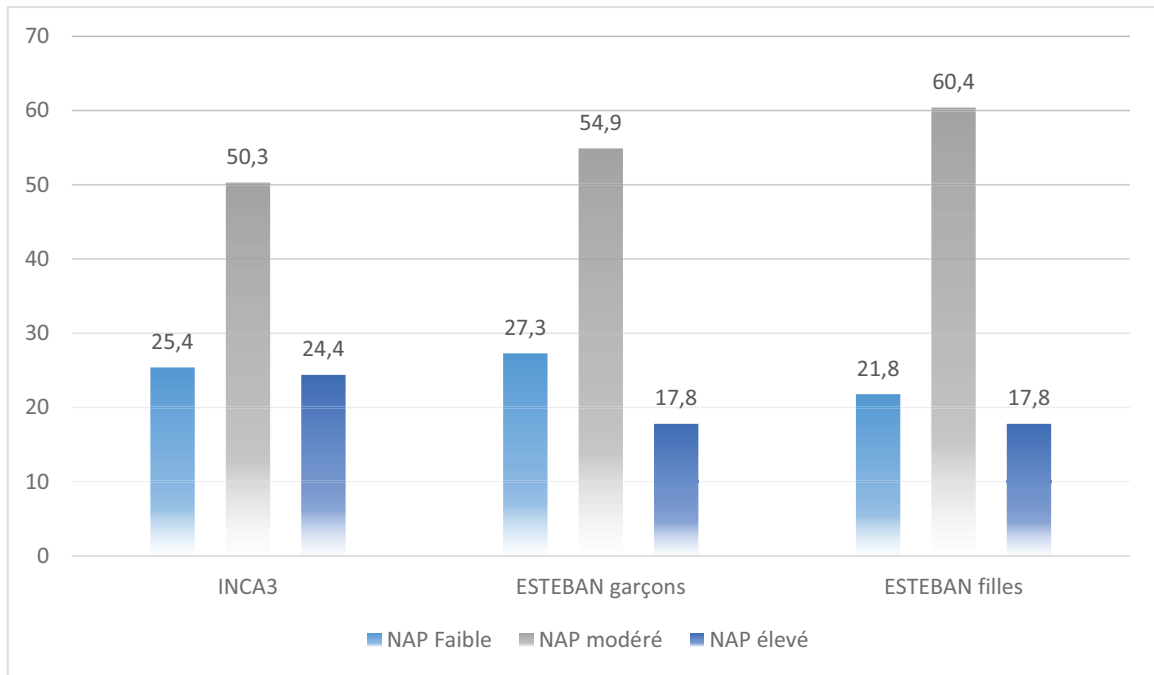
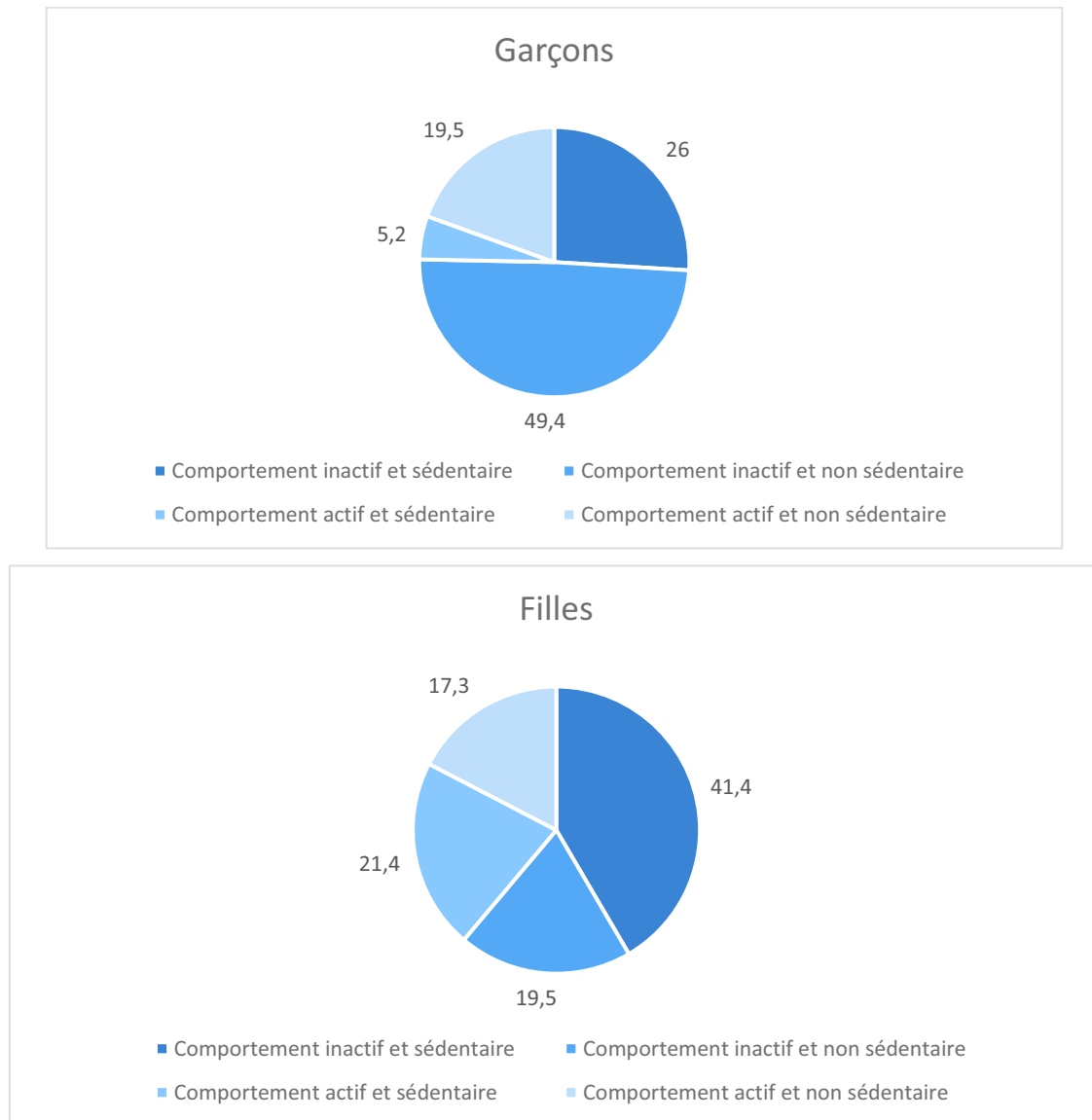


Figure 17

Profil d'activité des enfants âgés de 3 à 10 ans selon leur genre, d'après le compte-rendu de l'étude INCA3 (Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail, 2017)



A l'instar du constat français à propos du manque d'AP et l'augmentation de la sédentarité, l'OMS constate une tendance mondiale à l'inactivité et à la sédentarité avec le développement des moyens de transport, l'étendue de l'usage des technologies, les valeurs culturelles et l'urbanisation grandissante. Devant les risques de santé et de société associés à ces comportements grandissants, l'OMS a récemment renouvelé son plan d'activité physique pour l'horizon 2030 dans le but de favoriser l'accès à tous à l'AP selon les besoins et les capacités de chacun et limiter la sédentarité. Le plan 2018-2030 est intitulé « *More active people for a healthier world* » et se donne pour objectif une réduction de la sédentarité de 10% d'ici 2025 et 15% d'ici 2030 (World Health Organisation, 2018). La particularité de ce nouveau plan réside dans son approche systémique basée sur l'interconnexion et l'influence

multiple pour favoriser l'AP et lutter contre la sédentarité. Aussi, le plan soutient l'intérêt de prendre en compte les besoins et les capacités des individus (un enfant d'âge scolaire n'a pas les mêmes besoins ni les mêmes capacités ni les mêmes possibilités qu'un adulte de 30 ans, ou que celles d'une personne âgée). Pour répondre de manière systémique et favoriser l'AP et lutter contre la sédentarité à tous les niveaux, l'OMS s'est donné 4 objectifs : (1) créer des sociétés actives en agissant sur les normes sociales et les attitudes ; (2) créer des environnements actifs en agissant sur les lieux et les espaces ; (3) créer des gens actifs en agissant sur l'accès à des programmes et des opportunités et (4) créer des systèmes actifs en agissant sur la gouvernance et les facilitateurs politiques. Ainsi, la politique actuelle de l'OMS s'inscrit tout à fait dans les stratégies actuelles fondées sur les faits d'utiliser une approche globale de promotion de l'AP et de lutte contre la sédentarité dans laquelle les efforts doivent être communs et davantage centrés sur quelques lieux ou populations donnés (Guinhouya, 2013).

En résumé, l'AP correspond à un ensemble d'activités qui entraînent une augmentation substantielle de la dépense énergétique du corps au-dessus du niveau de repos. Elle est multidimensionnelle et peut être étudiée suivant sa nature, sa forme, son intensité, sa durée et sa fréquence. L'AP a surtout été étudiée pour les bénéfices qu'elle pouvait apporter en termes de santé physique, psychologique et sociale à tous les âges de la vie. Pour que les enfants puissent tirer des bénéfices de santé de l'AP, il leur est recommandé de pratiquer au moins 60 minutes d'AP d'intensité modérée à vigoureuse par jour.

L'AP peut être mesurée chez l'enfant à l'aide de nombreux outils permettant de rendre compte de ses différentes dimensions par des moyens plus ou moins objectifs. Les mesures déclaratives permettent de rendre compte de nombreuses dimensions de l'AP selon les questions posées. Elles sont faciles d'utilisation et permettent de recueillir de nombreuses données en un minimum de temps. Toutefois, elles sont peu précises et sujettes à la subjectivité du répondant. Parmi les outils plus objectifs, nous retrouvons les indices physiologiques et biomécaniques. Ces techniques sont plus coûteuses, mais aussi les plus précises et les plus fiables. Aujourd'hui, l'accélérométrie est considéré comme la « méthode de référence » pour mesurer la pratique d'AP des enfants.

Les enfants peuvent s'engager dans des AP structurées lors de temps alloués au sport, des AP discrétionnaires lors de temps de jeu, des AP de la vie courante lors de la promenade du chien ou dans des AP à l'école. L'AP spontanée de l'enfant se caractérise par des épisodes intermittents d'AP intense transitoire avec des pauses de quelques minutes, les enfants sont rarement inactifs longtemps. Avec l'avancée en âge, les enfants sont de moins en moins actifs et de plus en plus sédentaires. Les garçons tendent à être à la fois plus actifs et plus sédentaires que les filles. Les enfants issus de milieux plus

défavorisés ont tendance à être moins actifs et plus sédentaires que les enfants issus de milieux plus favorisés.

En France, les derniers travaux épidémiologiques montrent qu'à peine 25% des enfants âgés de 6 à 10 ans atteignent les recommandations d'AP et qu'au moins autant sont sédentaires. Dans son plan 2018-2030, l'OMS encourage les nations à s'engager dans la promotion de l'AP et à lutter contre la sédentarité à tous les niveaux : sociétal, environnemental, individuel et politique.

2.2 Investigation de l'existence d'un lien entre l'activité physique et l'activité cognitive

2.2.1 Une question actuelle aux racines antiques

Se questionner sur ce qui peut lier l'AP et l'activité cognitive revient plus généralement à s'interroger sur ce que la philosophie nomme le « *mind-body problem* ». La question du lien entre la matière et l'esprit interroge les penseurs depuis l'antiquité, notamment à travers les courants classiques dualistes qui séparent le corps de la matière classiques et monistes qui les envisagent comme une même « substance » (Berkeley & Berlioz, 1991; Descartes et al., 2011; Epicurus et al., 2009; Spinoza, 1993). Bien que largement dépassé, la proposition dualiste de Descartes a permis d'actualiser la question et d'alimenter les courants actuels e.g., néo-dualisme, matérialisme, fonctionnalisme (Damasio, 2010). De nombreux indices laissent penser que la matière et l'esprit pourraient être liés, même tôt dans le développement. Si les avancées techniques et technologiques nous ont permis d'alimenter les théories, notamment via les travaux sur l'intelligence artificielle, la nature des liens entre la matière et l'esprit demeurent méconnus.

Nous pouvons observer une série d'indices en clinique psychiatrique. Déjà au XVII^{ème} siècle, les travaux du neurologue français Charcot défendaient une origine psychogénique (ici un conflit psychique) des manifestations fonctionnelles de l'hystérie. Charcot avait notamment montré que l'hypnose pouvait précipiter ou stopper les symptômes corporels de l'hystérie (e.g., astasie-abasie, paralysies, crampes) (Lellouch, 1992). Les affections psychiatriques actuelles peuvent aussi impacter le corps des patients. L'état de stress ou l'état dépressif peuvent avoir des effets délétères sur la santé physique e.g., douleurs musculaires, affections du système cardio-vasculaire et gastro-intestinal, inflammations (Çakmak et al., 2018; Maes et al., 1993; Naushad et al., 2018; Yaribeygi et al., 2017). Plus récemment, la recherche s'est penchée sur les effets que le corps pouvait avoir sur les états mentaux. L'AP s'est montrée capable, dans une certaine mesure, d'améliorer la santé mentale de populations cliniques comme non-cliniques (Knapen et al., 2015; Rebar et al., 2015; Taylor et al., 1985). Cet effet positif de l'AP sur les états mentaux s'observe aussi chez des populations pédiatriques où elle s'est avérée avoir des effets significatifs légers à modérés sur la santé mentale, l'estime de soi et le fonctionnement cognitif (Ahn & Fedewa, 2011; Biddle & Asare, 2011; Lubans et al., 2016). Si les effets

positifs de l'AP sur la santé et les états mentaux sont aujourd'hui relativement bien documentés, il se pourrait qu'ils ne se limitent pas à ces sphères et qu'ils puissent même toucher l'activité cognitive.

Le vieillissement traduit une période développementale dans laquelle on rencontre de nombreux changements d'ordre physique, biologique, psychologique et social. Ces changements se traduisent principalement par une diminution d'activité ayant des répercussions tant structurelles que fonctionnelles. Au niveau cognitif, on observe dans le vieillissement typique un déclin des performances dans des tâches impliquant de l'intelligence fluide (i.e., raisonnement, résolution de problèmes en situation nouvelle ou peu familière), de la rapidité, des capacités de MCT ou prospective (e.g., se souvenir d'une liste de courses) ou de l'inhibition. Toutefois, les personnes vieillissantes typiques ne présentent pas de déclin, plutôt une constance voire une amélioration avec l'âge, dans des tâches d'intelligence cristallisée (i.e., compétences, habiletés et savoirs bien appris, pratiqués et familiers) (Dumas, 2015; Harada et al., 2013). La population vieillissante est particulièrement sensible aux pathologies neurodégénératives (e.g., maladie d'Alzheimer) qui ont des répercussions majeures sur la cognition. Dans ce contexte de vulnérabilité cognitive, des investigations ont été menées sur les facteurs de maintien de l'activité cognitive et les résultats actuels indiquent que les personnes âgées ayant un profil actif physiquement présentent un meilleur profil cognitif que celles qui sont plus sédentaires (Iso-Markku et al., 2018). En ce sens, des interventions pour favoriser l'AP des personnes âgées ont été mises en place. Les récentes méta-analyses ont montré que l'exercice physique de type aérobie (i.e., mettant en jeu le métabolisme aérobie – utilisant de l'oxygène – pour mettre à disposition de l'énergie utilisable par les muscles squelettiques ; exercice d'intensité modéré pour un effort d'une durée moyenne à longue) était capable d'améliorer l'activité cognitive des personnes âgées typiques et de celles atteintes de pathologies neurodégénératives (Gheysen et al., 2018; Groot et al., 2016). Des patterns de résultats similaires ont été retrouvés pour les FE (de Oliveira Silva et al., 2019; Hsu et al., 2018; Kikukawa et al., 2018). Ces effets bien particuliers de l'AP sur la cognition du sujet vieillissant ont pu soulever des questions sur la nature des liens entre l'AP et la cognition dont l'origine pourrait se situer tôt dans le développement.

Au XX^{ème} siècle, les travaux sur la genèse de l'intelligence menés par le pionnier Jean Piaget faisaient référence à un stade de développement où la motricité était centrale à la genèse de l'intelligence humaine : le *stade sensori-moteur* (Piaget, 1937) qui s'étend sur une période allant de la naissance à la deuxième année de vie. Ce premier stade est basé sur l'action en tant que mouvements du corps modulants et pouvant être modulés par l'environnement. Cette intelligence sensori-motrice se développerait via les interactions de l'enfant avec les objets d'où il tirerait ses connaissances sur le monde en intégrant les effets de ses actions. L'intelligence sensori-motrice se découperait en 6 sous-stades développementaux : l'enfant, petit à petit, passerait de l'exercice répété d'activités réflexes à

la découverte fortuite d'actions à exercer sur son propre corps ; puis d'actions sur les objets extérieurs marquant le début de l'intentionnalité ; et ces schèmes d'action se combineraient pour résoudre des problèmes de plus en plus complexes, en distinguant les moyens du but de plus en plus clairement jusqu'à être capable de faire des expérimentations actives sur les objets et découvrir de nouvelles manières d'agir sur le monde. Les inventions de l'enfant s'intérioriseraient peu à peu vers le registre symbolique en se rapprochant du prochain stade : le stade pré-opératoire. Ainsi, selon Piaget, dès ses premiers mois de vie, c'est par l'action que l'enfant interagit avec le monde et c'est par l'observation du résultat de ses actions que l'intelligence humaine se construirait dans un premier temps.

Un champ théorique qui propose une alternative au computo-symbolisme « classique » place le corps au cœur de l'activité cognitive. Ainsi, la cognition incarnée rejette les concepts computationnels et symboliques en faveur d'un système dynamique dans lequel l'intelligence émergerait de l'interaction complexe et non-linéaire entre l'organisme et son environnement (Smith, 2005). La cognition incarnée considère que le cerveau est dans un corps qui est dans un monde avec lequel il interagit de manière continue. La connaissance serait donc liée au monde à travers le corps. Contrairement à la perspective piagétienne où les représentations sont des composantes discrètes, les représentations sensori-motrices en cognition incarnée se font en temps réel. Ainsi, lorsque la cognition incarnée a proposé de réévaluer la question de l'erreur A-non-B de l'épreuve piagétienne de permanence de l'objet, les chercheurs ont pu montrer que cette erreur pouvait disparaître en modulant les conditions expérimentales (accessibilité du tissu cachant l'objet, délai, nombre d'essais) et, qu'en ce sens, cette erreur ne pouvait pas être imputable à une représentation partielle de l'existence de l'objet hors de soi, mais plutôt une conséquence de la création d'habitudes motrices induites par le dispositif (Diedrich et al., 2000, 2001; Smith, 2005). Ainsi, les actions de l'enfant sur le monde lui permettraient de mieux le connaître, de développer son intelligence.

Concernant plus particulièrement les FE, les travaux menés sur les comportements exploratoires des jeunes enfants ont montré que l'exploration motrice d'une situation nouvelle nécessitait la mise en œuvre d'un contrôle comportemental pour s'adapter aux contraintes du milieu (e.g., traverser un pont plus ou moins large avec ou sans rampe) (Adolph, 2008; Anderson et al., 2013). Aussi des travaux longitudinaux ont pu mettre en avant que la motricité des enfants à quelques mois de vie était positivement liée à leur réussite scolaire et leur cognition future, notamment leur capacité de vitesse de traitement et de MDT (Grissmer et al., 2010; Piek et al., 2008). Nous venons de présenter de nombreux et divers indices amenant à penser que l'AP et les FE pourraient être liées. Nous allons maintenant nous intéresser plus en avant à la période développementale qui a retenu notre attention : la période d'âge scolaire.

2.2.2 Travaux transversaux

Si la pratique d'AP peut favoriser le développement des fonctions cognitives, dont les FE, on peut s'attendre à ce que les enfants actifs physiquement présentent des FE plus efficaces que les enfants moins actifs. Cette hypothèse a été testée dans des travaux transversaux menés au cours des vingt dernières années (Donnelly et al., 2016 ; Sibley & Etnier, 2003). La plupart des travaux transversaux que nous avons pu recenser ont mesuré la capacité aérobie des participants pendant l'effort comme indicateur de leur forme physique puisqu'elle est liée à la pratique d'AP régulière (Dencker et al., 2008). Cette capacité a été mesurée par calorimétrie indirecte du volume maximal d'oxygène consommé (VO₂max) ou via le Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run (PACER) (Cooper Institute, 1982). La mesure du VO₂max par calorimétrie indirecte permet de déterminer le débit maximal du métabolisme aérobie et est en lien avec la performance (Foster, 1983) et l'AP régulière (Dencker et al., 2008). Cette mesure est faite en laboratoire où les enfants courent à vitesse régulière sur un tapis roulant. La vitesse augmente de 2.5% toutes les 2 minutes (le protocole peut varier selon la population étudiée (Ferguson, 2014)). Les échanges gazeux respiratoires sont mesurés jusqu'à ce que l'enfant soit épuisé (i.e., quand il a atteint sa capacité maximale d'absorption d'O₂). Il s'agit d'un effort d'endurance mettant en jeu la chaîne énergétique aérobie. Le PACER test consiste en une série de courses à pieds sur une vingtaine de mètres en un temps donné. Pallier après pallier la distance doit être parcourue de plus en plus rapidement. On compte le nombre de paliers réussis par les enfants comme reflet de leur condition physique aérobie maximale. Le score obtenu au PACER est corrélé au VO₂max (Varness et al., 2009), aussi, il est possible d'estimer le VO₂max à partir du PACER (en prenant en compte ou non l'Indice de Masse Corporelle (IMC), voir Annexe 1) (Mahar et al., 2018).

La majorité des travaux recensés s'intéressaient à l'effet de la condition physique aérobie sur la capacité d'inhibition via la tâche de Flanker modifiée. Dans cette épreuve informatisée, les enfants doivent taper sur une touche à droite du clavier lorsque le stimulus central, une flèche, pointe vers la droite et à gauche lorsqu'il pointe vers la gauche. Dans les conditions les plus simples, différentes flèches pointent dans la même direction, condition congruente (e.g., « >>>> ») et dans les conditions incongruentes, plus difficiles, les flèches n'indiquent pas toutes la même direction (e.g., « >><< »). Les participants doivent répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. Dans cette tâche, il faut donc inhiber les distracteurs pour ne prendre en compte que la cible. Les travaux ayant utilisé cette tâche pour mesurer l'inhibition rapportaient une association positive entre la forme physique aérobie d'enfants âgés de 7 à 12 ans et leur capacité d'inhibition. En effet, les enfants ayant une meilleure condition physique avaient des temps de réponse plus rapides et donnaient davantage de bonnes réponses que ceux ayant une moins bonne forme physique (Chaddock et al., 2010, 2012; Hillman et al., 2009; Pontifex et al., 2012; Scudder et al., 2014) sauf pour une étude dans

laquelle il n'y avait pas de différence significative (Wu et al., 2011). Le même pattern de résultats s'observait chez des enfants à risque de syndrome métabolique qui avaient des temps de réponse plus longs et moins de bonnes réponses que les enfants qui ne présentaient pas de risque (Scudder et al., 2015). Les travaux ayant inclus des procédés d'imagerie ont pu mettre en avant un lien positif entre la forme physique aérobie, la performance à la tâche de Flanker et le volume de certaines régions du cerveau chez l'enfant d'âge scolaire (Chaddock et al., 2010) : le striatum dorsal en lien avec le traitement des interférences et les ganglions de la base en lien avec les apprentissages et le contrôle cognitif. Aussi, les enfants ayant une meilleure forme physique aérobie, présentaient une plus grande amplitude des ondes P3 (meilleure allocation de l'attention) et une latence plus courte des ondes P3 (réponses plus rapides) que les enfants ayant une moins bonne forme physique aérobie (Hillman et al., 2009; Pontifex et al., 2011, 2012). Ainsi, les enfants ayant une meilleure forme physique aérobie présentaient une meilleure capacité d'allocation de leur attention (Chaddock et al., 2012). Toutefois, la tâche de Flanker n'est pas une tâche d'inhibition pure (Xie et al., 2017) et d'autres mesures de l'inhibition doivent être faites pour corroborer ces résultats. Une étude ayant utilisé le test de Stroop a trouvé une association positive entre le nombre de réponses correctes et la forme physique dans chacune des conditions des trois conditions testées chez les enfants de 7 à 12 ans, et ce, indépendamment de l'âge et du QI (Buck et al., 2008). Il apparaît ici que la forme physique aérobie liée à la pratique d'AP habituelle est positivement liée aux capacités d'inhibition chez l'enfant d'âge scolaire. La pratique d'AP pourrait donc participer au développement des FE à l'âge scolaire.

Un nombre plus limité de travaux se sont intéressés aux autres FE de base et à d'autres composantes des FE. Deux études nord-européennes se sont intéressées au lien entre l'AP et les trois composantes des FE de base. La première étude est néerlandaise et la seconde norvégienne. L'étude néerlandaise (van der Niet et al., 2015) a étudié le lien entre l'AP et la sédentarité mesurées via le port d'un accéléromètre (durant au moins quatre jours) et les FE de base chez 80 enfants âgés de 8 à 12 ans. L'inhibition était évaluée via le test de Stroop, la MDT via une tâche de mémoire visuo-spatiale où l'enfant doit pointer du doigt une série de cubes dans l'ordre inverse à celui dans lequel un expérimentateur les aura précédemment montrés ; et la flexibilité via le Trail Making Test, épreuve dans laquelle, les participants ont pour consigne de relier des points indexés de chiffres (relier du plus petit au plus grand) ou de lettres (relier dans l'ordre alphabétique) le plus vite possible. La tâche de flexibilité étant de relier une lettre à un chiffre en faisant un chemin à la fois selon l'ordre croissant numérique et l'ordre alphabétique tour à tour (e.g., A-1-B-2-C-3...). L'étude mesurait aussi la capacité de planification via le test de la tour de Londres, tâche dans laquelle les enfants doivent réaliser un pattern donné en déplaçant des boules de bois colorées sur des bâtons porteurs de taille variable. Le pattern doit être réalisé avec le moins de déplacements possible. Cette étude montrait une association

positive entre le niveau de sédentarité et de mauvaises performances d'inhibition et que de hauts volumes d'AP totale étaient liés à de meilleures performances de planification et à une réduction du temps d'exécution. L'étude norvégienne (Aadland et al., 2017) a travaillé sur un échantillon de 697 enfants d'une dizaine d'années (classe équivalente au CM2 français). Elle a aussi utilisé des accéléromètres en plus d'indicateurs de forme physique aérobie (test similaire au PACER décrit plus haut) et de capacités motrices (attraper avec une main, lancer vers une cible et une course de 10 fois 5 mètres) pour mesurer l'AP. Pour mesurer les FE de base, les auteurs ont utilisé le test de Stroop pour apprécier l'inhibition, le Trail Making Test et un test de fluence verbale (donner le plus de noms d'animaux possible en 60 secondes) pour mesurer la flexibilité et une tâche d'empan de chiffre envers pour mesurer la MDT verbale. Des mesures de performances académiques ont été faites via des tests de niveau à l'école usités en Norvège. Dans le modèle complet des résultats (comprenant l'ensemble des variables), les capacités motrices sont les plus fortement liées aux capacités des FE. Des différences liées au genre sont observées : chez les garçons, il existe un lien entre la forme physique aérobie, les FE et les performances académiques et chez les filles, un lien entre les capacités motrices et les performances académiques. Dans la même veine, une récente étude a montré que les FE seraient une variable médiatrice du lien entre l'AP et la réussite scolaire (Schmidt et al., 2017).

L'ensemble de ces travaux montrent que la forme physique des enfants à un instant T peut être liée à l'efficacité de leurs FE. L'AP pourrait donc constituer un facteur de développement des FE. Si le design transversal de ces travaux ne permet pas d'envisager de lien causal, ces derniers n'en demeurent pas moins encourageants pour poursuivre nos investigations. Il nous faut notamment passer par d'autres design d'étude pour étudier les effets de l'AP sur les FE. Avant de nous pencher sur de tels travaux, commençons par nous intéresser aux pistes explicatives du lien entre l'AP et les FE.

2.2.3 Pistes explicatives

Plusieurs pistes explicatives ont pu être proposées pour rendre du compte du lien entre la pratique d'AP et la cognition. Une première piste se base sur la mise en jeu de compétences et de processus communs dans l'AP, les exercices moteur et de coordination et les FE. Une deuxième piste s'intéresse aux changements physiologiques entraînés par la pratique d'AP habituelle qui favoriseraient la cognition. Enfin, nous évoquerons une troisième piste, une piste psychologique en émergence.

L'AP, notamment les AP pratiquées en groupe comme les sports collectifs (e.g., le football), exigent du participant qu'il collabore avec ses partenaires, qu'il agisse de manière à atteindre un but en s'adaptant, modifiant ses plans selon la situation (e.g., garder le ballon ? faire une passe ? tenter de marquer un but ?), qu'il anticipe les actions à venir, qu'il mette en place des stratégies... Ces exigences cognitives propres à ces AP de groupe sollicitent l'exercice des mêmes compétences que les tâches

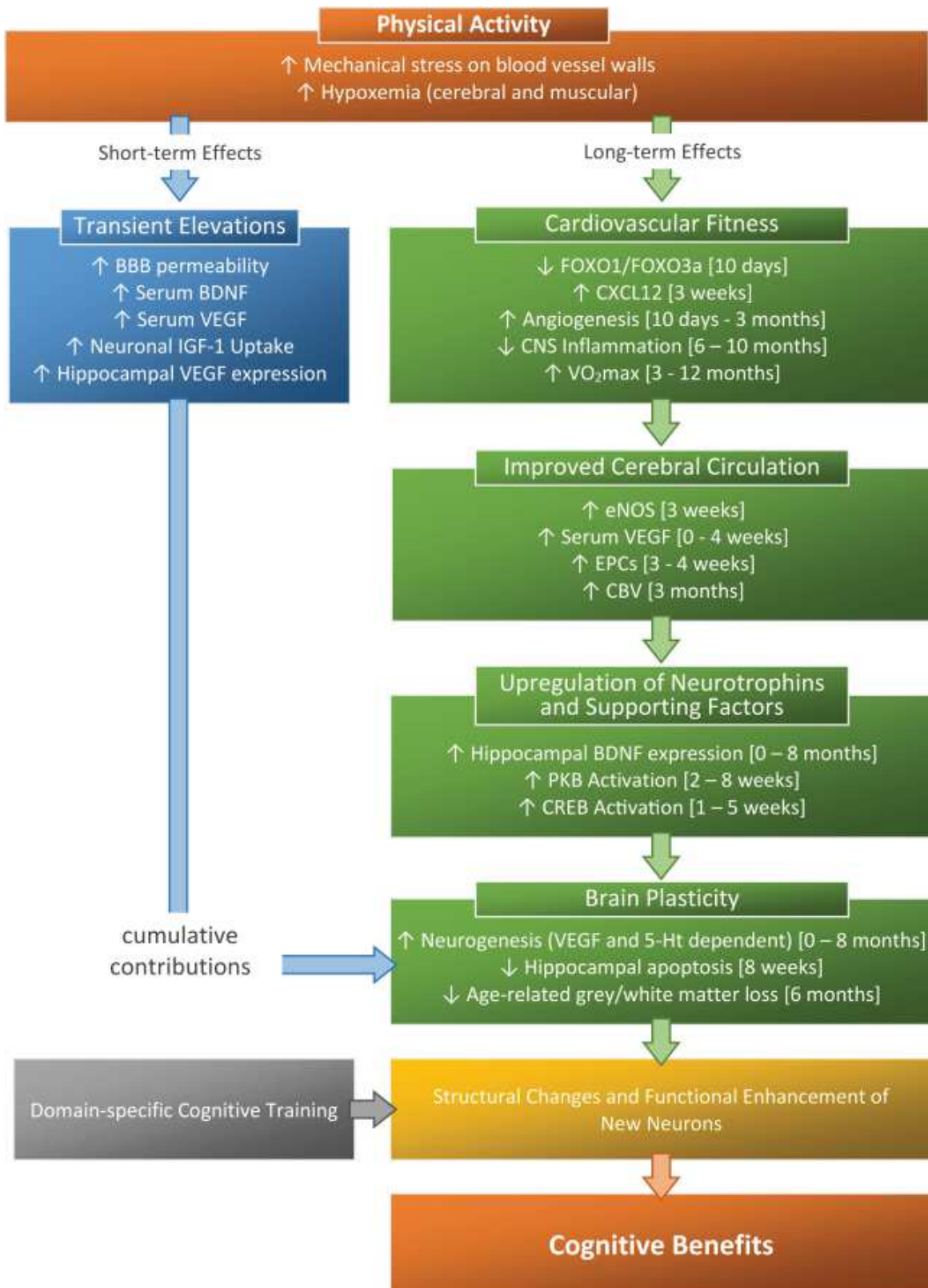
cognitives proposées aux enfants lors de l'évaluation de leurs FE (i.e., inhibition, mémoire de travail, flexibilité mentale, planification...). Ainsi, en participant à ce type d'AP de groupe de type aérobie, les enfants pourraient opérer un transfert des compétences exercées sur le terrain vers les tâches cognitives sous-tendues par les FE (Best, 2010). Dans son article de 2010, Best fait référence à l'interférence contextuelle de Tomporowski comme facteur explicatif du transfert des compétences. Contrairement aux apprentissages par répétition de situation simples, lors d'AP de groupe, le participant prendrait une décision en fonction de nombreux facteurs et devrait faire un effort cognitif pour prendre la bonne décision, ce qui favoriserait l'apprentissage et renforcerait les FE. Dans la même veine, on retrouve une explication du lien AP-FE passant par la demande cognitive des mouvements moteurs à effectuer dans l'AP. En effet, les AP nécessitant un effort de coordination motrice mettent en jeu les mêmes zones cérébrales que les FE (CPF, cervelet et ganglions de la base) (Best, 2010). Aussi, le calendrier développemental des FE et des capacités motrices, respectivement en lien avec la maturation du CPF et du cervelet et leurs étroites interrelations (Diamond, 2000) traduisent un lien développemental précoce entre motricité et FE. De plus, nous savons aujourd'hui que le cervelet est impliqué dans l'activité des FE (Bellebaum & Daum, 2007) et la motricité et les FE reposent en partie sur des processus communs de classement, de contrôle et de planification (Roebers & Kauer, 2009; van der Fels et al., 2015). Roebers et Kauer (2009) ont notamment mis en avant une association faible entre les performances dans des tâches cognitives complexes et des tâches de coordination motrice chez des enfants de 7 ans. Dès lors, l'engagement dans des tâches motrices complexes permettrait de favoriser le contrôle cognitif puisque certains circuits de contrôle se recouperaient.

L'engagement du corps dans l'AP entraîne des changements physiologiques à plus ou moins long terme et ces changements pourraient expliquer les changements cognitifs que l'on peut observer directement après une AP aérobie ou après avoir suivi un programme d'AP de plusieurs semaines (Saint Louis Deschênes, 2012). On parle alors d'effets aigus (changements induits après une seule exposition) et d'effets chroniques (changements induits par une exposition répétée sur une période donnée) de l'AP sur la cognition. Les effets de l'AP aérobie sont majoritairement documentés par des modèles animaux (rats et souris) et encore relativement peu de travaux ont été fait chez l'être humain, alors, des travaux sont encore nécessaires pour explorer cette piste (Best, 2010; Stimpson et al., 2018). S'engager dans un effort physique entraînerait immédiatement des modulations du débit sanguin cérébral à la hausse, notamment dans les zones en lien avec les FE (zone frontale et pariétale), ainsi, après un exercice physique aérobie, on pourrait être plus efficace dans une tâche de FE (Chen et al., 2014). A force de répétitions, des adaptations apparaîtraient pour favoriser la vascularisation de ces tissus cérébraux par angiogenèse (i.e., apparition de capillaires sanguins) (Park et al., 2012). De telles adaptations seraient liées à une augmentation de la libération de neurotrophines qui favoriserait la

plasticité cérébrale via neurogénèse, synaptogénèse (libération du facteur neurotrophique dérivé du cerveau (brain-derived neurotropic factor (BDNF)) et angiogénèse (libération du facteur de croissance de l'endothélium vasculaire (vascular endothelial-derived growth factor (VEGF) & du facteur de croissance de l'insuline (Insuline like growth factor 1 (IGF-1)) et pourrait entraîner des modifications structurelles à long terme (e.g., épaisseur corticale, volume des hippocampique) en lien avec l'efficacité des FE (Stimpson et al., 2018). La figure 18 tirée du travail de revue de Stimpson et al. (2018) permet de résumer les effets aigus et chroniques de l'AP selon la piste physiologique. Il est à noter que ce modèle a été développé autour de la question de comment favoriser des bénéfices à long terme et limiter le déclin des FE chez l'individu vieillissant. D'où l'inclusion d'entraînements cognitifs qui n'ont pas leur place dans la réflexion que nous menons chez l'enfant d'âge scolaire.

Figure 18

Modèle explicatif des bienfaits de l'activité physique sur la cognition à court terme et à plus long terme selon l'hypothèse physiologique (Stimpson et al., 2018)

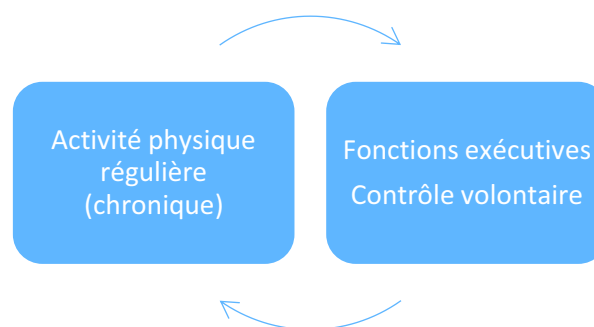


Note : Entre crochets sont indiqués les temps à partir desquels les changements peuvent être observés après un engagement chronique dans des AP de type aérobie.

Enfin, les travaux d'Audiffren et ses collaborateurs (Audiffren et al., 2011; Audiffren & André, 2015, 2019) proposent une révision du modèle de force de contrôle de soi (Baumeister et al., 2007; Muraven & Baumeister, 2000) appliqué à la psychologie de l'exercice. Ainsi, quand l'individu s'engagerait dans une AP, il devrait faire des efforts pour se maintenir dans l'activité et faire face à des sensations désagréables, e.g., picotements, humidité. Toutefois, ces ressources sont limitées, d'autant plus chez des individus qui ne sont pas en bonne forme cardio-vasculaire. A force d'efforts de maintien, l'individu améliorerait ses capacités de contrôle de soi, si bien que les bénéfices en termes de ressources de contrôle se généraliseraient et deviendraient des facilitateurs de l'activité cognitives et des FE (Audiffren & André, 2015). A notre connaissance, cette hypothèse est encore émergente et n'a pas été étudiée chez l'enfant. Les travaux récents d'Audiffren et ses collaborateurs font référence à un possible cercle vertueux entre l'AP et les FE : L'AP favoriserait les FE et les FE favoriseraient l'engagement dans une pratique d'AP régulière qui favoriserait le fonctionnement exécutif (voir figure 19) (Audiffren & André, 2019). En effet, comme nous l'avons vu dans ce chapitre, la pratique d'AP régulière favoriserait le développement des FE et l'efficacité des FE seraient en jeu dans l'adoption de comportements de santé dont le comportement d'AP. Aussi, les individus ayant de meilleures FE s'engageraient davantage et plus régulièrement dans des AP et auraient une espérance de vie en bonne santé plus importante que les individus ayant des FE moins efficaces (Hall et al., 2009, 2010; Hall & Marteau, 2014).

Figure 19

Lien bidirectionnel entre la pratique d'activité physique et les fonctions exécutives, d'après Audiffren & André (2019)



Note : La flèche du haut indique les effets que la pratique d'activité physique peut avoir sur les fonctions exécutives et la flèche du bas les effets que les fonctions exécutives ont sur l'engagement de l'individu dans une activité physique régulière.

Il existe de nombreuses pistes explicatives du lien entre l'AP et les FE qui nécessitent de plus amples investigations. Il apparaîtrait que ces différentes pistes ne sont pas exclusives les unes des autres, mais constitueraient davantage différentes voies pour toucher les FE (Audiffren et al., 2011; Best, 2010; Vazou et al., 2019). Aussi, passer par plusieurs canaux via une même activité permettrait de plus larges effets ; par exemple, une AP aérobie nécessitant des efforts de coordination motrice pourrait-être plus

efficace que de la marche rapide pour développer les FE (Best, 2010; Pesce et al., 2016; Schmidt et al., 2015). Le poids de ces différentes pistes dans l'explication des effets de l'AP sur les FE est à explorer et à mettre en concours dans des modèles d'analyse statistiques.

En résumé, le classique « mind body problem » a aujourd'hui largement dépassé la sphère philosophique et est investigué par les sciences. Si l'expression somatique du psychisme est aujourd'hui relativement bien admise dans le sens commun, le chemin inverse est encore difficile à concevoir. Cependant, nous nous accordons à affirmer que c'est par le biais du corps que nous faisons l'expérience sensible de notre environnement. Aussi, un nombre grandissant de travaux retrouve des corrélats positifs entre l'AP des individus et l'efficacité de leurs FE, même chez l'enfant.

La forme physique aérobie est un indicateur de pratique d'AP habituelle : toute chose étant égale par ailleurs, plus un individu est actif physiquement, plus il aura tendance à avoir une forme physique aérobie importante. Des travaux se sont intéressés aux liens entre la forme physique aérobie des enfants d'âge scolaire et l'efficacité de leurs FE. Ces travaux ont permis de montrer des liens significatifs positifs entre la forme physique aérobie et les capacités d'inhibition, de MDT et de flexibilité des enfants mesurées via des tests neuropsychologiques et des techniques d'imagerie cérébrale (i.e., volume cérébrale des zones concernées, amplitude et latence des ondes P3).

Ces indices transversaux ont permis le développement de modèles explicatifs du lien entre l'AP et les FE. Les modèles physiologiques envisagent que l'augmentation de débit sanguin cérébral lors de l'exercice physique favorisait l'efficacité des FE de manière aigue. A force de répétition d'exercice physique, l'organisme répondrait par une augmentation de la vascularisation et la libération de facteurs de croissance (e.g., BDNF) favorisant la plasticité cérébrale tant sur le plan fonctionnel que structurel et conduisant vers une meilleure efficacité des FE. Les modèles neuropsychologiques envisagent davantage un transfert de compétence de la pratique d'AP qui nécessite des efforts cognitifs d'ajustement vers une généralisation de la performance exécutive et que l'AP et les FE utilisent des processus communs.

Une piste psychologique récente envisage que l'engagement dans des AP nécessitant un effort de maintien dans l'activité mettrait à l'épreuve et rendrait plus efficaces les compétences métacognitives de gestion de l'effort qui favoriseraient l'efficacité des FE. Ainsi, l'AP et les FE pourraient être liées dans un cercle vertueux dans lequel les individus, en s'engageant dans des AP, tireraient des bénéfices cognitifs qui en retour favoriseraient l'engagement et le maintien des individus dans des AP au quotidien.

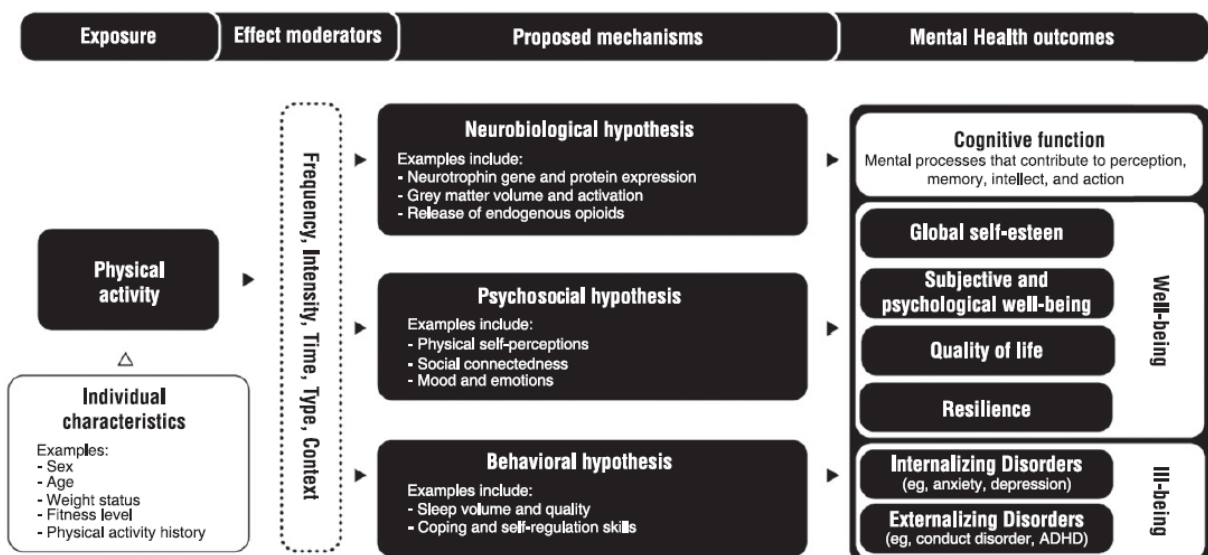
Les différents modèles soumis à l'épreuve des faits semblent montrer que l'AP pourrait favoriser l'activité cognitive par différentes voies et que ses effets pouvaient avoir des répercussions à des temporalités différentes (i.e., effets aigus et effets chroniques). Intéressons-nous plus avant aux dimensions de l'AP qui pourraient influencer l'activité cognitive des enfants d'âge scolaire et à la quantification de leur impact sur les FE de base des enfants.

2.3 Investigation de l'effet de la pratique d'activité physique sur les fonctions exécutives

L'intérêt de la science pour les effets potentiels de l'AP chez les enfants suit deux perspectives différentes : l'AP pour être en forme et en bonne santé physique et l'AP pour la l'efficacité cognitive et la santé mentale (Tompsonski et al., 2011). Nous nous penchons ici sur le second volet à propos duquel une récente revue de la littérature a proposé un modèle explicatif des effets de l'AP sur la santé mentale et cognitive des jeunes (Lubans et al., 2016) (voir figure 20). Dans ce modèle, la santé mentale des individus est envisagée selon trois dimensions : le bien-être, le mal-être et le fonctionnement cognitif. Notre intérêt pour les FE s'inscrit dans cette dernière dimension.

Figure 20

Modèle explicatif des effets de l'AP sur la santé cognitive et mentale des jeunes (Lubans et al., 2016)



Note : ADHD = acronyme anglais du TDA-H.

2.3.1 Mesurer les effets des différentes dimensions de l'activité physique

Afin d'étudier plus en avant les effets de l'AP sur une variable donnée, de nombreux chercheurs ont inclus dans leurs travaux des interventions d'AP à destination des participants. Ainsi, ils ont rendu possible l'étude de l'effet de telle ou telle dimension de l'AP sur les FE. Aussi, l'inclusion d'une

intervention d'AP visant à avoir un impact sur les FE conduit à s'interroger sur l'effet dose-réponse : quelle est la dose minimale pour que l'AP soit bénéfique pour les FE ? Existe-t-il une dose maximale à ne pas dépasser et qui entraînerait des effets non-désirables (e.g., épuisement des ressources) ? A notre connaissance, la recherche n'a pas encore pu répondre à ces questions tant le phénomène est difficile à étudier. En effet, se questionner sur l'effet dose-réponse dans le cadre de l'AP ne peut pas se résumer à la simple étude de l'effet de l'intensité de l'AP (Pontifex et al., 2011). En effet, la définition de l'AP est particulièrement large et toutes ses dimensions doivent être prises en compte : *le type* (e.g., AP aérobie (reliée à l'endurance), neuromotrice (nécessitant de la coordination, de l'équilibre...), de résistance (e.g., exercice avec des poids), de souplesse (étirement des tendons et des muscles)), *la durée* (durée d'une session en minutes) et *l'intensité* de l'AP (faible, modérée ou intense), *la fréquence* *la durée et le volume* pour n'en citer que quelques-unes.

Aussi, l'investigation des effets de l'AP sur la cognition peut se faire de plusieurs manières : nous pouvons nous intéresser aux effets de l'AP sur la cognition pendant une AP ou après (immédiatement après l'AP jusqu'à quelques heures après). On parle d'effets aigus de l'AP pour désigner des changements consécutifs à une exposition unique, isolée à l'AP. Ces changements sont observables immédiatement ou relativement peu de temps après l'exposition une AP et sont amenés à disparaître dans le temps si l'exposition n'est pas renouvelée. Nous pouvons aussi nous intéresser aux effets à plus long terme en nous intéressant aux habitudes d'AP ou à des interventions. On parle d'effets chroniques pour désigner les changements consécutifs à une exposition prolongée dans le temps et fréquente (e.g., plusieurs fois par jour ou par semaine) à une AP. Ces changements sont observables après une exposition relativement longue (i.e., de plusieurs semaines à plusieurs mois pour l'AP). Ils peuvent être relativement durables dans le temps, sous certaines conditions (e.g., maintenir une AP régulière). L'étude des effets chroniques de l'AP sur la cognition s'inscrit tout à fait dans la perspective développementale de ce travail doctoral. Avant de nous pencher plus avant sur le propos, voyons quelles pistes de travail ont pu offrir les travaux menés sur les effets aigus de l'AP sur la cognition.

2.3.2 Méta-analyses des effets aigus de l'activité physique sur les fonctions exécutives de base

La méta-analyse de Ludyga et al. s'est intéressée aux effets aigus de l'exercice aérobie d'intensité modérée sur les FE de base (Ludyga et al., 2016). Les analyses ont été conduites sur un corpus de 40 études menées sur une population *life span*, dont 9 auprès d'enfants. Au total, la méta-analyse a révélé un effet faible de l'exercice aérobie d'intensité modérée sur les tâches de FE de base. La forme physique des participants et leur efficacité initiale des FE n'avaient pas d'influence sur la taille d'effet, ce qui a été interprété comme un élément de preuve que tout un chacun pouvait bénéficier d'effets

aigus de l'exercice aérobie d'intensité modérée pour ses FE. Aussi, ce travail a montré une sensibilité plus importante des participants à l'exercice aérobie d'intensité modérée lorsque ceux-ci étaient dans une période de changements développementaux : les enfants ($g = ,54$, 95% CI [$,21 ; ,87$]) et les personnes âgées ($g = ,67$, 95% CI [$,40 ; ,93$]) bénéficient davantage de l'exercice aérobie que les autres populations (ici des adolescents et des adultes typiques). Les enfants et les personnes âgées pourraient pratiquer un exercice aérobie d'intensité modérée avant de s'engager dans des situations nécessitant le recours aux FE pour qu'elles soient plus efficaces.

Une récente méta-analyse a recensé les études publiées entre 2000 et 2017 qui se sont intéressées aux effets des AP aérobie ou cognitivement engageantes sur les fonctions cognitives des enfants d'âge scolaire (de 6 à 12 ans) à travers les FE de base, l'attention et la réussite académique. (de Greeff et al., 2018). Concernant les effets aigus, cette méta-analyse a montré une taille d'effet faible à modérée significative de l'AP sur les fonctions cognitives ($g = 0.24$, 95% CI = 0.08, 0.40). Toutefois, l'étude n'a pas pu montrer d'effet significatif de l'AP sur les FE de base prises ensemble, seulement une taille d'effet faible à modérée de l'AP sur l'inhibition ($g = 0.28$, 95% CI = 0.01, 0.51). L'AP a aussi eu un effet positif sur l'attention sélective des enfants ($g = 0.43$, 95% CI = 0.09, 0.77). L'AP aérobie s'est montrée plus efficace sur les fonctions cognitives avec une taille d'effet faible à modérée significative ($g = 0.28$, 95% CI = 0.09, 0.45) que l'AP cognitivement engageante qui n'a pas eu d'effet significatif. Dans cette étude, la durée de l'AP n'a pas montré d'effet significatif.

Ces deux méta-analyses récentes montrent que l'AP peut influencer la cognition dont les FE à un niveau faible à modéré. Les investigations sont à poursuivre afin d'étudier l'ensemble des effets aigus possibles de l'AP sur la cognition. Le dernier article de Pontifex et al. (2019) se propose de revoir les travaux méta-analytiques et les derniers travaux produits sur la question des effets aigus de l'AP et fournit des pistes méthodologiques et d'investigation pour de futurs travaux.

2.3.3 Méta-analyses des effets chroniques de l'activité physique sur les fonctions exécutives de base

Depuis les années 2000, un nombre grandissant de travaux se sont intéressés aux effets chroniques de l'AP sur la cognition (Donnelly et al., 2016). Les designs interventionnels et les variables visées étaient variés et les résultats contradictoires (Diamond & Ling, 2016, 2019; Hillman et al., 2019; Vazou et al., 2019). Des travaux de revue systématique de la littérature et de méta-analyse sont nécessaires pour dégager des tendances et orienter les projets scientifiques à venir (Pontifex et al., 2019; Vazou et al., 2019). De tels travaux ont d'ores et déjà été menés et ont permis de montrer que des interventions d'AP pouvaient avoir des effets chroniques sur la cognition.

En 2016, une revue de littérature systématique (Carson et al., 2016) s'est penchée l'effet de la participation à des d'interventions d'AP sur le développement cognitif de bébés et d'enfants de moins de 5 ans. Sept études ont pu être référencées et six d'entre elles ont pu montrer un effet positif de l'AP sur le développement cognitif des enfants (FE et langage) et aucune n'a pu montrer d'effet délétère de l'AP sur la cognition. Toutefois, les auteurs signalent que la grande majorité des études recensées étaient de faible qualité et qu'il était crucial rester prudent dans l'interprétation des résultats. Malgré tout, cet effet positif de l'AP sur le développement de la cognition est un premier indice intéressant chez l'enfant.

Une récente méta-analyse s'est intéressée à l'effet d'interventions d'AP sur la cognition des enfants et des adolescents (de 4 à 14 ans) et aux caractéristiques des jeunes et des interventions qui favoriseraient le développement cognitif (Álvarez-Bueno et al., 2017). Dans la majorité des travaux recensés, les interventions étaient menées en milieu scolaire (e.g., adaptations des enseignements d'éducation physique, inclusion d'AP pendant la pause de midi ou inclusion d'enseignements physiquement actifs en classe), sauf deux interventions qui consistaient en des camps de vacances. Ces interventions permettaient d'augmenter la pratique d'AP quotidienne de 15 à 120 minutes durant 4 à 54 semaines (sauf pour les camps : 480 minutes par jour). Cette méta-analyse a révélé que les interventions d'AP avaient une taille d'effet faible sur les FE de base (ES : 0.20, 95% CI = 0.10, 0.30). Les FE les plus sensibles aux interventions d'AP étaient la MDT (ES : 0.14, 95% CI = 0.00, 0.27) et l'inhibition (ES : 0.26, 95% CI = 0.10, 0.41). La méta-analyse n'a pas pu relever d'influence de ces effets venant de caractéristiques liées aux individus (statut pondéral) ou au moment de la journée d'école durant lequel les interventions avaient été menées. Les auteurs ont rapporté que le nature des AP des interventions semblait toucher différemment certaines fonctions cognitives : l'augmentation du temps de pratique d'AP améliorait la MDT et les FE de plus haut niveau et l'engagement dans des AP impliquant davantage d'effort cognitif et de coordination améliorait l'inhibition. Toutefois, il est nécessaire de rester prudents quant à ces résultats puisque les tailles d'effet présentées sont hétérogènes. En effet, d'une étude à l'autre, les résultats étaient variables et les interventions manquaient d'informations sur la méthode, les variables visées par l'intervention et vis-à-vis de la particularité du terrain « école » : compliance et acceptabilité de ces interventions (Álvarez-Bueno et al., 2017).

La méta-analyse de de Greeff dont nous avons parlé dans notre revue sur les effets aigus de l'AP comprenait aussi un volet sur les effets chroniques de l'AP sur les FE (de Greeff et al., 2018). Entre 2000 et 2017, la méta-analyse a pu inclure 14 études longitudinales chez les enfants âgés de 6 à 12 ans. Parmi ces études, 9 rapportaient des résultats positifs de l'AP sur les FE (au moins un), 5 n'avaient pas de résultats significatifs et aucune d'entre elles ne rapportait de résultat négatif. La méta-analyse

montrait que les interventions d'AP avaient une taille d'effet faible à modérée sur les fonctions cognitives (ici FE, attention et performances académiques) ($g = ,37$, 95% CI [$,20 ; ,55$]) comme sur les FE de base ($g = ,24$, 95% CI [$,09 ; ,39$]). Parmi les sous-dimensions des FE de base, les auteurs ne retrouvaient pas de taille d'effet significative de l'AP sur l'inhibition ; toutefois, ils ont relevé une taille d'effet faible à modérée de l'AP sur la MDT ($g = ,36$, 95% CI [$,10 ; ,62$]) et la flexibilité mentale ($g = ,18$, 95% CI [$,01 ; ,35$]). Les interventions d'AP avaient aussi une taille d'effet faible à modérée sur la réussite académique des enfants ($g = ,26$, 95% CI = [$,02 ; ,49$]). La durée des AP n'avait pas d'influence sur la taille des effets. Contrairement à ce qui a été observé pour les effets aigus de l'AP sur les FE, au niveau chronique, la nature de l'AP avait une influence sur la taille d'effet obtenue sur les fonctions cognitives : l'AP aérobie avait une taille d'effet faible à modérée ($g = ,29$, 95% CI [$,13 ; ,45$]) et l'AP cognitivement engageante une taille d'effet modérée à large ($g = ,53$, 95% CI [$,14 ; ,92$]) sur les fonctions cognitives. Notons à nouveau que dans cette étude, les fonctions cognitives regroupaient les FE, l'attention et la réussite académique. La méta-analyse n'a pas fourni de comparaison entre la nature de l'AP et les FE de base. Cependant, elle a montré que l'AP aérobie et les AP cognitivement engageante pouvaient avoir un impact de taille faible à large sur les FE.

Une récente méta-analyse ayant inclus uniquement des essais randomisés contrôlés (ERC) d'interventions d'AP chez l'enfant d'âge scolaire et l'adolescent a montré qu'un IMC important était lié à de plus grandes améliorations des FE (Xue et al., 2019). Ce résultat converge avec l'idée selon laquelle les enfants qui ont les FE les plus basses – les enfants présentant des problèmes de poids étant plus à risque dans le développement de leurs FE – bénéficient le plus des interventions favorisant les FE (Diamond, 2014). Aussi, cette méta-analyse n'a pas observé d'influence de la durée d'intervention ou de l'âge des participants sur son efficacité. Cependant, les études dont l'intervention avait une durée de moins de 6 semaines ne faisaient pas partie des critères d'inclusion. Les résultats de cette méta-analyse ont montré que les interventions efficaces contenaient des sessions d'AP inférieures à 90 minutes (les interventions plus longues n'avaient pas d'impact significatif sur les FE).

Nous n'avons pas pu retrouver de méta-analyse ayant questionné l'effet chronique des dimensions d'intensité et de fréquence de pratique d'AP sur les FE de base chez l'enfant. Toutefois, nous avons pu en recenser une conduite en 2012 qui s'est intéressée à l'effet de l'intensité de l'AP aigu sur la cognition des enfants (dont les FE via des outils neuropsychologiques : e.g., tâche de Flanker, tâche de go/no-go, tour d'Hanoi) (McMorris & Hale, 2012). Les résultats montraient une courbe en U inversé dans laquelle l'AP d'intensité modérée avait davantage d'effet sur la rapidité et la justesse des réponses aux tâches cognitives que l'AP de faible intensité ou d'intensité vigoureuse. La revue de littérature de Carson et al. (2016) recense des travaux menés dans différents pays sur les effets d'interventions d'inclusion d'AP sur la cognition d'enfants d'âge préscolaire (enfants de moins de 5 ans). La revue comprend sept

études et six d'entre elles ont pu montrer que la durée et la fréquence des interventions d'AP avaient des effets bénéfiques sur le développement des FE. Davantage de travaux sont nécessaires pour déterminer les dimensions de l'AP qui peuvent favoriser le développement des FE. Néanmoins, les travaux méta-analytiques que nous avons décrits ici incluaient une fréquence des sessions allant de deux fois par semaine à une session par jour.

2.3.4 Perspectives actuelles

Les investigations menées sur les effets chroniques de la pratique d'AP sur la cognition de l'enfant ont permis d'envisager des travaux de synthèse via revues de littérature systématiques et des méta-analyses. Ces travaux montrent que l'AP peut avoir des effets chroniques sur le fonctionnement cognitif, dont les FE. Toutefois, devant l'hétérogénéité des études en termes de participants, d'outils de mesure, de design, de modalités interventionnelles et de résultats ; et comme certaines dimensions n'ont que peu ou pas été investiguées, il est encore difficile de tirer des conclusions définitives sur les effets chroniques de l'AP sur les FE de base chez l'enfant d'âge scolaire. Davantage d'études sont nécessaires pour clarifier ces effets ; et notamment préciser quel type d'AP, quelle durée d'exercice, quelle fréquence, quelle durée d'intervention et combien de temps après l'intervention les résultats peuvent-ils être opérants (Álvarez-Bueno et al., 2017; Donnelly et al., 2016) ?

De études récentes ont permis de donner des pistes supplémentaires. Des travaux se sont proposés de confronter différents types d'AP via leurs effets chroniques sur les FE. Un ERC a comparé les effets sur l'inhibition d'une intervention d'AP aérobie vs. une intervention d'entraînement de coordination motrice avec une condition contrôle d'un temps d'aide aux devoirs chez des enfants de 9 à 10 ans (Ludyga et al., 2019). Chacune des interventions durait 45 minutes et était administrée 3 fois par semaine pendant 10 semaines. Cet essai a mesuré l'inhibition des enfants via des mesures comportementale (tâche de Flanker) et neurophysiologiques (électroencéphalogramme de la composante P300 en lien avec les mécanismes inhibiteurs : la latence étant en lien avec la vitesse d'évaluation et l'amplitude avec l'allocation des ressources). L'essai n'a pas montré de changement significatif en lien avec l'inhibition chez les enfants, peu importe l'intervention. Seule une amélioration de la forme cardiovasculaire a été notée dans les conditions d'interventions d'AP par rapport au groupe contrôle. Une autre étude a comparé les effets sur les FE de base d'interventions d'AP aérobie de différentes intensités et de différents engagements cognitifs (Schmidt et al., 2015). Pour ce faire, 3 interventions d'AP différentes ont été menées pendant 6 semaines chez des enfants de 10 à 12 ans. Un premier groupe recevait une intervention d'AP d'efforts physiques soutenus et une demande cognitive importante (jeux en équipe), un deuxième groupe recevait une intervention d'AP d'efforts physiques soutenus avec une demande cognitive relativement faible (aérobie) et un troisième groupe, le groupe contrôle, recevait une dose habituelle d'éducation physique d'un niveau relativement peu

important d'efforts physiques et cognitifs. Cette étude n'a pas montré d'effet des interventions sur l'inhibition et la MDT, mais un effet des jeux d'équipe sur la flexibilité mentale. Les deux conditions test ont pu améliorer la condition physique des enfants (augmentation substantielle de leur VO₂max). Cette étude montre que l'intensité importante des AP d'une intervention par rapport à une intensité faible n'a pas d'effets sur les FE. Il semblerait que la flexibilité soit sensible à la demande cognitive liée à l'AP. Notons que ces interventions avaient des durées relativement peu importantes par rapport à d'autres travaux, ce qui pourrait en partie expliquer des résultats peu concluants en termes d'effets sur les FE (Álvarez-Bueno et al., 2017; Pesce et al., 2016).

L'impact des FE peut aussi être différent selon les caractéristiques des personnes qui bénéficient des interventions. En effet, des travaux de revue de question ont pu relever que les individus ayant les FE les moins efficaces avaient davantage bénéficié des interventions d'AP sur le développement de leurs FE que des jeunes du même âge ayant des FE plus efficaces (Ahn & Fedewa, 2011; Diamond, 2014), mais les résultats restent contrastés d'une étude à l'autre. Toutefois, les interventions d'AP sont capables d'améliorer les FE d'enfants dont les FE sont relativement plus faibles que chez les enfants typiques. En effet, des interventions d'inclusion d'AP aérobie de 20 à 40 minutes 5 fois par semaine pendant 15 semaines ont permis d'améliorer significativement les FE d'enfants présentant un surpoids et étant en bonne santé par ailleurs (Davis et al., 2011). Aussi, une étude récente a pu montrer qu'une intervention d'inclusion de tennis de table pendant 12 semaines améliorait l'inhibition et la flexibilité mentale de jeunes porteurs d'un TDA-H par rapport à un groupe contrôle de jeunes porteurs de TDA-H et de jeunes typiques du même âge ne bénéficiant pas de l'intervention (Pan et al., 2019). Ces résultats montrent que l'AP peut-être un moyen simple d'améliorer la cognition des jeunes qui peuvent en avoir le plus besoin.

Nous avons pu noter que la grande majorité des travaux ayant questionné les effets chroniques de l'AP sur la cognition de l'enfant via des designs interventionnels ont eu lieu en milieu scolaire. Comme l'école est lieu pour grandir et se développer, comme elle participe à l'acquisition de comportements favorables pour le développement de l'individu (e.g., comportements d'apprentissage, comportements de santé, esprit critique), et comme les FE sont étroitement liées à la performance académique et comme l'école est obligatoire en France, elle constitue une place de choix pour implémenter un programme d'AP pour favoriser le développement des FE des enfants d'âge scolaire. Toutefois, à notre connaissance, jamais un tel design n'a été expérimenté en France ; dès lors, il convient de se questionner à propos du type d'intervention le plus faisable, de la méthode la plus adaptée et de comment obtenir une compliance suffisante pour avoir des résultats interprétables. Nous aborderons ces questions dans le chapitre suivant que nous avons dédié à l'inclusion de programmes d'AP en milieu scolaire.

En résumé, l'étude des effets de l'AP sur les FE est un exercice complexe du fait sa multi-dimensionnalité et du large panel de mesures envisageables. Toutefois, grâce aux outils de plus en plus fiables et à l'utilisation de méthodes admettant de moins en moins de biais, des indices de plus en plus solides montrent que l'AP peut impacter les FE de base de l'enfant.

Les travaux qui incluent des interventions d'AP peuvent permettre de différencier l'effet des différentes dimensions de l'AP sur les FE et de définir des effets dose-réponse dans des perspectives aiguës et chroniques. Les travaux méta-analytiques menés sur les effets aigus de l'AP sur les FE ont montré des effets positifs de taille faible à modérée de l'AP de type aérobie d'intensité modérée sur les FE de base.

D'un point de vue chronique, les travaux méta-analytiques ont relevé des effets faibles à modérés des AP de type aérobie d'intensité modérée sur les FE de base. Les interventions ayant une durée de moins de 90 minutes semblent avoir un effet sur la MDT, et même sur des FE plus complexes. Les interventions ayant montré une efficacité duraient au moins 6 semaines. Les méta-analyses actuelles n'ont pas questionné l'intensité et la fréquence de pratique d'AP. Toutefois, les pistes des effets aigus de l'AP sur les FE ont montré que les efforts d'intensité modérée étaient de plus grands bénéfices que les efforts d'intensité faible ou vigoureuse. Concernant la fréquence, les méta-analyses ayant montré des effets de l'AP sur les FE comprenaient des inclusions d'AP allant de deux sessions par semaine à une session par jour. L'effort aérobie est aujourd'hui le plus étudié, cependant, les chercheurs s'intéressent à d'autres candidats dont l'AP cognitivement engageante qui a pu montrer des effets sur l'inhibition et des effets de taille modérée à large sur les FE de base.

Les caractéristiques des individus peuvent modérer les effets de l'AP sur les FE. En effet, certains travaux ont pu montrer que les enfants et les personnes âgées bénéficiaient davantage de l'AP pour leur FE que les adultes. Aussi, les enfants présentant des FE moins efficaces ont pu davantage bénéficier des interventions d'AP pour favoriser leur FE (e.g., enfants ayant des IMC importants, enfants porteurs de TDA-H). Cependant, nous ne tirons pas encore de conclusion à propos de ces modérateurs potentiels puisque les résultats sont encore hétérogènes.

La majorité des études interventionnelles menées ont eu lieu en milieu scolaire et l'AP a aussi montré des effets sur les performances académiques des élèves. Des perspectives récentes envisagent les FE comme processus explicatif du lien entre l'AP et la performance académique. Si l'AP peut améliorer la performance académique des élèves en favorisant leur FE, les travaux interventionnels d'inclusion d'AP auraient tous leur sens en étant implémentés à l'école.

2.4 Synthèse

L'AP englobe de nombreuses activités de différente nature, forme, intensité, durée et fréquence. Chez l'enfant, être humain en plein développement particulièrement sensible aux stimulations, l'AP peut constituer un facteur de développement favorisant sa santé physique, psychologique et sociale tout au long de sa vie. L'AP de l'enfant peut revêtir toute la palette des différentes dimensions que l'on retrouve chez l'adulte, mais elle présente certaines particularités propres à cette population : l'AP spontanée des enfants est intermittente et transitoire avec des moments d'AP particulièrement intenses de quelques secondes suivis de courts instants de repos. Les enfants ne restent jamais inactifs bien longtemps. Le métabolisme de base de l'enfant et son engagement dans des AP est énergétiquement plus coûteux que celui de l'adulte et il est nécessaire de prendre en compte ces différences métaboliques dans la réflexion autour de l'AP des enfants. Pour étudier les comportements d'AP, les chercheurs ont à disposition une large palette d'outils des plus objectifs (outils se basant sur des indices physiologiques ou biomécaniques) aux plus subjectifs (questionnaires). Le choix de l'outil d'investigation doit se faire en fonction des objectifs de recherche, des moyens à disposition pour l'étude et du risque d'incertitude que la recherche peut se permettre sur cette mesure. L'OMS recommande aux enfants d'âge scolaire de pratiquer au moins 60 minutes d'AP modérée à intense par jour pour tirer bénéfice de l'AP pour leur santé. Toutefois, on observe que seulement 20 à 25% des enfants parviennent à rejoindre ces recommandations en France. Aussi, on observe une sédentarité relativement importante, même chez les enfants dits « actifs ». On parle du phénomène des « patates de canapé actives ». Or, la sédentarité est un facteur de risque pour la santé, même chez les enfants dits « actifs ». Il est primordial de promouvoir l'AP et lutter contre la sédentarité. En ce sens, le plan de l'OMS 2018-2030 prévoit de favoriser une action globale, à tous les niveaux.

Les bénéfices de l'AP chez l'humain ont majoritairement été étudiés en termes de santé. Toutefois, des travaux plus récents indiquent qu'elle semble aussi positivement liée à l'activité cognitive. C'est en tout cas ce qu'ont pu montrer plusieurs travaux transversaux ayant étudié le lien entre le niveau de forme physique aérobie et l'efficacité des fonctions cognitives d'enfants (e.g., FE, attention, performances académiques). Toutefois, de tels travaux ne permettent pas d'envisager de piste causale. Dès lors, des travaux longitudinaux ont permis de mettre en avant que la pratique d'AP pouvait influencer positivement les fonctions cognitives dont les FE chez l'enfant d'âge scolaire. Les méta-analyses conduites sur des travaux interventionnels ont permis de montrer que l'AP, notamment l'AP aérobie, la plus étudiée, pouvait avoir un effet de taille faible à modérée sur les FE de base. Il semblerait que les interventions d'au moins 6 semaines incluant des sessions d'AP de moins de 90 minutes d'intensité modérée à une fréquence d'au moins 2 fois par semaine puissent avoir un meilleur impact. Aussi, comme l'AP n'a, à notre connaissance, jamais montré d'effet négatif sur les fonctions

cognitives et qu'elle peut constituer un facteur de santé, elle peut être un moyen relativement facile à mettre en place pour favoriser le développement cognitif des enfants. Toutefois, comme les dimensions de l'AP sont nombreuses et difficiles à contrôler, davantage de travaux sont nécessaires pour déterminer des couples dose-effet. Dans une perspective développementale, les effets chroniques de l'AP nous intéressent plus particulièrement.

Plusieurs mécanismes explicatifs de l'influence de l'AP sur les FE ont été proposés : notamment des modèles stipulant l'implication de processus similaires entre AP et FE et des modèles rapportant des changements physiologiques immédiats et dans le temps et des modèles psychologiques impliquant la mise en jeu d'autres fonctions cognitives transversales. Ces modèles très différents ne disposent pas tous du même niveau de preuve et ne sont pas exclusifs. Il pourrait donc y avoir plusieurs chemins d'accès pour que l'AP favorise les FE et passer par plusieurs chemins en même temps permettrait un effet plus important. Aussi, il semblerait que le lien causal ne soit pas complètement univoque et qu'il puisse exister un cercle vertueux entre l'AP et les FE : l'engagement dans une AP favoriserait les FE et les FE favorisant la capacité à s'engager dans des comportements actifs physiquement. Les pistes explicatives sont à documenter plus en avant via des travaux comparatifs des effets d'interventions d'AP sur les FE et des groupes contrôle plus ou moins actifs physiquement.

La grande majorité des études interventionnelles d'inclusion d'AP dans le quotidien des enfants pour favoriser leur efficacité cognitive ont été menées en milieu scolaire et, à notre connaissance, aucune de ces études n'a eu lieu en France. Aussi, les études publiées fournissent peu d'information sur les méthodes utilisées pour implémenter les actions en contexte scolaire, sur l'acceptation de telles actions ou sur la compliance. De plus amples investigations sont nécessaires pour documenter la faisabilité de telles interventions, notamment en contexte français. Aussi, les temps d'école sont segmentés et les activités précisément définies dans le programme annuel national. Il est crucial de se questionner sur le temps que l'école pourrait allouer à une intervention d'AP favorisant les FE des élèves.

3 Chapitre 3 : Activité physique et interventions en milieu scolaire

« L'école, c'est le creuset où s'élabore l'avenir d'une génération. »

HENRI ROLLAND DE VILLARCEAUX, *L'ÉCOLIER* (1840)



Dans ce dernier chapitre, nous nous intéresserons à la possibilité de mener une intervention d'inclusion d'activité physique en milieu scolaire en France. Nous commencerons par introduire la place de l'activité physique à l'école en tant que discipline scolaire et traiterons des différentes opportunités d'activité physique à l'école dans le contexte français. Ensuite, nous nous intéresserons à l'école comme lieu à privilégier pour intervenir auprès des enfants. Nous nous interrogerons plus particulièrement aux écoles du réseau d'éducation prioritaire qui accueillent davantage d'élèves qui risquent de présenter des fonctions exécutives moins efficaces que celles d'enfants d'échantillons normatifs du même âge. Enfin, nous ferons une revue critique des modalités interventionnelles d'activité physique en milieu scolaire existantes afin de déterminer quels seraient les designs les plus adaptés pour favoriser le développement des fonctions exécutives des enfants à l'école en France.

3.1 Quelle place pour l'activité physique en milieu scolaire ?

3.1.1 Sur le chemin de l'école

La question de la transmission du savoir, du savoir-faire et du savoir être constitue la clé de voûte de l'évolution de l'espèce humaine. De la confection du feu au voyage dans l'espace, l'Homme a appris, continue d'apprendre et accumule ainsi des savoirs auprès de ses congénères. Au cours des âges, la transmission du savoir a pu se complexifier notamment grâce à l'apparition du langage et de l'écriture qui ont permis d'échanger et raisonner sur des concepts abstraits (Albessard-Ball & Balzeau, 2018). Ainsi, dans ce processus continu de transmission, l'Homme a eu recours à l'éducation des jeunes.

Les travaux archéologiques ont révélé que les enseignements et les apprentissages faisaient déjà partie intégrante du rythme de la vie de l'enfant en Egypte ancienne (Marshall, 2013). Bien que nos connaissances de l'éducation à cette période demeurent parcellaires, nous connaissons deux lieux d'enseignements : *ât sebayt*, l'école du temple (enseignement général) et *per ânkh*, la maison de vie (perfectionnement et spécialisation) qui accueillait les garçons issus de familles de hautes sphères sociales (LeBlanc, 2007). L'éducation institutionnalisée a ainsi traversé les âges depuis l'ancienne Egypte jusqu'à nos jours, en passant par l'éducation classique hellénistique et romaine (Marrou, 1981). Toutefois, l'école, telle nous la connaissons aujourd'hui, est relativement récente et est le fruit de bien nombreuses transformations qui ont suscité autant de débats passionnés.

En France, les écoliers retiennent des chansons populaires que Charlemagne, empereur d'occident (742, 747 ou 748 - 814), a « inventé » de l'école. S'il n'en est rien, il n'en demeure pas moins qu'avec son capitulaire *Admonitio Generalis* du 23 mars 789, Charlemagne mit fin au modèle d'éducation romain en place en restaurant des écoles monacales, épiscopales et presbytérales. L'instruction des jeunes par l'église dura près de mille ans. Il fallut attendre 1882 pour que, sous l'impulsion de Jules Ferry (1832-1893) alors ministre de l'instruction publique, l'école devienne gratuite (loi du 16 Juin 1881) et laïque (loi du 28 mars 1882) en France. L'article 1 de la loi n°11-696 du 28 mars 1882 sur l'Ecole de la république fait référence aux enseignements de l'école primaire qui doivent comprendre :

- ❖ l'instruction civique et morale
- ❖ la lecture et l'écriture
- ❖ la langue et les éléments de la littérature française
- ❖ la géographie, particulièrement celle de la France
- ❖ l'Histoire, particulièrement celle de la France jusqu'à nos jours
- ❖ quelques leçons usuelles de droit et d'économie politique
- ❖ les éléments de sciences naturelles physiques et mathématiques, leurs applications à l'agriculture, à l'hygiène, aux arts industriels, travaux manuels et usage des outils des principaux métiers
- ❖ la gymnastique
- ❖ pour les garçons, les exercices militaires
- ❖ pour les filles, les travaux à l'aiguille

Les innovations scolaires impulsées par Jules Ferry permirent de passer de l'instruction à l'éducation. Parmi elles, la réaffirmation de la place de l'AP comme discipline scolaire. Victor Duruy (1811-1894), ministre de l'instruction publique sous le Second Empire, avait rendu obligatoire la pratique d'AP à l'école mais ce projet ne fut que très partiellement appliqué sous le nom de « gymnastique » (Geslot, 2009), discipline qui a constitué un véritable enjeu politique sous la Troisième République.

3.1.2 L'éducation physique et sportive comme discipline scolaire

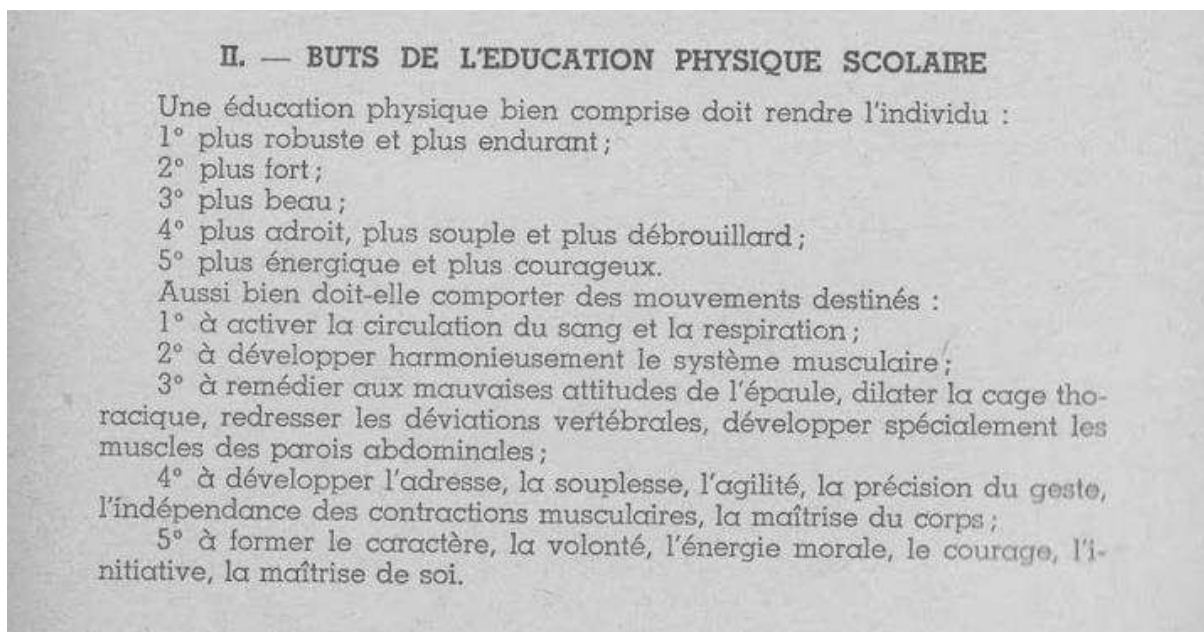
L'école médiévale centrait son instruction sur la lecture, l'écriture, le comptage et le chant (Riché, 1982). Cette école sous influence religieuse avait pour vocation de former de « bons-chrétiens » et mettait l'accent sur la méditation et la connaissance des textes religieux. L'instruction des jeunes ne comprenait pas l'éducation du corps. Avec la redécouverte des « Anciens », la place du corps dans l'éducation des jeunes fut rediscutée. Sous la restauration, Phokion Heinrich Clias et Francisko Amoros furent les pionniers en la matière en France et favorisèrent la construction des premiers gymnases et

l'enseignement de la gymnastique dans quelques écoles communales des principales villes françaises. La méthode d'Amoros fut un modèle de référence et fut décrite dans un manuel (Amoros, 1839) à l'usage d'instructeurs spécialisés. Toutefois, l'usage de la gymnastique en milieu scolaire resta marginal malgré les efforts mis en œuvre pour faciliter sa mise en place dès la seconde moitié du XIX^{ème} siècle (e.g., facilitation d'achat de matériel, possibilité aux instructeurs de délivrer ces enseignements). Ce n'est que bien plus tard, après la défaite de la France dans la guerre contre la Prusse en 1871, que la place de l'AP à l'école fut plus sérieusement discutée. En effet, la défaite française fut expliquée après coup par le manque de préparation des jeunes à la guerre et, afin de riposter, il fallut « renforcer » les français. Pour ce faire, un enseignement physique fut dispensé à l'école (Arnaud, 1991).

Ainsi, sous la Troisième République, l'enseignement d'une discipline nouvelle, la gymnastique, fut instauré pour former des soldats capables de défendre la nation, des professionnels et avoir une population de nouveaux citoyens conforme aux idéaux de la troisième république et en bonne santé physique et psychologique (Arnaud, 1991). La gymnastique n'était enseignée que dans les écoles de garçons et ce n'est qu'à partir des instructions officielles du 20 juin 1923 que l'éducation physique concernera tous les élèves : « Tout ce qui vient d'être dit convient aux filles comme aux garçons » (Carpentier, 2018). La discipline, d'abord appelée « gymnastique », puis « éducation physique », « éducation générale et sportive » avant de devenir l'« éducation physique et sportive » que nous connaissons aujourd'hui témoigne, par ses changements de nom, de nombreuses transformations idéologiques au cours du XX^{ème} siècle. En effet, la gymnastique d'Amoros, issue du milieu militaire, fut largement critiquée car plus centrée sur le développement musculaire et la force que sur la santé des élèves. La campagne hygiéniste de la fin du XIX^{ème} siècle et l'émergence de la gymnastique rationnelle (aussi appelée méthode suédoise, gymnastique basée sur des mouvements et issue des connaissances acquises en mécanique et en anatomie) favorisèrent la mise en place à l'école des jeux de plein air et des exercices sportifs (Tissié, 1905). La gymnastique devint une manière de « développer harmonieusement le corps de l'enfant, de lutter contre les mauvaises conditions d'hygiène, d'établir un équilibre salubre entre l'activité physique et l'activité intellectuelle » (Camy, 1980) (voir figure 21).

Figure 21

Buts de l'éducation physique scolaire. Extrait des Cahiers de pédagogie moderne pour l'enseignant du premier degré : L'éducation physique, n°2, Avril 1938 aux éditions Bourrellier et cie Paris



Le début du XX^{ème} siècle connut une guerre des méthodes jusqu'à l'établissement de la méthode française, éclectique, donnant aux enseignants le choix dans les méthodes en fonction de leur convenance pour l'éducation physique des élèves (Sarremejane, 2006). L'expression Education Physique et sportive (E.P.S.) apparue après la Deuxième Guerre Mondiale. Les élèves disposaient d'enseignements d'éducation physique et d'enseignements de sport. Sous l'influence de Maurice Herzog alors secrétaire d'état de la jeunesse et des sports, l'éducation physique et le sport ne firent plus qu'un : l'éducation physique des écoliers pris appui sur le sport. Ce virage fut marqué par les Instructions officielles de 1967 dans lesquelles l'E.P.S. est présentée sous un modèle sportif d'entraînement et de compétition. La présence du sport à l'école évalué en termes de performance fit émerger nombre de débats et de remises en question. En effet, le sport n'est pas en lui-même une discipline éducative et réduire l'E.P.S. au sport pourrait revenir à instaurer une propagande idéologique du « bon citoyen » sportif (Brohm, 1992; Kintzler, 2015).

Le XX^{ème} siècle fut riche de mutations dans l'enseignement, notamment grâce aux travaux des pionniers du courant de l'éducation nouvelle qui place l'enfant comme acteur de son apprentissage. Edouard Claparède permit une révolution copernicienne de la pédagogie au début du siècle en proposant un modèle fonctionnel de la psychologie et de l'éducation. Pour Claparède, à l'instar de la vie biologique, la psychologie de l'individu est dynamique, cherchant à tendre vers un état d'équilibre sans cesse rompu. Cette rupture d'équilibre serait un besoin auquel l'organisme répondrait à l'aide de lois comportementales naturelles (Les 10 lois du comportement (Claparède, 2003)). La pédagogie de

Claparède propose d'exploiter les « tendances naturelles de l'enfant » pour que ce dernier soit acteur de ses apprentissages. Il proposa notamment de valoriser la propension de l'enfant aux activités spontanées, aux jeux comme base de l'activité éducative. L'éducation fonctionnelle se base sur la science de l'enfant à l'œuvre à l'institut Jean Jacques Rousseau de Genève inauguré en 1912, première institution mondiale dédiée au développement de la recherche éducationnelle. Claparède ouvrit la voie aux sciences de l'éducation et sa pédagogie fut proposée aux enseignants. Placer l'enfant au centre de son apprentissage, le rendre actif... Ces concepts propres à l'éducation nouvelle ne firent leur apparition que tardivement dans l'E.P.S.. En effet, la discipline s'est longtemps contentée d'un modèle de « démonstration, répétition, sanction ». Ce n'est que dans les années 70 que l'E.P.S. intégra des pédagogies actives valorisant la construction, l'action et l'auto-évaluation sous l'influence des travaux sur le développement de l'enfant, tels que l'œuvre Piagétienne. Ces mutations favorisèrent une évolution de la discipline vers une finalité éducative, tant et si bien que la gestion de l'E.P.S. revint à l'Education Nationale en 1981. Aujourd'hui l'E.P.S. mobilise la corporéité pour étudier le fait sportif dans sa structure et ce qui s'y joue (Tribalat, 2014). C'est l'enfant dans toute sa dimension qui est accueilli à l'école, le corps et l'esprit en une même entité (Sibley & Etnier, 2003).

3.1.3 Les opportunités de pratique d'activité physique en contexte scolaire

Les enfants ont de nombreuses occasions de s'engager dans des AP tout au long de leur journée, et ce, même en contexte scolaire (e.g., aller à l'école et revenir au domicile à pieds, jouer pendant la récréation). En France, depuis 2013, les enfants scolarisés en école primaire passent 24 heures par semaine en classe réparties en 9 demi-journées (arrêté du 9 novembre 2015 fixant les horaires d'enseignement des écoles maternelles et élémentaires, 2015). Les écoliers français font partie des enfants qui passent le plus de temps en classe durant une semaine d'école parmi les 35 pays membre de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) (OCDE, 2018) et ils y rencontrent de nombreuses opportunités pour être actifs. Parmi ces opportunités, on peut distinguer les opportunités communes : AP liées aux occupations du temps scolaire et les opportunités sélectives liées aux services proposés autour des temps scolaires et d'autres opportunités liées aux trajets entre l'école et le domicile (Guinhouya, 2013).

Parmi les opportunités communes d'AP à l'école, nous devons prendre en compte les temps alloués à l'EPS. Le programme d'EPS français a été mis à jour en 2016 (Éduscol, s.d.) et s'articule autour de 5 grandes compétences correspondant aux 5 domaines du socle commun de connaissances, de compétences et de culture que tout élèves doit maîtriser à la fin de sa scolarité obligatoire. L'EPS s'appuie sur les activités physiques, sportives et artistiques (APSA) pour développer les connaissances autour des activités d'un point de vue social et culturel, les savoirs pratiques liés aux activités et les compétences motrices en s'appuyant sur les activités. L'EPS occupe en moyenne 13% du temps

d'enseignement en école primaire en France (38% étant alloué à la lecture, l'expression écrite et littéraire et 21% aux mathématiques) contre 9% en moyenne chez les membres de l'OCDE (25% étant alloué à la lecture, l'expression écrite et littéraire et 17% aux mathématiques). Les trois heures d'EPS hebdomadaires des écoliers français sont les plus importantes du continent européen et cela équivaldrait à 45 minutes d'EPS par jour de classe si cet enseignement était également réparti sur 4 jours d'école (Guinhouya, 2013). Toutefois, il y a de fortes chances de penser que le temps alloué à l'EPS soit vu à la baisse, puisqu'il est en compétition avec les demandes académiques qui pourrait être perçues comme prioritaires (Dwyer et al., 2003). Les temps de récréation et de pause méridienne constituent aussi des opportunités pour être actifs physiquement. Les écoliers français disposent de 15 minutes de récréation par demi-journée d'enseignement (soit 30 minutes sur une journée complète d'école) et d'une pause méridienne d'au moins 90 minutes supérieure à ce que l'on observe ailleurs parmi les pays membre de l'OCDE qui peut favoriser l'engagement des enfants dans des AP autour du temps du repas.

Les élèves peuvent aussi bénéficier d'opportunités sélectives d'AP lors des temps d'accueil périscolaire (TAP). Les TAP prolongent le service public d'éducation et permettent aux élèves d'accéder à des activités culturelles, artistiques, sportives et de loisir éducatif. Les TAP ont lieu lors des temps qui précèdent et suivent la classe et sont élaborés par la commune, les services de l'Etat et les partenaires locaux. Des accueils hors des temps de classe sont aussi proposés lorsqu'il n'y a pas école (e.g., journée sans classe ou vacances scolaires) et ils peuvent aussi constituer des opportunités d'AP. Les temps de TAP et les accueils extra-scolaires ne sont pas obligatoires, les enfants doivent s'y inscrire et une participation financière peut être demandée aux familles. Il est difficile de quantifier le temps d'opportunités d'AP disponible lors des TAP qui sont variables d'une école à l'autre. D'autres opportunités autour de l'école peuvent constituer des opportunités d'AP au quotidien : les trajets actifs entre le domicile et l'école (e.g., marche, vélo ou trottinette) et les jeux dans le voisinage (Guinhouya, 2013).

Le cadre de l'école française favorise les opportunités d'être actif physiquement à l'école. Tout au long de la semaine, les écoliers passent beaucoup de temps à l'école et disposent aussi de temps de pause et de possibilités hors des temps de classe pour bouger. L'école peut dès lors constituer un acteur de taille pour favoriser l'accès à l'AP et limiter la sédentarité des enfants. Toutefois, il convient de préciser que l'école ne peut pas être seule à s'engager dans cette voie et que les autres acteurs autour de l'enfant sont responsables de leur développement. Les parents peuvent favoriser un mode de vie actif pour leur famille et les élus locaux peuvent s'engager pour favoriser l'accès à tous à des AP.

En résumé, L'AP était pratiquée dans les écoles de manière marginale jusqu'à la défaite française dans la guerre contre la Prusse en 1871. La défaite française fut imputée à la mauvaise préparation des Français au combat. Dès lors, le pays, soucieux de former une nation forte, décida de former ses jeunes dès l'enfance, à l'école, notamment par l'enseignement de la gymnastique inspirée des entraînements militaires.

Avec la montée du courant hygiéniste, la gymnastique a été envisagée comme un moyen de favoriser le développement harmonieux du corps des enfants et un facteur de santé. La méthode française fut reconnue pour l'originalité de son éclectisme entre entraînements militaires et jeux de plein air. La finalité éducative de la discipline est relativement et sa place et le temps qui lui est alloué toujours en discussion. Aujourd'hui encore, les enseignements d'EPS peuvent être mis de côté en faveur de temps d'enseignement « plus académiques » et compensés par des temps de récréation.

Les élèves français scolarisés à l'école primaire passent 24 heures par semaine en classe. Les enseignements y sont dispensés en 9 demi-journées et sont parés de temps de pause (i.e., récréation, pause méridienne) pour permettre aux élèves de se remobiliser. De plus, les temps d'accueil péri et extra-scolaires et les temps de trajets école-domicile sont autant d'opportunités d'AP possibles dans le système éducatif français. Les écoliers français font partie des enfants qui passent le plus de temps en classe lors d'une semaine d'école. Ces particularités font de l'école française une place de choix pour favoriser l'AP journalière des enfants.

3.2 L'école, un terrain idéal pour agir

3.2.1 La réussite académique pour tous, un défi français

« Une manière de relever les nombreux défis auxquels est confronté le système éducatif français, mis en évidence notamment par les résultats de l'enquête internationale PISA, est, sans aucun doute, de développer massivement la formation initiale et continue des enseignant-e-s. Une réponse possible consisterait à élaborer des projets de recherche en sciences cognitives interventionnelles associant les enseignant-e-s, les formateurs-rices et les chercheur-e-s sur tout le territoire. » (Gentaz, 2017)

Le Programme International pour le Suivi des Acquis des élèves (PISA) est une enquête menée par l'OCDE sur l'efficacité des systèmes éducatifs à travers le monde (dans les pays membre de l'OCDE) auprès d'élèves âgés de 15 ans issus d'établissements scolaires tirés au sort. PISA permet de comparer les différents systèmes éducatifs afin d'identifier les variables qui favorisent la réussite académique des élèves. L'enquête est menée tous les trois ans, temporalité qui permet d'obtenir des informations

sur les évolutions des systèmes et des élèves dans le temps. Lors de l'enquête PISA, les élèves tirés au sort sont invités à répondre à des évaluations de compréhension de l'écrit, de culture mathématique et scientifique et à des questionnaires sur leur environnement social et culturel et les techniques de communication et d'information. Le dernier rapport PISA qui a été publié est celui de l'enquête de 2015 (l'enquête de 2018 est en cours d'analyse).

Le rapport PISA de 2015 (OCDE, 2016b, 2016a) a permis d'identifier des défis auxquels l'éducation française doit faire face. En France, 8% des élèves de 15 ans étaient classés comme « très performants », 21% comme « performants » et 22% comme « en difficulté ». La proportion d'élèves performants et en difficulté est supérieure en France par rapport à la moyenne des pays de l'OCDE et nous place comme l'un des pays les plus inégalitaires de l'OCDE. Aussi, en France, les élèves issus des milieux les plus défavorisés ont 4 fois plus de risque d'être en difficulté scolaire que les enfants issus de milieux plus favorisés. Cette différence est plus marquée en France qu'ailleurs dans l'OCDE (3 fois plus de risque d'être en difficulté lorsque l'enfant est issu d'un milieu défavorisé). Un premier défi français est de favoriser la réussite scolaire pour tous, notamment en soutenant les élèves issus de milieux défavorisés. En France, 22% des élèves de 15 ans déclaraient avoir redoublé au moins une fois dans leur scolarité, soit le double de la moyenne de l'OCED (toutefois, cette tendance au redoublement a largement diminué depuis 2009). Un autre défi français est donc de lutter contre le décrochage scolaire. De plus, en France, 41% des élèves déclaraient que leur enseignant adaptait le contenu de cours au niveau de connaissance de la classe et ces élèves qui réussissaient mieux les évaluations de sciences que les élèves ayant déclaré que leurs enseignants n'adaptaient pas ou peu leur enseignement aux connaissances de la classe. Dans la même veine, seuls 23% des chefs d'établissement déclaraient avoir demandé par écrit aux élèves leurs commentaires quant aux enseignements qu'ils avaient reçus. Cette pratique marginale en France est majoritaire dans d'autres pays dont dans 69% des établissements de l'OCDE. La France a besoin de revaloriser la transmission du savoir.

Les défis auxquels la France doit répondre en matière d'éducation peuvent être relevés à l'aide de travaux interventionnels dans lesquels les sciences cognitives et l'enseignement pourraient collaborer (Gentaz, 2017). En effet, les chercheurs, les formateurs et les enseignants pourraient co-construire des interventions innovantes issues des connaissances scientifiques et de l'expérience de terrain pour maximiser les opportunités d'apprentissages des élèves. De telles interventions pourraient être mises en place par les enseignants et évaluées en termes d'efficacité et étudiées en termes de processus explicatifs par les chercheurs. Comme les situations de vie difficiles dont la précarité peuvent nuire au développement des FE (Hodel, 2018) et avoir des répercussions à long terme sur toutes les sphères de la vie ; que la réussite académique est très liée aux FE (Best & Miller, 2010; Blair & Razza, 2007; Fuhs

et al., 2014), de même que la fréquence d'apparition de comportements pouvant entraver les situations d'apprentissages qui y sont liés et négativement (Schoemaker et al., 2013). Il est urgent de favoriser le développement des FE des enfants issus de milieux défavorisés pour leur permettre d'exprimer leur potentiel.

3.2.2 Le réseau d'éducation prioritaire

Avec la circulaire du 9 juillet 1981, Alain Savary, ministre de l'Éducation Nationale, créa des zones d'éducation prioritaires afin de corriger les inégalités sociales à l'école. Les écoles de ces zones bénéficiaient alors de moyens et d'opportunités pédagogiques supplémentaires pour favoriser la réussite des élèves issus de milieux défavorisés, une première en France. Le but était de compenser les retards d'acquisition et d'amener tous les élèves à la réussite. Dans les années 90, la démarche s'est élargie sur le plan socio-culturel si bien que les apprentissages n'étaient plus au premier plan. A la fin des années 90, les travaux d'inspection n'ont pas montré d'amélioration satisfaisante avec le dispositif, s'est alors engagé une réflexion nouvelle pour favoriser la réussite scolaire des enfants issus de milieux défavorisés, réflexion qui se poursuit encore aujourd'hui. La perspective actuelle est de penser les pratiques pédagogiques selon l'interaction avec le public scolaire issu de milieux défavorisés et on ne parle plus de zones d'éducation prioritaire, mais de réseau d'éducation prioritaire (REP).

Le référentiel de l'éducation prioritaire s'articule autour de six priorités éducatives (Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2014) : (1) garantir l'acquisition du « lire, écrire, parler » et enseigner plus explicitement les compétences que l'école requiert pour assurer la maîtrise du socle commun ; (2) conforter une école bienveillante et exigeante ; (3) mettre en place une école qui coopère utilement avec les parents et les partenaires pour la réussite scolaire ; (4) favoriser le travail collectif de l'équipe éducative ; (5) accueillir, accompagner, soutenir et former les personnels et (6) renforcer le pilotage et l'animation du réseau. En éducation prioritaire, la formation continue et le soutien des personnels par des formateurs sont renforcés. Le travail en équipe est favorisé au sein du réseau et les pratiques discutées collectivement. Des temps sont prévus pour faire le lien avec la famille et les partenaires éducatifs extérieurs. Les classes ont un effectif réduit pour favoriser l'adaptation de l'enseignement aux besoins de chaque élève ; de plus, les classes de CP et de CE1 sont en cours de dédoublement pour obtenir un effectif d'environ 12 élèves (l'objectif est que 100% des classes de CP et CE1 soient dédoublées à la rentrée 2019). De petits effectifs devraient permettre un meilleur apprentissage des savoirs fondamentaux (i.e., une vingtaine d'élèves par classe). Les établissements prioritaires comptent plus d'enseignants que de classes pour favoriser la croisée des regards et les projets collaboratifs. Dans cette démarche de projet, les établissements prioritaires disposent de davantage de moyens financiers pour organiser des sorties ou du travail interdisciplinaire. Aussi, les élèves en difficulté peuvent disposer de soutien et les enseignants perçoivent un avantage financier

pour favoriser la stabilité des enseignants au sein des établissements. Certains établissements peuvent bénéficier d'un dispositif renforcé : REP+. Ce dispositif s'adresse aux établissements dont les élèves sont issus de milieux particulièrement défavorisés. En REP+, davantage de moyens sont déployés afin de favoriser le travail des élèves en petits groupes, de favoriser l'aide personnalisée des élèves en difficulté et le lien avec les familles. Les enseignants du premier degré en établissement REP+ bénéficient de 18 demi-journées de remplacement pour se former.

Le dispositif d'éducation prioritaire s'adresse aux établissements du premier et du second degré qui rencontrent un public présentant des difficultés sociales. Un indice social est calculé à partir du taux de catégories socio-professionnelles défavorisées des responsables légaux des élèves, du taux d'élèves boursiers, du taux d'élèves résident dans une zone urbaine sensible et du taux d'élèves ayant redoublé avant la sixième pour déterminer si un établissement peut bénéficier du statut REP ou REP+. En France, parmi 50 000 écoles, on compte 4 224 écoles REP et 2465 écoles REP+ pour un effectif national de respectivement 715 174 et 459 949 élèves. A l'école publique, 1 élève sur 5 est scolarisé dans un établissement REP ou REP+ (Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2019).

Les élèves scolarisés dans les établissements prioritaires sont, en France, une population qui risque davantage de présenter des difficultés sociales et scolaires. Aussi, grandir dans des conditions de vie difficiles comme la précarité peut nuire au développement des FE qui sont en lien avec des perspectives de vie positives pour le futur dans de nombreuses sphères de vie. Il est donc urgent de favoriser le développement des FE de ces enfants. Les établissements REP et REP+ ont davantage de liberté pédagogique que d'autres établissements scolaires publics, et puisque la réflexion est aux innovations et en faveur de la formation continue, nous pensons que de tels établissements pourraient être favorables à la coopération avec la recherche pour mettre en place de nouveaux projets pédagogiques.

3.2.3 Intervenir en milieu scolaire

Depuis la rentrée 2016, de la maternelle au lycée, un parcours éducatif de santé a été mis en place dans les établissements scolaires. Il est à adapter selon le niveau et repose sur le socle commun de connaissances, de compétences et de culture (Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse, 2016). Ce parcours se structure en 3 axes : l'éducation pour la santé (être responsable de sa santé et de celle des autres), la prévention santé (prévenir les facteurs de risque) et la protection de la santé (créer un environnement favorisant la santé et le bien-être). Le développement d'un tel parcours éducatif vient réaffirmer la participation de l'école à la santé des élèves, notamment en leur offrant les connaissances nécessaires pour faire des choix de santé et en participant au développement des

capacités de contrôle de soi et de résistance aux influences pour que les élèves fassent des choix responsables et s'émancipent (Jourdan, 2018).

Dans cette perspective, l'inclusion d'AP à l'école paraît intéressante. En effet, l'AP constitue un facteur de santé physique, psychologique et sociale et elle peut favoriser le développement des FE et la réussite académique. Aussi, les enfants passent la majorité de leur temps de veille à l'école les jours de classe et plus en France que dans la plupart des pays de l'OCDE (OCDE, 2018), ce qui place l'école comme une place de choix pour accéder à de bonnes habitudes de vie pour leur santé et leur développement cognitif (Konijnenberg & Fredriksen, 2018). Ainsi, l'adoption d'un style actif à l'école permettrait de participer au parcours éducatif de santé et de favoriser la santé et le développement cognitif des enfants. Cependant, en termes de santé, les enfants sont particulièrement sédentaires à l'école (65% du temps passé à l'école) et pas suffisamment actifs, ils s'engageraient durant seulement 5% de leur temps à l'école dans des AP modérées à vigoureuses (Sherar et al., 2007; Van Kann, 2017). Il est donc nécessaire de se questionner à propos de comment intervenir pour favoriser l'émergence d'un style de vie actif à l'école (e.g., Brittin et al., 2017).

Par sa structure et ses infrastructures, l'école est une place de choix pour implanter des interventions (Konijnenberg & Fredriksen, 2018). Aussi, en agissant à l'école il est possible de cibler une large proportion des enfants du territoire français puisque l'école y est obligatoire. De plus, la généralisation d'un style actif à l'école dans d'autres sphères de la vie de l'enfant est envisageable et souhaitable. Toutefois, intervenir à l'école par des actions de promotion de l'AP suppose un engagement de l'école tout au long de l'intervention, ce qui peut être coûteux en termes de temps et d'investissement des professionnels de l'école. Aussi, l'appropriation de nouvelles pratiques en milieu scolaire est dépendante des caractéristiques de l'enseignant, de l'environnement scolaire, du soutien à l'implantation des pratiques et des caractéristiques de l'objet à mettre en œuvre (Bélanger et al., 2012). Il est donc crucial de tenir compte des freins comme des leviers possibles et de penser les interventions en termes de coût/bénéfices pour favoriser la réussite de leur implémentation.

La majorité des études interventionnelles se limitent à la mesure des variables d'intérêt de l'intervention, soit souvent la réussite de tâches académiques. Pourtant, d'autres mesures sont nécessaires pour traiter de la pertinence ou non d'une intervention, notamment des mesures affectives sur le vécu des changements liés à l'intervention (Hegarty, 1994; Huebner, 1994; Phillips, 1993). En effet, il ne serait pas souhaitable de généraliser une intervention si celle-ci, aussi efficace soit-elle sur des variables d'intérêt, venait à entraver la qualité de vie (QDV) à l'école des élèves. La QDV à l'école peut être définie comme le bien-être et la satisfaction générale des élèves, du point de vue de leurs expériences positives et négatives dans les activités typiques à l'école en particulier (Malin

& Linnakylä, 2001). S'intéresser à la QDV à l'école permettrait d'investiguer dans quelle mesure une intervention a modifié ou non la relation des élèves à l'enseignant, la relation des élèves entre eux, la qualité de l'environnement physique. De telles variables affectives devraient être prises en compte en situation de changement à l'école, notamment lors de réformes éducatives et pédagogiques.

En résumé, le dernier rapport PISA en date montre que l'éducation française rencontre un défi d'inégalités. En effet, en France, nous retrouvons une part importante d'élèves performants et d'élèves en difficulté et les enfants issus de milieux défavorisés ont quatre fois plus de risque d'être en difficulté que des enfants issus de milieux plus favorisés. Il est urgent d'agir en faveur d'une école favorisant la réussite de tous les élèves.

Les inégalités en termes de réussite académique en fonction du statut socio-économique des familles ne sont pas nouvelles et la France y a répondu par la création des écoles REP/REP+ qui disposent de moyens supplémentaires pour favoriser la réussite académique des élèves issus de milieux défavorisés et/ou présentant des difficultés scolaires. Un moyen de répondre aux défis éducatifs actuels peut passer par la mise en place de projets interventionnels issus de la collaboration entre le milieu enseignant et la recherche en sciences cognitives. De telles collaborations favoriseraient l'implémentation de programmes ancrés dans la réalité des problématiques de terrain et robustes sur le plan théorique.

Comme les élèves issus de milieux défavorisés ont des risques accrus de présenter des difficultés scolaires ainsi que des FE moins efficaces et d'être moins actifs physiquement que des élèves issus de milieux plus favorisés ; et comme les écoles REP accueillent une proportion importante d'élèves issus de milieux défavorisés ; les écoles REP constituent une place de choix pour intervenir par des programmes d'inclusion d'AP pour favoriser les FE des élèves et leur réussite académique.

L'implémentation d'interventions en milieu scolaire peut constituer un défi en soi. En effet, de tels designs peuvent s'avérer coûteux en temps et en ressources humaines. Dès lors, un raisonnement en termes de coûts et de bénéfices doit être mené et l'acceptabilité de l'intervention et la capacité de compliance doivent être étudiées rigoureusement.

3.3 Interventions d'activité physique en milieu scolaire et cognition

3.3.1 Différentes modalités interventionnelles

Si l'école constitue une place de choix pour les interventions d'AP pour la santé et la cognition des enfants, elle n'en est pas moins une place éducative et les interventions, aussi bénéfiques sont-elles, ne devraient pas avoir d'effets délétères sur les objectifs liés à la scolarité. Toutefois, la mise en œuvre

d'interventions d'AP en milieu scolaire peut réduire le temps alloué à l'enseignement académique, aussi, il est primordial de s'assurer qu'il n'y a pas de répercussions négatives sur les performances académiques des enfants. A notre connaissance, la littérature ne rapporte pas d'effets délétères, même plutôt des améliorations en terme de performance académique et de comportement en classe (Saint Louis Deschênes, 2012; Watson et al., 2019). Ce qui constitue un argumentaire favorable à la mise en place d'interventions d'AP. L'AP peut être incorporée de différentes manières à l'école. Certaines interventions ont proposé de rallonger les temps où les enfants pouvaient être actifs physiquement, comme les enseignements d'EPS ou les temps de pause (e.g., récréation ou pause méridienne) ; d'autres interventions ont inclus de nouveaux temps d'AP au cursus habituel (e.g., programme d'AP après l'école) ; et d'autres encore se sont proposées d'introduire de l'AP pendant le temps de classe (e.g., faire une pause où l'on bouge entre deux enseignements ou utiliser des pédagogies d'apprentissage actif impliquant le corps).

Par exemple, en 2003, une équipe de recherche a comparé en termes de développement cognitif, de forme physique et de composition de corps des enfants d'écoles primaires recevant des enseignements d'éducation physique de 45 minutes 5 fois jours semaine vs. un groupe contrôle suivant un enseignement classique (de 30 à 45 minutes une fois par semaine pour les plus jeunes et 50 minutes par jour sur un seul semestre pour les plus grands) (Reed et al., 2013). L'assignation des élèves à un groupe se faisait en début d'année scolaire et l'intervention durait tout au long l'année scolaire. Les mesures ont été faites sur un design pré/post intervention. L'intervention a montré des résultats positifs en faveur de l'intervention sur 7 des 16 variables liées à la forme physique et à la composition corporelle et sur 8 des 26 variables liées à la cognition (intelligence fluide et vitesse de perception de cibles). D'autres travaux ont comparé en termes de développement cognitif des élèves ayant pratiqué des AP qualitativement différentes de l'éducation physique à des élèves ayant bénéficié de cours d'éducation physique classiques. Par exemple, une étude a comparé les effets de la pratique de Yoga vs. l'enseignement classique d'éducation physique sur les fonctions cognitives (mesurées avec des échelles issues du Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC)) d'enfants âgés de 7 à 9 ans issus de milieux défavorisés (Chaya et al., 2012). L'intervention de remplacement des cours d'éducation physique par du Yoga durait 3 mois. Les mesures ont été faites à trois temps : pre-intervention, post-intervention et 3 mois après l'intervention. Les résultats ont montré que les deux groupes recevaient des bénéfices de la pratique d'AP, mais il n'y avait pas de différence significative entre les groupes. Toutefois, le yoga a apporté davantage de bénéfices au développement de l'attention et des habiletés visuo-spatiales - habiletés qui sont particulièrement mises en jeu dans cette pratique qui requiert un certain niveau d'alerte (Diamond & Lee, 2011).

Parmi les études qui ont pu mettre en place de nouveaux créneaux d'AP, on retrouve la lignée de travaux réalisés autour de l'intervention FITKids (Hillman et al., 2014). L'étude menée en ERC comparait des enfants de 8 à 9 ans ayant bénéficié du programme FITKids après l'école à des enfants n'ayant pas reçu ce programme à propos du développement de leur forme physique (VO2max), de leur activité électrique dans la zone P3 et des mesures comportementales liées au contrôle cognitif (l'inhibition via une tâche de Flanker modifiée et la flexibilité via une tâche de flexibilité couleur/forme où les enfants doivent ranger des objets selon un critère ou l'autre et être capables de changer de critère de rangement en cours de tâche). FITKids est un programme que les enfants suivaient durant deux heures le soir après l'école pendant 9 mois (150 jours sur les 170 de l'année scolaire). Les séances comprenaient au moins 70 minutes d'AP modérée à vigoureuse et étaient suivies d'un goûter équilibré sur le plan nutritionnel accompagné de contenu éducatif. Ensuite, les enfants s'engageaient dans 45 à 55 minutes de jeux structurés de type aérobie qui étaient aussi une occasion d'affiner les compétences motrices. En matière de cognition, les résultats ont montré que, après l'intervention, les enfants ayant bénéficié de FITKids avaient de meilleures performances dans les tâches cognitives (inhibition et flexibilité) que les enfants du groupe contrôle. Aussi, les enfants du groupe intervention présentaient davantage d'amplitude des ondes P3 dans les tâches incongruentes (les plus demandeuses en termes de contrôle) d'inhibition et de flexibilité et une latence plus rapide des ondes P3 dans la tâche d'inhibition incongruente, mais pas pour la flexibilité. Les auteurs ont aussi pu identifier que les effets bénéfiques du programme étaient fonction de l'assiduité des participants : les enfants ayant été présents à toutes les séances tiraient davantage de bénéfices que ceux étant venus moins souvent.

Une récente étude a implémenté à l'école auprès d'élèves de 10 ans une intervention d'AP combinant des enseignements dans lesquels les élèves apprenaient en bougeant (90 minutes par semaine majoritairement dans la cours de récréation), des pauses physiquement actives en classe pendant les leçons (5 minutes par jours) et de l'AP pour devoirs (10 minutes par jour) : Active Smarter Kids (Resaland et al., 2016). La randomisation entre les participants se faisait en cluster : des classes intégraient l'intervention et d'autres poursuivaient une scolarité classique. L'intervention ASK n'a pas montré d'effet sur les performances académiques des enfants. Toutefois, les analyses en sous-groupes ont montré que l'intervention était bénéfique pour les performances en mathématiques des élèves ayant les performances les plus faibles avant l'intervention (tercile le plus bas).

Les interventions que nous venons de présenter illustrent que les possibilités d'intervention d'AP en milieu scolaire sont larges. Si ces interventions permettent toutes d'augmenter le temps de pratique d'AP à l'école par leur design, seules les interventions incluant de l'AP en classe s'avèrent capables, à la fois, de favoriser l'AP et de limiter la sédentarité. Elles sont donc particulièrement intéressantes.

Qu'en est-il des designs existants et des effets observés sur le comportement en classe, les performances académiques et la cognition ?

3.3.2 De l'activité physique dans la salle de classe

A notre connaissance, la récente méta-analyse de Watson et collaborateurs est la seule à avoir recensé et analysé les travaux interventionnels d'introduction d'AP en classe pour les élèves âgés de 5 à 12 ans et ayant testé leur effet sur des variables liées aux résultats scolaires (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Les auteurs ont distingué différentes implémentations de l'AP en classe : les leçons actives, leçons – hors enseignements d'éducation physique – durant lesquelles les apprentissages clés se sont enseignés via des pédagogies incluant de l'AP de la part des élèves (e.g., mathématiques, géographie) ; les pauses actives, pauses de quelques minutes durant le temps de classe où les élèves s'adonnent à de l'AP dans la salle de classe (ou dans le couloir ou la cour) mais qui ne sont pas les temps de récréation ou de pause méridienne ; et les pauses actives mettant l'accent sur du contenu du programme scolaire pour renforcer les apprentissages déjà enseignés. Les variables dépendantes en lien avec les résultats scolaires prises en compte dans cette méta-analyse sont le comportement en classe des élèves (comportements orientés sur la tâche et/ou comportements indésirables), les fonctions cognitives (fonctions exécutives et autres processus mentaux) et la réussite académique (performance à des tâches académiques comme des tests académiques nationaux ou le niveau scolaire perçu).

Les auteurs ont pu recenser dans la littérature 39 études correspondant à leurs critères d'inclusion. Parmi ces travaux, la majorité était d'origine américaine (N = 18) et en Europe, seules quelques études isolées sauf pour les Pays-Bas (N = 7). Aucune étude interventionnelle d'AP en classe dont les effets sur la cognition, le niveau scolaire ou le comportement en classe des élèves n'a pu être identifiée en France. Les études recensées comprenaient 13 études ayant inclus des leçons actives, 19 des pauses actives et 7 des pauses actives avec un contenu académique. La qualité méthodologique des études était très majoritairement de faible à modérée, seules 3 études avaient une forte qualité méthodologique. Cette qualification est due à une absence de mention ou de contrôle de variables ayant pu influencer les résultats comme la randomisation en aveugle, la prise en compte de variables sociodémographiques, le taux de participation et d'attrition. De plus, la compliance est encore peu renseignée et il semblerait qu'elle soit plus importante lorsque l'AP en classe est animée par un membre de l'équipe de recherche plutôt que l'enseignant ou un animateur.

La majorité des études prises en compte dans cette méta-analyse s'intéressaient aux effets aigus de l'AP sur les variables liées au comportement en classe et aux fonctions cognitives, très peu sur le versant chronique (respectivement, n = 4 et n = 5). Alors, pour tirer ses conclusions, la méta-analyse a

choisi de combiner les deux types d'effets. Au niveau aigu comme au niveau chronique, les interventions d'AP ont majoritairement pu augmenter les comportements orientés vers la tâche scolaire et réduire les comportements non-souhaitables en classe. Toutefois, les deux études ayant un suivi plus long ont montré que les effets pouvaient risquer de s'estomper avec le temps. Concernant les fonctions cognitives, les résultats étaient particulièrement inconsistants, autant sur le versant aigu que chronique et les deux combinés, si bien que la méta-analyse conclue à une absence d'effet des interventions d'AP en classe sur les fonctions cognitives. Toutefois, relativement peu d'études se sont penchées sur les FE, la majorité d'entre elles se sont intéressées aux composantes attentionnelles. Aussi, les auteurs soulignent que la variabilité de la qualité des outils de mesure des fonctions cognitives était une limite. En effet, les études ayant trouvé un effet positif de l'AP en classe sur la cognition utilisaient des outils valides et fiables et celles n'ayant pas trouvé d'effet, des outils de moins bonne qualité psychométrique connue. A propos de la réussite académique, les résultats sont aussi inconsistants. Toutefois, les auteurs remarquent que les outils d'évaluation de progrès sont plus sensibles que les outils d'évaluation nationaux. Cette différence peut être due à la différence de sensibilité entre les outils de détection des progrès et les outils d'évaluation annuelle.

Dans cette méta-analyse, seulement 4 travaux se sont intéressés aux FE dont 3 à propos d'interventions de pauses actives, une à propos d'interventions de leçons actives et aucune impliquant des pauses actives avec du contenu scolaire. Aucune des études ayant fait appel à des pauses actives n'a utilisé de design longitudinal. Toutefois, les deux études sur les effets aigus des pauses actives sur les FE ont montré des améliorations uniquement sur le groupe d'enfants ayant reçu l'intervention en semaine 2 et non en semaine 1. Ces résultats à première vue surprenants pourraient témoigner que l'AP n'a pas un effet direct sur la cognition serait plutôt un effet facilitateur à réutiliser les informations précédemment encodées en mémoire (Hill et al., 2010; Hill et al., 2011). L'étude qui a utilisé les leçons actives n'a pas montré de différence entre le groupe ayant bénéficié de l'action par rapport au groupe contrôle sur les FE ; et ce, bien que l'action ait été menée 22 semaines par an durant deux années (de Greeff et al., 2016).

Encore trop peu d'études ont été menées, surtout concernant les effets chroniques des interventions d'AP en classe et les résultats sont trop inconsistants pour tirer des conclusions définitives. Toutefois, des pistes s'ouvrent et nous notons que les auteurs n'ont pas pu identifier d'effet négatif de l'AP sur les variables d'intérêt, ce qui incite à poursuivre les investigations. Les interventions d'AP en classe constituent un moyen peu coûteux pour favoriser l'AP, le comportement en classe, la réussite académique et les FE et également de lutter contre la sédentarité. Cette méta-analyse n'a pas permis de comparer l'efficacité des différentes modalités d'inclusion d'AP en classe. Cependant, nous observons que les leçons actives sont relativement longues (au moins 30 minutes) et impliquent

d'importants changements dans le mode de transmission des enseignements. De plus, malgré une méthodologie robuste, l'étude recensée dans la méta-analyse sur l'effet des leçons actives sur les FE n'a pas pu retrouver de résultats significatifs. Aussi, aucune des études recensées ne s'est intéressée à l'effet des pauses actives avec du contenu académique sur les FE. Des recherches complémentaires nous ont amené vers une récente étude montrant que des pauses actives cognitivement engageantes pouvaient avoir des effets aigus délétères sur la flexibilité mentale et aucun effet sur l'inhibition ou la MDT chez des enfants de 7 ans environ (Egger et al., 2018). L'inclusion de contenu académique dans une pause active amène un engagement cognitif certain et pourrait avoir des effets non-souhaitables sur la cognition des élèves. Les pauses actives, elles, ont montré des patterns de résultats inconsistants, mais étaient aussi les interventions au contenu le plus variable (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Aussi, l'implémentation de pauses entre les enseignements où les élèves pourraient bouger apparaît comme une intervention plus acceptable dans un pays comme la France qui, à notre connaissance, n'a jamais implémenté d'AP en classe pour favoriser le développement des FE des élèves. Ou du moins, une éventualité plus acceptable qu'opérer des changements dans la transmission des savoirs et l'apprentissage comme c'est le cas pour les leçons actives et les pauses actives avec un contenu académique.

3.3.3 Les pauses actives

Comme le montre la méta-analyse de Watson et collaborateurs, l'implémentation de pauses actives est très variée selon les études (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). La majorité des études prises en compte ont implémenté des pauses actives contenant des exercices de type aérobie réalisables en classes (12/19) et d'autres se sont proposées de faire des pauses hors de la salle de classe ou dans la cour de l'école et/ou ont nécessité l'utilisation de matériel complémentaire (e.g., balles, cordes à sauter, vidéos...). Les programmes proposés pouvaient aller de 4 minutes de pause active d'intensité vigoureuse durant la semaine à 20 minutes de pause active d'intensité modérée deux fois par jour. Peu de travaux ont comparé des variations des interventions d'AP en termes d'intensité, de durée et de fréquence. Toutefois, les travaux recensés dans cette méta-analyse montrent qu'une dizaine de minutes de pause active pouvaient suffire à améliorer le comportement en classe et les résultats en mathématiques. Aussi, l'effort d'intensité modérée est capable d'améliorer davantage l'attention sélective que des pauses d'intensité faible ou vigoureuse dans des pauses actives d'une quinzaine de minutes. Enfin, des pauses de 20 minutes d'AP modérée à une fréquence de 2 pauses par semaine se sont avérées suffisantes pour montrer des effets bénéfiques sur l'attention sélective. Ces résultats sont encourageants pour poursuivre les investigations sur les effets de l'AP pratiquée en classe sur la cognition. Ainsi, implémenter des pauses actives d'AP aérobie d'intensité modérée d'une dizaine de minutes plusieurs fois par semaine pourrait être une dose suffisante pour obtenir des

résultats et comme la littérature n'a que peu d'études sur les effets chroniques de l'AP en classe (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017), une implémentation sur une année scolaire est un design intéressant. Si la pratique quotidienne de pauses actives peut favoriser le développement des FE qui pourraient à leur tour favoriser la performance académique des élèves (Schmidt et al., 2017) ; si les pauses actives favorisent les comportements d'apprentissage (Watson et al., 2019) et si elles favorisent l'AP et permettent à la fois de lutter contre la sédentarité, les pauses actives pourraient constituer un moyen positif pour améliorer les perspectives des élèves en difficulté scolaire.

Si les pauses actives sont à implanter en classe, il est nécessaire de consulter les enseignants pour en savoir plus sur la faisabilité des pauses actives sur le terrain. En effet, les enseignants ont l'expérience du terrain, ils sont en classe avec les élèves toute la journée et sont soumis à des contraintes et des priorités qui peuvent être très différentes de celles des travaux menés en laboratoire. Deux études (une américaine et une australienne) menées auprès d'enseignants sur leur perception quant à l'inclusion de pauses actives en classe ont montré que, pour un accueil favorable des pauses actives, il était nécessaire de tenir compte des contraintes de temps et d'espace (McMullen et al., 2014; Webster et al., 2013). En effet, à l'école, la priorité est donnée aux enseignements prévus dans le programme annuel et les pauses actives ne devraient pas trop empiéter sur le temps de classe. Dans l'éventualité d'une implémentation sur le long terme, d'une introduction des pauses actives à la routine de classe, les enseignants pensaient qu'une durée de pause supérieure à 5 minutes ne serait pas envisageable (Howie et al., 2014). Aussi, les pauses devraient être faciles à implémenter et adaptées à l'espace de la classe sans nécessiter de préparation particulière de l'espace ou d'utilisation de matériel spécifique. Les enseignants interrogés avaient une certaine crainte quant à une possible distractibilité des élèves pendant ou après les pauses actives. Il est alors nécessaire d'informer les enseignants quant aux bénéfices que peuvent apporter les pauses actives sur le climat de classe.

Pour favoriser l'implémentation des pauses actives en classe, il serait pertinent que des enseignants puissent participer à l'élaboration de ces pauses pour les adapter au maximum aux contraintes du terrain. Toutefois, à notre connaissance, aucune intervention n'a consulté le corps enseignant mis à part le programme de pauses actives ACTI-BREAK (Watson, Timperio, Brown, & Hesketh, 2017) qui a été publié lors du déroulement de nos investigations sur le terrain. Certaines des pauses actives incluses dans la méta-analyse de Watson et collaborateurs étaient menées par les enseignants préalablement formés plutôt que par des intervenants extérieurs. Bien que ces études manquaient d'informations sur la compliance réelle des enseignants à animer des pauses actives (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017), une animation des pauses actives par les enseignants est par nature beaucoup plus écologique quant à la routine de classe et plus réalistes dans une perspective de généralisation possible de la pratique. Pour favoriser la mise en place de pauses actives par les enseignants, une formation

aux pauses actives doit être mise en place et des ressources mises à disposition (Ahamed et al., 2007; Carlson et al., 2015). Aussi, pour favoriser la compliance, il est primordial de passer par des facteurs facilitant l'accès à un comportement. Ceci est possible par l'opérationnalisation de concepts issus des modèles psycho-sociaux du comportement humain comme favoriser l'accessibilité aux informations utiles et aux expériences d'autrui, favoriser le sentiment d'appartenance à un groupe, minimiser les barrières, soutenir et encourager les enseignants (Ajzen, 1991; Schwarzer, 2008), favoriser le plaisir (Wankel, 1993) et l'autonomie (Deci & Ryan, 2008) et fournir des objectifs spécifiques, mesurables, accessibles, réalistes et temporels (des objectifs SMART) (Doran, 1981). Puisque ce sont les élèves qui vivent les pauses actives, il est crucial qu'ils soient consultés autant pour le contenu que pour leur satisfaction vis-à-vis des pauses actives. Toutefois, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à la représentation des pauses actives que se faisaient les élèves et comment ils vivaient ces pauses.

En résumé, les programmes d'inclusion d'AP en milieu scolaire sont nombreux et leurs résultats hétérogènes. Toutefois, à notre connaissance, aucun programme n'a pu avoir d'effets délétères sur les variables d'intérêt (cognition, performance académique). L'inclusion de l'AP à l'école peut se faire de différentes manières : on peut rallonger les temps d'AP existant, créer de nouveaux temps d'AP ou inclure de l'AP dans des temps où elle n'existe pas habituellement. Parmi ces possibilités, la dernière apparaît comme la plus acceptable.

Pour inclure de l'AP à des temps où les élèves ne sont habituellement pas actifs, il est possible d'inclure de l'AP en classe. Pour ce faire, différentes inclusions d'AP peuvent être envisagées : des pauses actives, des pauses avec du contenu académique et des leçons actives. A notre connaissance, l'utilisation des pauses actives constituerait la possibilité la plus acceptable puisqu'elle nécessite moins d'adaptations pédagogiques que des inclusions de contenus académiques actifs et que l'inclusion d'AP en classe est encore très marginale en France. A notre connaissance, l'implémentation de pauses actives via un programme annuel de pauses de 10 minutes d'AP d'intensité modérée plusieurs fois par semaine serait un moyen de favoriser les FE des élèves.

Dans la perspective d'implémenter un programme d'inclusion de pause actives en classe dans les écoles françaises, il serait judicieux d'impliquer des enseignants dans la création du programme pour favoriser sa faisabilité et son acceptabilité sur le terrain. Dans une perspective d'implémentation des pauses actives dans la routine de classe sur le long terme, un format de pauses animées par les enseignants est requis. En ce sens, pour favoriser l'adhésion des enseignants, il est nécessaire de leur fournir un programme clé en main facile et peu coûteux à mettre en œuvre. A notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à la représentation que les élèves se faisaient des pauses actives. Il est nécessaire d'en savoir davantage.

3.4 Synthèse

L'inclusion de l'AP à l'école sous forme de discipline scolaire est relativement récente dans l'histoire de l'école en France. Elle a connu de nombreuses mutations, majoritairement durant le XX^{ème} siècle, jusqu'à l'enseignement d'EPS que nous connaissons aujourd'hui. En France, les enfants passent une grande partie de leur semaine à l'école, plus que dans la majorité des pays de l'OCDE. Cette particularité offre aux élèves de nombreuses opportunités d'être actifs à l'école, notamment durant l'enseignement d'EPS, la récréation, la pause méridienne ou les trajets pour venir jusqu'à l'école. Cependant, les enfants ne sont pas suffisamment actifs et trop sédentaires à l'école pour leur santé alors que l'école souhaite favoriser les comportements de santé.

La France rencontre un véritable défi éducatif avec une école dite « à deux vitesses » où l'écart se creuse entre les élèves les plus et les moins performants et les élèves issus de milieux défavorisés sont plus nombreux à présenter des difficultés scolaires. Pour répondre aux besoins éducatifs des élèves issus de milieux défavorisés, l'Education Nationale a mis en place un REP et un REP+ pour les milieux les plus démunis. Les écoles REP et REP+ bénéficient de liberté et de moyens supplémentaires pour favoriser la réussite scolaire de leurs élèves. Nous avons aussi identifié que les enfants issus de milieux défavorisés étaient plus à risque de présenter un manque d'AP et des FE relativement moins efficaces que des enfants issus de milieux plus favorisés. Dès lors, implémenter une intervention d'AP à l'école dans les REP pourrait favoriser à la fois la santé et les FE des élèves et serait faisable dans de telles écoles compte-tenu de leur intérêt pour les innovations pédagogiques.

La littérature a implémenté des interventions d'AP à l'école de différentes manières. A ce jour, les études ne sont pas suffisamment nombreuses pour attester des effets des interventions d'AP sur le comportement en classe, la cognition et la réussite académique des élèves ; toutefois, de telles interventions n'ont jamais montré d'effets délétères. Les résultats sont encourageants et invitent à faire davantage de recherche pour établir des effets dose-réponse. Les interventions d'AP à l'école par le biais de pauses actives ont plus particulièrement retenu notre attention compte tenu des effets renseignés dans la littérature et de son acceptabilité potentielle en France, pays qui n'a jamais, à notre connaissance, utilisé de l'AP à l'école pour favoriser le développement des FE des élèves. Aussi, pour la mise en œuvre d'un programme de pauses actives, il est important, dans notre contexte et pour répondre à ses défis éducatifs et cognitifs, de favoriser une étroite collaboration entre l'enseignement et la recherche pour des interventions faisables, mesurables et efficaces.

4 Chapitre 4 : Problématique de recherche et hypothèses

Les FE sont des fonctions cognitives de haut niveau qui nous permettent de nous adapter, de sortir d'un fonctionnement « par défaut » pour nous ajuster aux situations nouvelles, non-routinières et/ou complexes. Elles nous offrent la possibilité de mettre en œuvre des comportements complexes pour répondre aux contingences, qu'elles soient internes ou externes, tout en prenant en compte le passé, le présent et le futur. Leur fonctionnement est particulièrement lié à l'activité du CPF que nous considérons aujourd'hui comme le siège des FE. Les FE sont essentielles pour fonctionner au quotidien et dans toutes les sphères de la vie dont la santé physique et mentale, la QDV, la réussite dans la vie l'intégration sociale et l'intégration dans l'espace public.

Les modèles factoriels actuels ont permis d'apporter des éléments de consensus en mettant en lumière des FE de base (i.e., l'inhibition, la MDT et la flexibilité mentale) prises entre unité et diversité et sur lesquelles pourraient s'élaborer des FE plus complexes (e.g., la planification). Les FE commencent à se développer dès la naissance et mûrissent jusqu'au début de l'âge adulte. Des essais de calendrier développementaux des FE ont été proposés. Ils ont permis de constater que chacune des FE a une trajectoire propre avec ses accélérations, ralentissements et stagnations. Les travaux de Diamond ont permis de proposer une perspective développementale hiérarchique des FE de base. La flexibilité mentale y est présentée comme se développant à partir du la MDT en cours de développement, elle-même se développant à partir du développement de l'inhibition qui serait la FE de base la plus mature précocement. Tôt dans le développement, les FE seraient unitaires et se différencieraient avec l'avancée en âge jusqu'à la période d'âge scolaire.

La période d'âge scolaire est une phase développementale cruciale des FE. Cependant, cette période a été relativement peu étudiée par rapport à la petite enfance, l'âge adulte ou le vieillissement. De plus amples investigations sont nécessaires pour affiner nos connaissances sur les trajectoires de développement des FE de base. Aussi, l'étude des FE à l'âge scolaire représente un défi de taille puisque les mêmes outils ne sont utilisables à tous les âges et que la complexité des tâches entraîne de grandes variations dans les performances des enfants. Nos connaissances des trajectoires de développement des FE de base sont à parfaire.

La période d'âge scolaire constitue aussi une période particulièrement sensible à l'expérience, cette dernière étant tout aussi capable de favoriser ou porter atteinte au développement des FE. Des affections neurologiques, des traumatismes crâniens et des situations de vie difficiles précoces (e.g., précarité, le manque de stimulations et ou des stimulations de moindre qualité) peuvent avoir des entraves le développement des FE des enfants et leur atteinte peut entraîner une variété de troubles durables qui peuvent s'aggraver avec les années et avoir des retentissements importants. Il est donc

crucial de favoriser le développement des FE des enfants et d'agir auprès des populations d'enfants qui présentent davantage de risque de rencontrer des difficultés de développement de ces fonctions centrales pour l'adaptation de l'individu tout au long de sa vie.

Des travaux interventionnels ont été menés afin de favoriser le développement des FE chez les enfants à l'âge scolaire et ont majoritairement été conduits en milieu scolaire. Les interventions favorisant le développement des FE sont intéressantes pour les enseignants. En effet, l'efficacité des FE est positivement liée à des attitudes en classes favorisant les apprentissages et à la réussite académique ; de plus, c'est en passant par l'école que les interventions maximisent leurs chances de bénéficier à la plus grande proportion d'enfants possible. Certaines interventions actuelles se sont inspirées des thérapies de remédiation cognitive et ont proposé des stimulations des FE par entraînements. Toutefois, de telles interventions apparaissent comme relativement coûteuses. La possibilité d'envisager des interventions de type « indirect » i.e., en ne visant pas directement les FE mais en agissant sur des variables répondant à des besoins fondamentaux en lien avec le développement des FE, semble une approche alternative intéressante. De plus, intervenir par le biais de l'AP est une perspective prometteuse. En effet, un nombre grandissant d'indices montre que la forme physique des individus, indice d'AP régulière, est positivement liée à l'efficacité de leurs FE, et ce, même chez l'enfant d'âge scolaire. Toutefois, les travaux conduits sont encore récents et nos connaissances sur les liens entre les différentes dimensions de l'AP sur les FE sont à affiner. → *Le premier objectif général de cette thèse sera alloué à l'étude de la relation entre l'efficacité des FE de base et la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire. Nous testerons l'hypothèse de liens positifs faibles entre l'AP habituelle et l'efficacité des FE de base des enfants d'âge scolaire, qu'elles soient prises isolément ou en tant que construit unitaire.*

Les pistes interventionnelles ont pu montrer que l'efficacité des FE peut être améliorée par l'AP de manière aigüe comme chronique chez l'enfant d'âge scolaire. Les résultats des méta-analyses conduites montrent que l'AP peut améliorer l'efficacité des FE et la performance académique des élèves avec une taille d'effet faible à modérée. Toutefois, les résultats sont encore hétérogènes et davantage d'interventions sont nécessaires pour déterminer des effets dose d'AP/réponse des FE. Les enfants issus de milieux défavorisés ont des risques accrus de présenter des FE moins efficaces et des difficultés scolaires que les enfants issus de milieux plus favorisés. Il serait avisé de proposer des interventions pour favoriser les FE de ces enfants pour leur permettre d'exprimer leur plein potentiel. En France, les écoles REP accueillent une proportion importante d'enfants issus de milieux défavorisés et/ou présentant des difficultés scolaires. Intervenir dans les écoles REP est dès lors pertinent afin de favoriser la réussite pour tous les élèves français. Des pistes émergentes proposent que les FE seraient un processus explicatif des liens observés entre la pratique d'AP et la performance académique. Il

serait intéressant d'explorer cette perspective chez les enfants scolarisés en France dans les écoles REP. → *Le deuxième objectif général de cette thèse sera alloué à l'étude des liens entre l'AP, les FE et la performance académique. Nous testerons l'hypothèse d'une médiation complète du lien AP-performance académique par les FE.*

Les interventions d'inclusion d'AP en milieu scolaire sont très variées en termes de design. A notre connaissance, aucune intervention d'AP pour favoriser le développement des FE n'a été à ce jour menée en France. En ce sens, il nous a paru pertinent de nous intéresser au design interventionnel le plus faisable et acceptable et donc nécessitant le moins d'ajustement possible de la part des écoles. L'inclusion de pauses actives en classe s'est avéré être le design le plus adapté à notre situation et envisageable dans les écoles REP qui disposent de davantage de liberté pour expérimenter des innovations pédagogiques. Il est aussi crucial de nous intéresser à l'impact de telles interventions sur des variables davantage affectives comme la QDV à l'école des élèves et de nous questionner sur les représentations des individus les ayant vécues (élèves et enseignants). Il est dès lors pertinent de développer, mener et évaluer un programme d'inclusion de pauses actives dans le but de favoriser les FE de base des élèves des écoles REP. → *Le troisième objectif général de cette thèse sera alloué à l'étude de l'effet de l'inclusion d'une pratique d'AP en milieu scolaire sur le développement des FE de base d'enfants scolarisés dans des écoles REP, leur AP, leurs performances académiques et leur QDV à l'école. Nous testerons l'hypothèse que l'intervention favorisera le développement des FE des élèves et permettra d'observer une augmentation de la pratique d'AP, de la performance académique et de la QDV à l'école.*

Pour participer à l'effort de recherche dans l'étude de la place de l'AP dans le développement des FE de l'enfant d'âge scolaire, cette thèse se propose de répondre à trois objectifs généraux que nous venons d'énoncer à travers deux études principales : l'étude 1 répondra au premier objectif général de cette thèse et l'étude 2 aux objectifs généraux 2 et 3 de cette thèse.

Partie 2 : Contribution à la production de connaissances

« Finalement, je me résolus à faire l'escalade de cette tour, dussé-je y périr ; car mieux valait voir le ciel, quitte à en mourir, que vivre sans jamais connaître le jour »

Howard Phillips Lovecraft, *Je suis d'ailleurs*, 1926

1 Chapitre 1 : Eléments de contexte

1.1 Cadre du travail doctoral

Cette thèse de doctorat s'inscrit dans la continuité de mon expérience de stage à Epidaure, département de prévention de l'Institut du Cancer de Montpellier (ICM), où j'ai pu me familiariser avec la recherche interventionnelle deux années durant. J'ai notamment pu participer au « Grand Défi Vivez Bougez » (GDVB), projet phare d'Epidaure inscrit en prévention primaire contre l'incidence du cancer via la promotion de la pratique d'AP chez l'enfant d'âge scolaire. Ce projet original basé sur la théorie du comportement planifié (Ajzen, 1991) mobilise des écoles, des communes et des associations sportives de la région Occitanie pour favoriser l'atteinte des recommandations d'AP pour la santé des enfants.

Le GDVB, comme l'ensemble des projets portés par Epidaure, a été développé à partir d'étroites collaborations entre des chercheurs, des enseignants et des acteurs de terrain. La croisée des regards et l'articulation des savoirs théoriques, pédagogiques et expérientiels permettent le développement d'interventions ancrées théoriquement, ajustées au public visé comme au terrain d'action. Ainsi, l'implémentation et l'efficacité des interventions s'en trouvent favorisées. C'est baignée dans ce lieu de stage propice à la recherche interventionnelle et à la lumière d'influences théoriques en psychologie du développement que j'ai commencé à me questionner plus avant sur les effets potentiels de la pratique d'AP sur la cognition humaine. Question qui m'a amenée à l'écriture d'un projet de thèse de doctorat.

Le projet de la présente thèse a été élaboré courant 2016 et soumis à Madame la Professeure Florence Cousson-Gélie qui en a accepté la direction. Cette dernière m'a encouragée à présenter ce projet au concours de l'Ecole Doctorale 60 et j'ai pu bénéficier d'un contrat doctoral ministériel durant trois années à l'Université Paul Valéry Montpellier 3 pour réaliser cette thèse de doctorat. J'ai pu partager mon temps entre le laboratoire Epsilon de l'Université et Epidaure et ai ainsi pu bénéficier des ressources universitaires et de l'expertise d'Epidaure dans le champ interventionnel auprès des enfants en milieu scolaire.

Dans ce projet, deux études principales ont été proposées :

- ❖ Une étude transversale portant sur la relation entre les dimensions de l'AP et le niveau d'efficacité des FE d'enfants d'âge scolaire afin de répondre au premier objectif de cette thèse.
- ❖ Une étude interventionnelle d'inclusion de pauses actives en classe dans des écoles REP pour favoriser le développement des fonctions exécutives. L'étude de la ligne de base

permet de répondre à l'objectif 2 de cette thèse et l'étude de l'effet de l'inclusion des pauses actives permet de répondre à l'objectif 3 de cette thèse.

1.2 Considérations éthiques

Cette thèse de doctorat a débuté en octobre 2016, soit quelques semaines avant le décret d'application de la loi Jardé relative à l'encadrement de la recherche impliquant la personne humaine (RIPH) (décret d'application n°2016-1537 du 16 novembre 2016). Cette loi élargie le champ des RIPH jusqu'ici davantage en lien avec les problématiques liées aux recherches biomédicales et propose une classification basée sur les risques. Nos travaux entraient alors dans la catégorie 3 « recherches non-interventionnelles » de la loi Jardé. Les démarches en vigueur sont d'informer l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) de la recherche, de soumettre le protocole de recherche à un comité de protection des personnes (CPP) pour avis éthique, de s'engager à suivre le traitement des données conformément la méthodologie de référence MR-003 de la commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) et de fournir aux participants une information éclairée sur la recherche et leur droit d'opposition à participer à la recherche.

Avec le décret n°2017-884 du 9 mai 2017 qui a apporté des modifications aux dispositions réglementaires relatives aux RIPH et exclu du champ de la loi Jardé certaines recherches impliquant la personne humaine dont les « expérimentations en sciences humaines et sociales dans le domaine de la santé », certains de nos travaux se sont révélés hors champ de la loi Jardé. Soucieux de soumettre notre travail à un avis éthique, nous avons fait appel au comité d'évaluation éthique de l'INSERM (institut national de la santé et de la recherche médicale) (CEEI). Le CEEI est un comité d'éthique de la recherche (CER) aussi enregistré comme Institutional Review Board (IRB) et jouissant d'une reconnaissance internationale.

Les deux études de cette thèse de doctorat ont été soumises à avis éthique et ont pu recevoir un avis favorable (voir Annexes 2 et 3) :

❖ **Etude 1** : *Relation entre les habitudes d'activité physique et l'efficacité des fonctions exécutives, approche transversale*

Cette première étude transversale a été déclarée à l'ANSM sous le nom « Quels liens existent-ils entre la pratique d'activité physique quotidienne des enfants et leur niveau de fonctionnement exécutif ? » et enregistrée sous le numéro ID RCB 2017-A00580-53. Elle a été soumise au CPP Nord-Ouest II dont le Docteur Thierry Bougueil est le président. Le CPP Nord-Ouest II a déclaré que « ce protocole n'a pas posé de problème scientifique ou éthique » le 24 mai 2017.

❖ **Etude 2** : *Développer, mener et évaluer une intervention d'inclusion de pauses actives en classe pouvant favoriser le développement des fonctions exécutives : « Mouv'enclasse, un programme pour une classe active des orteils à la tête »*

Cette étude interventionnelle s'est révélée hors champ de la loi Jardé. Elle a pu être évaluée par le CEEI (IRB00003888 IORG0003254 FWA00005831) dont la présidente est la Professeure Christine Dosquet sous le nom « Activité physique, école et cognition ». L'étude a été examinée par le comité et a reçu un avis favorable du CEEI le 19/09/2017 sous l'avis n° 17-405.

1.3 Mode de recrutement des participants

Les travaux envisagés dans ce travail sont en lien avec le développement de l'enfant d'âge scolaire et sa partie interventionnelle directement à destination d'élèves de classes d'écoles REP. En ce sens, l'ensemble de nos travaux ont été menés en milieu scolaire. Ils s'inscrivent dans la continuité des travaux que j'avais pu initier lors de mon stage à Epidaure et j'ai pu continuer à collaborer avec Monsieur Bruno Fregeac, enseignant référent du centre de ressources en éducation santé de l'Education Nationale situé à Epidaure. Il a notamment suivi le développement de l'intervention de pauses actives en classe de l'étude 2 de cette thèse et nous permis de prendre contact avec la direction des services départementaux de l'Education Nationale de l'académie de Montpellier pour leur soumettre nos projets. Ces derniers ont été évalués par Monsieur Olivier Bost, inspecteur de l'Education Nationale adjoint à l'inspecteur d'académie et Madame Sophie Villecourt, conseillère pédagogique qui ont ensuite présenté nos projets de recherche à madame la rectrice de l'Académie de Montpellier qui nous a autorisés à contacter des écoles de la ville de Montpellier pour participer à nos travaux.

M. Fregeac était habilité à informer les inspecteurs de l'académie des écoles de la ville de Montpellier de notre étude et a pu envoyer une invitation à participer à nos travaux aux écoles de la ville. Les classes et/ou les écoles intéressées ont répondu à M. Fregeac qui me transmettait alors leurs coordonnées. Je me suis chargée de leur fournir de plus amples informations sur les travaux et leurs perspectives. En échange de la participation des classes et/ou écoles, nous nous sommes engagés à leur fournir un rapport descriptif des données récoltées lors des travaux et une version numérique de la présente thèse.

Pour chacune des études, l'enseignant référant de la classe présentait l'étude à ses élèves et lisait avec eux la « lettre d'information à l'élève ». Chaque élève recevait ensuite une lettre d'information à destination de ses parents et/ou tuteurs légaux et un exemplaire à compléter de consentement éclairé. Mon adresse mail figurait sur la lettre d'information si les parents étaient désireux d'en connaître

davantage sur la nature de nos travaux. Un délai de trois semaines de réflexion a été laissé aux familles avant ramassage des fiches de consentement.

2 Chapitre 2 : Etude 1, Relation entre les habitudes d'activité physique et l'efficacité des fonctions exécutives, une approche transversale

2.1 Méthode

2.1.1 Présentation de l'étude

2.1.1.1 *Comment répondre à nos objectifs ?*

Cette première étude a été développée en vue de répondre au premier objectif général de cette thèse : Etudier la relation entre l'efficacité des FE de base et la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire. Pour ce faire, cette étude s'est proposée de suivre plus spécifiquement 3 objectifs :

1. Etudier les effets de l'âge sur l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire
2. Etudier les effets de l'âge et du genre sur la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire
3. Identifier les dimensions de la pratique d'AP habituelle liées à l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire

Pour répondre à ces objectifs, la présente étude s'est intéressée à l'AP habituelle et aux FE de base d'enfants d'âge scolaire de niveau scolaire différent à un instant T de leur scolarité, soit selon un design transversal. Un tel design d'étude permet de se forger une idée, de dégager des tendances à propos du calendrier développemental des enfants d'une façon relativement rapide et peu coûteuse. En ce sens, elle est aussi intéressante compte-tenu des contraintes de temps et de moyens liées à un travail doctoral. Toutefois, dans un travail se réclamant de la psychologie du développement, l'usage d'un design transversal peut s'avérer critiquable en ce qu'il ne permet pas de prendre en compte les patrons développementaux individuels, ni de rendre compte de processus développementaux. Nous sommes conscients des forces et des faiblesses de ce design et sommes restés prudents quant à l'interprétation de nos résultats.

Les études s'étant intéressées aux liens entre l'AP et les FE de base sont peu nombreuses, même avec design transversal. A notre connaissance, aucune étude n'a exploré le poids relatif des différentes dimensions de l'AP habituelle des enfants sur l'efficacité de leurs FE de base. Cette étude originale, résolument exploratoire, constitue une ouverture à de futurs travaux d'investigation de pistes causales. Nous faisons ici l'hypothèse générale que la pratique d'AP est liée à une meilleure efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire.

2.1.1.2 Population, échantillon

Les participants de cette étude étaient des enfants d'âge scolaire typiques scolarisés dans des écoles publiques de Montpellier en classe de CE2, CM1 et CM2. La participation se faisait sur la base du volontariat des enseignants à permettre à leurs élèves de participer avec l'accord des enfants et l'autorisation d'au moins l'un de leurs parents et/ou tuteurs légaux et si l'un des parents et/ou tuteurs légaux s'opposaient à la participation de l'enfant, ce dernier ne pouvait pas participer à l'étude. La participation était anonyme.

Pour contrôler l'effet de variables parasites potentielles liées aux caractéristiques des participants, nous avons établi des critères de non-inclusion. Nous précisons le choix des critères de non-inclusion dans la partie de contrôle méthodologique (voir 2.2.3 de ce chapitre). Puisque nous n'avons pas accès aux données personnelles des participants, nous avons inclus la liste des critères de non-inclusion dans la lettre d'information aux parents en leur précisant de ne pas autoriser leur enfant à participer s'il présentait un ou plusieurs des critères listés. Les enseignants connaissaient aussi cette liste. Nous avons choisi de ne pas inclure dans cette étude les enfants :

- ❖ Participant à une autre étude en cours
- ❖ Ne parlant pas couramment la langue française
- ❖ N'ayant pas l'âge chronologique équivalant à l'âge attendu pour la classe à laquelle ils appartiennent
- ❖ Présentant un trouble de la vision sans correction adaptée
- ❖ Présentant un trouble de la perception des couleurs (e.g., dyschromatopsie)
- ❖ Présentant un trouble de l'audition sans correction adaptée
- ❖ Présentant un trouble neurodéveloppemental (e.g., troubles du spectre de l'autisme, troubles cognitifs spécifiques, TDA-H, déficience intellectuelle...)
- ❖ Présentant un trouble congénital ou acquis ayant porté atteinte à ses capacités cognitives (e.g., neurofibromatose, méningite, encéphalite, traumatisme crânien, épilepsie)
- ❖ Présentant un retard ou un trouble de la motricité entravant ou limitant la motricité fine
- ❖ Ayant une contre-indication à la pratique d'AP

Pour calculer le nombre de participants nécessaires, nous avons utilisé le programme informatique G*Power version 3.1.9.2 (Faul et al., 2007). Nous avons fait des simulations sur la base d'analyses de régressions linéaires multiples pour détecter un effet de taille faible à modérée ($f^2 = .15$) (de Greeff et al., 2018; Ludyga et al., 2016). Pour une erreur $\alpha = 0.05$ et une puissance $(1 - \beta) = 0.95$ et un nombre de prédicteurs variable (entre 5 et 10), l'estimation du nombre de participants nécessaires était $N =$

138. Pour pallier à d'éventuels problèmes d'attrition, nous avons augmenté l'estimation du nombre de participants de 20%, soit N = 154 participants.

2.1.2 Instruments de mesure

2.1.2.1 *Mesurer les fonctions exécutives*

L'examen des FE est un véritable défi en ce que les mesures disponibles ne permettent pas d'évaluation véritablement pure d'une composante particulière. En effet, l'efficacité des FE à un moment donné est notamment liée à l'efficacité de composantes de plus bas niveau, e.g., l'éveil ou l'attention. Les études développementales rencontrent un défi supplémentaire, plus marqué dans les travaux chez l'enfant puisque les mesures adaptées pour un groupe d'âge peuvent se révéler obsolètes pour un autre : l'utilisation d'outils inadaptés peut entraîner des effets plancher ou plafond et le changement d'outil d'un âge à un autre des difficultés de comparaison non-négligeables. Conscients de ces défis, notre choix s'est porté sur des outils communément utilisés en tant qu'indicateurs des trois FE de base dans la littérature scientifique et dans les examens neuropsychologiques. Afin d'anticiper de futurs travaux, par soucis de comparaison, nous avons choisi des outils qui peuvent être réalisés dès l'âge 7 ans et qui restent pertinents à l'adolescence et à l'âge adulte. Notons que la performance des individus aux épreuves présentées peut être impactée par la présence de troubles de l'apprentissage ou de TDA-H, c'est en ce sens que nous n'avons pas inclus les enfants porteurs de troubles neurodéveloppementaux (Albaret & Migliore, 1999; Lawrence et al., 2004; Wang et al., 2018).

Les outils utilisés pour mesurer les FE étaient disponibles au Centre de Documentation Pédagogique et Scientifique de l'Unité de Formation et de Recherche 5 (sciences du sujet et de la société) de l'Université Paul Valéry Montpellier 3. L'achat et l'usage des tests psychométriques sont réservés à certains professionnels (e.g, psychiatres, psychologues, psychomotriciens, orthophonistes en fonction dudit test) que le titre de psychologue que j'ai obtenu en 2017 me permet d'utiliser. Nous précisons que les outils ont exclusivement été utilisés à des fins de recherche et en aucun cas dans une perspective de dépistage ou de diagnostic.

2.1.2.1.1 *Inhibition*

Le test de Stroop est un outil psychométrique utilisé dans l'examen des FE chez l'adulte et chez l'enfant lecteur (dès 7;6 ans). Ce test se base sur « l'effet Stroop » ou « effet d'interférence de Stroop » dans lequel on observe qu'il peut être difficile d'ignorer ou filtrer des informations non-pertinentes dans une tâche cognitive, mais plus habituelles à traiter au profit d'informations pertinentes qui ont relativement moins l'habitude d'être traitées par le système cognitif. De telles tâches mettent à l'épreuve les capacités d'inhibition du sujet qui a besoin de davantage de temps pour donner une bonne réponse et à tendance à faire davantage d'erreur qu'en situation de non-interférence.


Dans la tâche d'interférence de Stroop classique, des mots référant à des noms de couleurs écrits avec des encres colorées de couleurs différentes de celle à laquelle réfère le sens du mot sont présentés au sujet. Ce dernier a pour consigne de mentionner la couleur de l'encre avec laquelle chaque mot est écrit. La réponse de lecture est « automatisée » chez l'individu lecteur qui doit alors exercer un contrôle volontaire pour filtrer la réponse de lecture au profit de la dénomination de la couleur avec laquelle le mot est écrit. Le test de Stroop est communément utilisé pour évaluer l'inhibition (Brydges et al., 2014; Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000).

La version initiale du test de Stroop (Stroop, 1935) a connu de nombreuses variations et adaptations en fonctions des études menées, des hypothèses testées et des populations étudiées (e.g., Prevor & Diamond, 2005; Strauss, Strauss, Sherman, Sherman, & Spreen, 1991). Nous avons choisi d'utiliser une version du test développée et validée pour une population d'enfants d'âge scolaire et d'adolescents français (Albaret & Migliore, 1999). Le test se compose de trois cartes au format A4 plastifiées sur lesquelles on retrouve 50 items disposés en 10 lignes de 5 items : Les items de la carte A sont des mots faisant référence à des couleurs, écrits en encre noire, les items de la carte B sont des mots faisant référence à des couleurs, écrits en encre colorée et les items de la carte C sont des rectangles colorés. Quatre couleurs sont utilisées dans le matériel, que ce soit pour le sens des mots ou les encres : le vert, le jaune, le rouge et le bleu. L'expérimentateur dispose d'un minuteur et d'un livret de passation pour chaque participant, dans lequel il prend note des bonnes réponses, des erreurs et des hésitations du participant : une hésitation est définie comme une erreur en début d'énonciation (e.g., « bl...jaune »). Une rupture dans le rythme d'énonciation ne compte pas pour une hésitation.

La passation s'effectue en quatre étapes (voir tableau 2). A la première étape, nommée « lecture 1 », il est demandé au participant de lire le plus de mots possible sans se tromper en 45 secondes sur la carte A. La lecture se fait de gauche à droite et de haut en bas. Si le participant arrive au bas de la carte avant 45 secondes, il continue sa lecture en la reprenant au début de la carte. A la deuxième étape, nommée « Lecture 2 » la même consigne est donnée au participant mais l'épreuve se fait sur la carte B. A la troisième étape, nommée « dénomination 3 », il est demandé au participant de dénommer la couleur du plus de rectangles possible sans se tromper en 45 secondes sur la carte C. La dénomination se fait de gauche à droite et de haut en bas. Si le participant arrive au bas de la carte avant 45 secondes, il continue sa dénomination en la reprenant au début de la carte. A la quatrième et dernière étape, nommée « interférence 4 » il est demandé au participant de dénommer la couleur de l'encre du plus de mots possible sans se tromper en 45 secondes sur la carte B.

Tableau 2

Illustration de la passation du test de Stroop

Etape & Matériel	Consigne	Exemple de stimuli	Réponse attendue
Etape 1 Matériel : <i>Carte A</i>	Lire les mots	BLEU ROUGE JAUNE	« Bleu, Rouge, Jaune »
Etape 2 Matériel : <i>Carte B</i>	Lire les mots	JAUNE BLEU VERT	« Jaune, Bleu, Vert »
Etape 3 Matériel : <i>Carte C</i>	Dénommer la couleur de l'encre des rectangles		« Jaune, Vert, Bleu »
Etape 4 Matériel : <i>Carte B</i>	Dénommer la couleur de l'encre des mots	VERT JAUNE BLEU	« Bleu, Rouge, Vert »

Pour chaque étape, l'expérimentateur comptabilise le nombre de bonnes réponses, le nombre d'erreurs et le nombre d'hésitations. Il est possible de calculer un score d'erreur en multipliant par deux le nombre d'erreurs et en y ajoutant le nombre d'hésitations. La quatrième étape du test correspond à la situation d'interférence où les capacités d'inhibitions sont mises à l'épreuve. Il est possible de calculer un score d'inhibition en faisant la différence entre le nombre de bonnes réponses de l'étape 3 (dénomination de couleur) et le nombre de bonnes réponses de l'étape 4 (interférence). Dans cette étude, conformément aux autres travaux de la littérature scientifique, nous avons utilisé le score à l'épreuve d'interférence 4 comme reflet de l'efficacité de l'inhibition des participants (Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000).

La version du test de Stroop présentée a été étalonnée auprès d'une population de 835 enfants et adolescents âgés de 7 ans et 6 mois à 15 ans et 5 mois. Les normes sont divisées en 8 groupes d'âges contenant au minimum 50 filles et 50 garçons par groupe. La répartition des enfants suit la répartition socio-économique des familles selon les critères INSEE des 25-49ans et les enfants sont issus de sept régions françaises différentes. L'outil n'a pas montré d'effet test-retest significatif sur les performances des enfants au test pour des intervalles de 1 à 6 semaines. Les filles ont tendance à avoir de meilleurs scores que les garçons à l'épreuve de lecture 1 et ont de meilleurs scores que les garçons à l'épreuve d'interférence 4.

2.1.2.1.2 Mémoire de travail

L'épreuve des blocs de Corsi a été développée dans les années 70 afin de mesurer les capacités de mémoire des régions dites « droites » du cerveau (Corsi, 1973). Il s'agit d'une tâche d'empan visuo-spatial dans laquelle le participant a pour consigne de retenir l'ordre de présentation de localisations dans l'espace. En se référant au modèle de Baddeley & Hitch (1974), la tâche de rappel des localisations dans le même ordre que celui dans lequel elles ont été préalablement présentées permettrait de mesurer la MCT non verbale : le calepin visuo-spatial. Leur rappel dans l'ordre inverse à l'ordre de présentation, lui, nécessiterait la mise en jeu de l'administrateur central, composante active du modèle de MDT (Garon et al., 2008). La tâche d'empan envers mesurerait donc la MDT visuo-spatiale. La nature des processus mis en jeu dans la tâche des blocs de Corsi a largement été critiquée (rappel de séquences de mouvements et de localisation de cubes), de même que la séparation des processus verbaux et non-verbaux peut être discutée (voir Berch, Krikorian, & Huha, 1998). Toutefois, l'épreuve des blocs de Corsi est aujourd'hui largement utilisée pour rendre compte de la MDT visuo-spatiale et ce même chez l'enfant et à partir de 3 ans (De Agostini et al., 1996).

Le matériel des blocs de Corsi se présente sous la forme d'une planche de 255 mm x 205 mm sur laquelle sont arrangés de manière asymétrique 9 cubes de 30 mm de côté identiques. Les cubes ne pouvaient se distinguer les uns des autres que par leur position sur la planche. Ce design favorise l'utilisation du calepin visuo-spatial pour retrouver les cubes dans l'espace. Le matériel est ludique et attrayant pour les enfants, du moins davantage que celui des épreuves classiques d'empan de lettres ou de chiffres. Nous pensons que ce matériel facilitera l'adhésion des enfants aux épreuves. Nous avons construit notre planche des cubes de Corsi d'après les plans existants (Fournier & Albaret, 2013; Kessels et al., 2000) à partir d'une structure en bois que nous avons peinte (voir figure 22).

Le test se déroule sous forme d'entretien individuel. L'expérimentateur dispose d'une numérotation sur les cubes (visible que de son côté) afin de proposer exactement les mêmes séquences de mouvements à chaque participant (voir figure 23). L'expérimentateur pointe du doigt des cubes dans un certain ordre à une vitesse d'environ un cube par seconde au participant qui a pour consigne de les remontrer ensuite avec son doigt dans le même ordre que celui dans lequel l'expérimentateur les lui a présentés (empan endroit pour la première partie du test) ou dans l'ordre inverse de l'ordre de présentation (empan envers pour la seconde partie du test). Pour chaque partie du test, l'expérimentateur commence par un exemple pour vérifier la bonne compréhension de la consigne. Le test commence avec deux items (montrer deux cubes). Si le participant réussit, une nouvelle séquence est montrée et contient un cube supplémentaire. Si le participant échoue, une nouvelle séquence avec le même nombre de cubes est montrée. Après deux échecs successifs sur un

même nombre de cubes, le test s'arrête et est attribué un score correspondant au plus grand nombre de cubes correctement rappelés à l'endroit (empan endroit) et à l'envers (empan envers).

Les blocs de Corsi ont des normes qui s'étalent sur une perspective life-span facilitant les comparaisons. Une norme française récente a été réalisée à partir des données de 456 enfants typiques âgés de 6 à 12 ans issus de milieux urbains et ruraux des régions Midi-Pyrénées et Auvergne (Fournier & Albaret, 2013).

Figure 22

Photographie du matériel que nous avons construit pour l'épreuve de mémoire de travail (vue du participant)

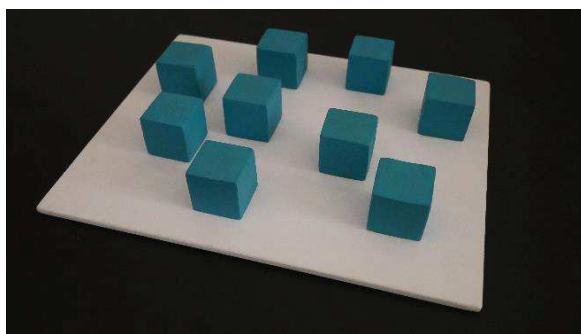
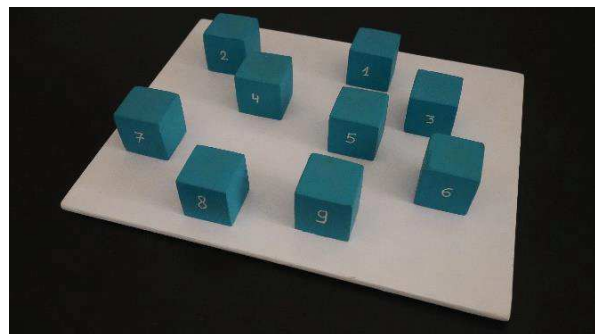


Figure 23

Photographie du matériel que nous avons construit pour l'épreuve de mémoire de travail (vue de l'expérimentateur)



2.1.2.1.3 Flexibilité mentale

Le WCST est un test psychométrique d'usage dans l'examen des FE chez l'adulte et chez l'enfant dès 7ans environ (après 6 ou 8 ans selon les versions et les normes utilisées). Le WCST a initialement été développé pour apprécier la capacité à conceptualiser des catégories abstraites et à changer de conceptualisation abstraite en fonction de feedbacks (Grant & Berg, 1948). Comme nous l'avons mentionné dans la partie théorique dédiée aux FE, le WCST est constitué de tâches complexes et la littérature scientifique s'est largement questionnée sur la nature de ce que mesurait le WCST, le test permettait-il vraiment d'évaluer la flexibilité mentale ? En effet, la complexité des tâches pourrait impliquer à la fois les processus inhibiteurs, de MDT et de flexibilité. Toutefois, les travaux factoriels menés dans les années 2000 ont permis de mettre en avant que le WCST était bien lié à la flexibilité mentale et que des modèles plus complexes supposant l'implication de l'inhibition ou de la MDT échouaient à expliquer les scores obtenus au test (Miyake et al., 2000).

Une version française du WCST est disponible et étalonnée auprès d'une population d'enfants dès l'âge de 8 ans et d'adultes (Heaton et al., 2007). Le matériel est composé de quatre cartes de référence (carte 1 : un triangle rouge, carte 2 : deux étoiles vertes, carte 3 : trois croix jaunes et carte 4 : quatre ronds bleus) en fonction desquelles chacune des cartes d'un set de 128 cartes doit être appariée (voir figure 24). Chaque carte du set peut être rangée de trois façons différentes : en fonction de la couleur

des items, de leur forme ou de leur nombre (e.g., voir figure 25). Les participants ont pour consigne de ranger chacune des cartes du set sous la carte de référence qui lui correspond. Il est précisé que les cartes du set peuvent être rangées de différentes manières et que le participant doit deviner quelle est la « bonne » façon de ranger les cartes. L'expérimentateur ne dévoile pas la manière d'apparier les cartes attendue (par couleur, par forme ou par nombre). Pour que le participant puisse déduire la bonne manière d'apparier les cartes, après chaque carte rangée, l'expérimentateur donne un feedback positif ou négatif : « oui, c'est correct » ou « non, c'est incorrect ». Après 10 cartes correctement rangées de manière consécutive selon le premier critère d'appariement du test, le participant a rempli une catégorie. L'expérimentateur change alors de critère d'appariement et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les cartes du set aient été rangées.

Figure 24

Photographie du matériel utilisé pour l'épreuve de flexibilité mentale

En haut, les quatre cartes de référence alignées ; en bas, le tas de 64 cartes à ranger

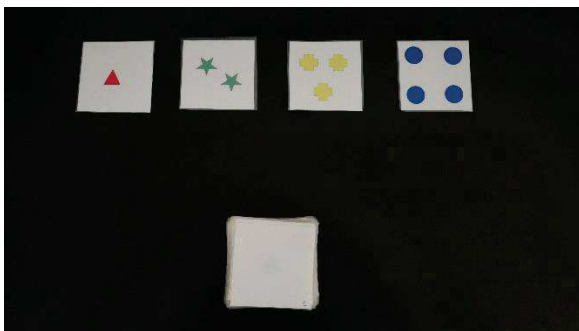
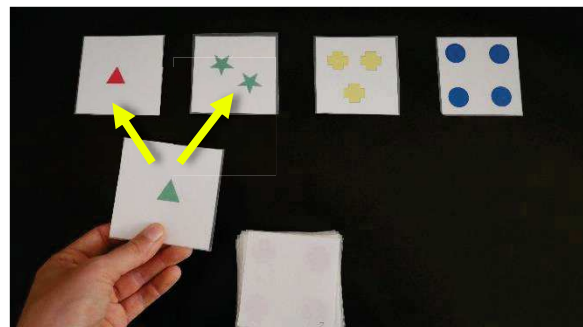


Figure 25

Photographie du matériel utilisé pour l'épreuve de flexibilité mentale

Tirage de la carte 1 par le participant (un triangle vert). Elle peut être rangée sous la carte de référence 1 (un triangle rouge) pour sa forme (triangle) ou le nombre d'item(s) (un) ou sous la carte de référence 2 (deux étoiles vertes) pour sa couleur (vert)



L'expérimentateur a à sa disposition un livret de passation individuel dans lequel il cote les réponses correctes et le(s) critère(s) d'appariement de chaque carte avec la carte de référence choisie. A partir de ces données, le WCST permet de calculer différents scores : le nombre de cartes correctement rangées et le nombre de cartes non correctement rangées que l'on appelle les erreurs. Le test permet de différencier les réponses persévératives des réponses non persévératives. Une persévération est définie comme le fait de continuer à ranger les cartes selon un critère d'appariement non correct malgré un feedback négatif à propos de cette manière d'apparier les cartes. Ainsi, on peut différencier les erreurs de hasard imputables à de l'inattention ou à la recherche d'un critère d'appariement des erreurs persévératives qui relèvent d'un défaut de flexibilité à changer de critère d'appariement des cartes. On retrouve surtout ce type d'erreur au moment où l'on change de critère d'appariement. Le WCST permet de vérifier le défaut de maintien en mémoire du critère d'appariement pertinent via le

nombre d'échec dans le maintien d'une stratégie. On parle d'échec de maintien de stratégie dès lors que le participant parvient à ranger correctement au moins 5 cartes consécutives sans parvenir à en ranger correctement 10 de manière consécutive (i.e., remplir une catégorie). Pour ranger les cartes, le participant doit être en mesure d'abstraire les catégories de rangement (i.e., apparier selon la forme, la couleur ou le nombre d'items). Le test propose donc un score d'élaboration conceptuelle correspondant au nombre de cartes correctement rangées dès lors qu'elles sont arrangées en une suite d'au moins 3 cartes correctement rangées de manière consécutive. Le test comptabilise aussi le nombre de catégories réalisées qui correspond au nombre de suites de 10 cartes correctement rangées de manière consécutive. Dans le cadre de cette thèse, nous avons exploité le nombre de réponses persévératives puisque ce score correspond au manque de flexibilité mentale et donc rigoureusement l'inverse de la FE de base d'intérêt : plus le participant fait preuve de flexibilité, moins il fera d'erreurs persévératives (Miyake et al., 2000).

La passation du WCST est de 45 minutes dans sa forme entière. Compte-tenu du caractère cognitivement coûteux de l'examen des FE pour les participants et que ces mesures sont ici au nombre de trois, nous avons préféré opter pour une version abrégée du test. La contrainte de durée d'examen du WCST n'est pas nouvelle et elle a été rapportée par de nombreux cliniciens et chercheurs qui pointaient que le test pouvait épuiser l'attention des participants. Ainsi, une forme courte du test est disponible avec seulement 64 cartes à ranger : le WCST-64. Le test ainsi réduit de moitié ne nécessite plus que 10 à 15 minutes de passation. Des données normatives pour cette version du test sont disponibles et tirées de celles de la version originale (Davis, 2011) et des normes ont été proposées pour les enfants typiques de 6 à 17 ans (Kongs et al., 2000), mais, à ce jour, nous ne disposons pas encore de norme française pour cette version du test. Des travaux comparatifs ont été menés chez l'enfant âgé de 7 à 15 ans et ont montré une forte corrélation entre les scores bruts obtenus au WCST et au WCST-64. Cependant, la conversion des scores bruts du WCST-64 en notes standard du WCST entraînait une augmentation de la note standard et donc un biais interprétatif au moment de comparer les résultats aux normes du WCST (Smith-Seemiller et al., 2001). Il existe un besoin de développer des normes spécifiques au WCST-64 (Davis et al., 2011; MacAllister et al., 2018). Nous avons choisi d'utiliser le WCST-64 pour évaluer la flexibilité mentale des participants.

2.1.2.2 Mesurer les habitudes d'activité physique

Cette étude s'intéresse aux dimensions de l'AP habituelle des enfants qui pourraient être liées à l'efficacité de leurs FE. Nous avons choisi un outil capable de rendre compte de différentes dimensions de l'AP, acceptable et accessible à la population étudiée et répondant aux contraintes de notre méthode d'investigation. Le format de questionnaire d'AP auto-rapporté est un excellent candidat. En effet, cet outil est capable de recueillir à la fois des données sur la nature des AP habituelles, leur

fréquence de pratique, leur durée moyenne, leur intensité et les moments auxquels elles sont pratiquées (Guinhouya, 2013). Aussi, il permet de recueillir un nombre important de données en peu de temps et la passation peut se faire en classe entière sur une durée relativement courte. Les questionnaires s'avèrent particulièrement faciles d'utilisation, mais aussi soumis aux biais des mesures subjectives (e.g., désirabilité sociale, capacités cognitives...) et nous devons en tenir compte lors de l'interprétation des résultats de l'étude (Guinhouya, 2013).

A notre connaissance, très peu de questionnaires d'AP ont été validés en langue française et encore moins en population pédiatrique. Un article de revue critique des questionnaires d'AP administrés en population française n'a pu recenser qu'un seul questionnaire à destination d'enfants de 6 à 10 ans : le Questionnaire de Mesure de l'Activité Physique chez l'Enfant (QAPE) (Tessier et al., 2007) et sa validation était incomplète (Vuillemin, 2011). Ce questionnaire s'avère toutefois intéressant dans son architecture : le questionnaire peut être auto-administré et passé en classe et propose un découpage des AP suivant le moment de la journée (AP à l'école, en dehors de l'école et autres AP) ce qui peut favoriser les réminiscences des AP pratiquées au cours des 7 derniers jours (Tessier et al., 2007). Un découpage similaire est proposé dans des questionnaires connus et validés auprès de populations pédiatriques comme le Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-OC) (Crocker et al., 1997). La plupart des questionnaires d'AP à destination d'enfants se présentent sous forme de listes d'AP dans lesquelles les enfants peuvent cocher les AP pratiquées au cours des 7 derniers jours (Crocker et al., 1997; McCrorie et al., 2017). Bien que les listes puissent favoriser les réminiscences, elles peuvent aussi avoir tendance à entraîner des surestimations de la pratique d'AP (Sallis et al., 1996). En effet, la présentation de listes pourrait accentuer la sensibilité aux artefacts de questionnement : les participants n'ignorent pas le but du questionnaire et proposer des listes pourraient favoriser la tendance à répondre de manière à être vu sous un jour favorable (Crowne & Marlowe, 1960; Schwarz & Sudman, 1996) et donc à cocher davantage d'AP qu'ils n'en ont effectivement pratiquées. En ce sens, nous avons proposé un questionnaire favorisant les réminiscences et minimisant les exagérations possibles en proposant un questionnaire découpé en « moments de la « semaine » et demandant aux participants de reporter pour chaque « moment de la semaine » les AP qu'ils avaient pratiquées.

Le questionnaire que nous avons utilisé (voir annexe 4) est une adaptation du questionnaire rétrospectif sur les habitudes d'AP qui a été utilisé dans les travaux de recherche autour du GDVB (Cousson-Gélie et al., 2019; Gurlan et al., 2015). Le questionnaire est découpé en cinq parties faisant référence à différents « moments de la semaine » durant lesquels les enfants ont pu être actifs physiquement : durant des temps consacrés à des AP sportives en club ou en association (leçons, entraînements ou compétitions) (e.g., judo, cirque ou natation), pendant la récréation, pendant la

pause méridienne à l'école (e.g., jeu de l'épervier, jeu de la tomate ou faire la course), pendant les temps de loisir (i.e., le temps libre) (e.g., faire du vélo, jouer à la balle dans le parc ou randonner en famille) et lors d'activités de la vie quotidienne (e.g., ranger sa chambre, aller acheter le pain à pied ou aller à l'école à trottinette). Dans chacune des parties, les participants renseignent un tableau dans lequel il leur est demandé de préciser le nom, la fréquence et la durée moyenne des AP pratiquées au cours des 7 derniers jours (voir figure 26). A partir de ces informations, il nous est possible de calculer la durée totale d'AP par semaine et d'en déduire l'intensité de pratique grâce à des compendiums d'AP de l'enfant qui renseignent les METs liés à un large panel d'AP (Butte et al., 2018; Ridley et al., 2008).

Figure 26

Capture de la section « mon activité physique de loisir » du questionnaire d'activité physique adapté pour ce travail doctoral. Les participants renseignent le nom des activités physiques de loisir dans lesquelles ils se sont engagés au cours des sept derniers jours et précisent la fréquence et la durée moyenne de leur engagement dans chaque activité

4. MON ACTIVITE PHYSIQUE DE LOISIR

Au cours des 7 derniers jours, as-tu joué à des **jeux qui t'ont fait bouger, transpirer et avoir le cœur qui bat vite pendant ton temps libre** ?

OUI
 NON

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 4.

Nom de l'activité	Nombre de fois pendant ton temps libre au cours des 7 derniers jours	Durée d'une fois

Renseigner un questionnaire d'AP n'est pas une activité habituelle pour les enfants, elle exige alors un coût cognitif certain, de plus, son caractère rétrospectif nécessite la mise en jeu du système mnésique. Le format questionnaire est adapté aux passations en classe entière, mais la présence d'adultes pour guider l'activité semble nécessaire (Tessier et al., 2007). Pour faciliter cette tâche et maintenir les enfants attentifs, la présence d'au moins deux « animateurs » est préférable avec un animateur chargé d'animer et d'expliquer le remplissage du questionnaire tout au long de l'activité et un animateur chargé de vérifier que tous les enfants parviennent à renseigner le questionnaire convenablement. Le deuxième animateur peut venir en aide aux élèves en difficulté. Des exemples fictifs sont donnés à l'aide d'activités non-réalisables ou inventées (e.g., club de vol en jetpack, jeu de « Karabiskabou » à la récréation) afin de ne pas influencer les réminiscences. La présence d'animateurs

permet de pallier à d'éventuels biais dus à la compréhension du français écrit et d'introduire les notions relativement abstraites du questionnaire : la fréquence est envisagée comme le « nombre de fois » depuis tel jour (7 jours avant la passation) où les participants se sont engagés dans telle ou telle AP et la durée est envisagée comme le « temps que l'AP dure en général ». Des indications de durée sont données pour aider les enfants à s'orienter dans le temps (e.g., la récréation dure XX minutes, la pause de midi dure XX minutes). Lors de la saisie du questionnaire, nous avons apparié chaque AP renseignée à l'intensité en METs qui lui est associée dans le compendium des dépenses énergétiques des activités adaptés aux enfants (Butte et al., 2018; Ridley et al., 2008).

2.1.2.3 Contrôles

L'efficacité des participants aux tests neuropsychologiques peut varier suivant la latéralité manuelle, l'âge ou le genre (Seron & Van der Linden, 2014). Nous prendrons en compte ces variables dans le traitement statistique des données. Les outils utilisés nécessitaient que la vision et l'ouïe des participants soient efficaces. En ce sens, les enfants porteurs d'un trouble de la vision ou de l'ouïe pouvaient participer s'ils disposaient d'une compensation adaptée à leurs besoins pour pouvoir participer dans de bonnes conditions.

La présence de troubles affectant la cognition peut affecter l'efficacité des participants aux tâches proposées. En ce sens, nous avons précisé dans la lettre d'information aux parents de ne pas autoriser leur enfant à participer s'il était porteur de trouble neurodéveloppemental (e.g., trouble du spectre de l'autisme, trouble des apprentissages, TDA-H, trouble d'acquisition des coordinations), ou de pathologie congénitale ou acquise ayant porté atteinte à ses capacités cognitives (e.g., neurofibromatose, méningite, encéphalite, épilepsie). Aussi, comme certaines tâches nécessitent une bonne perception des couleurs (i.e., test de Stroop) et une certaine maîtrise de la coordination visuomotrice (i.e., blocs de Corsi et WCST), un enfant porteur de trouble de la perception des couleurs (e.g., dyschromatopsie) ou de trouble affectant ou limitant les performances de motricité fine (e.g., trouble d'acquisition des coordinations, handicap moteur) ne pouvait pas participer à l'étude. Nous n'avons pas été en mesure de récolter de données quant à la catégorie socio-professionnelle des parents ou la qualité de l'environnement de vie, variables pourtant liées aux FE, il s'agit d'une limite de notre étude et nous resteront prudents sur la généralisation de nos résultats.

Comme l'AP est une variable primordiale de nos analyses, nous n'avons pas pu inclure de participant présentant des contre-indications à la pratique d'AP en raison de maladie (e.g., maladie cardiaque, respiratoire) ou une incapacité transitoire ou durable (e.g., jambe cassée, trouble sévère de la vision ne pouvant pas être compensé par le port de lunettes).

La motivation est une variable clé des résultats aux mesures psychométriques (Seron & Van der Linden, 2014), alors, avant de débiter la procédure expérimentale, nous avons systématiquement pris une à deux minutes pour échanger informellement avec chaque participant (i.e., se présenter, demander ce que l'enfant était en train de faire en classe, quelle était sa matière préférée, s'il avait envie de faire quelques « jeux qui font réfléchir » avec nous...) et nous nous sommes assurés que chacun d'eux était bien volontaire et motivé à participer.

2.1.3 Procédure

2.1.3.1 Recueil des données

Les expérimentateurs étaient au nombre de deux et l'expérimentation se déroulait en deux étapes : une étape de recueil des données liées à l'AP en classe entière et une étape de mesure des FE en entretien individuel. Les expérimentateurs se rendaient d'abord dans la salle de classe et étaient introduits par l'enseignant référent. Les expérimentateurs se présentaient succinctement et l'expérimentateur 1 présentait l'étude et expliquait que nous avions besoin de la participation des élèves dans cette entreprise. Il expliquait aussi que seuls les élèves autorisés par leurs parents pouvaient participer et que cette participation restait volontaire et que, s'ils n'avaient pas envie, ils n'étaient pas obligés de participer.

Le questionnaire d'AP était ensuite distribué et l'expérimentateur animait la passation qui se faisait selon le rythme de la classe. Il expliquait aux enfants que leur participation était anonyme (que leur nom ne figurait nulle part et que personne ne saura qui a répondu) alors ils pouvaient répondre sincèrement et sans crainte. Il leur précisait que toute réponse était bonne du moment que c'était vrai, que tout ce qui nous intéressait était d'en savoir plus sur ce que les enfants avaient l'habitude de faire. Après avoir défini l'AP, l'expérimentateur 1 lisait chaque item et ses modalités de réponse et donnait des indications de remplissage du questionnaire. L'expérimentateur 2 se déplaçait dans la salle de classe pour aider les élèves en difficulté en prenant garde de ne pas influencer les réponses. Cette première étape d'expérimentation durait 30 minutes (+/- 10 minutes selon le niveau de la classe). A l'issue du remplissage du questionnaire, les élèves étaient félicités pour leur sérieux et remerciés de leur participation.

La seconde étape d'expérimentation se passait sous forme d'entretiens individuels d'une vingtaine de minutes pour mesurer les FE des participants. Les deux expérimentateurs s'installaient à deux extrémités d'une grande salle silencieuse et bien éclairée près de la salle de classe. La porte de cette salle restait entrouverte. L'ordre de passation des tâches était fixé pour chaque participant. En entrant dans la salle, l'enfant était invité à s'asseoir face à l'expérimentateur 1 pour la passation du test de Stroop puis des blocs de Corsi. L'enfant allait ensuite vers l'expérimentateur 2 pour passer le WCST.

Au moment où le premier participant commençait le WCST avec l'expérimentateur 2, l'expérimentateur 1 recevait un nouveau participant. Avant chaque tâche, les consignes de passation étaient données et un exemple était proposé pour vérifier que les participants avaient bien compris ce qui leur était demandé. Les enfants étaient remerciés et félicités après chaque tâche. La mesure des FE durait 20 minutes environ pour chaque participant.

2.1.3.2 Plan d'analyses des données

Les statistiques descriptives (indices de premier et de second ordre) de cette étude ont été calculées à l'aide du logiciel SPSS version 21 (SPSS Inc., Chicago IL). Nous avons vérifié la présence de données aberrantes (i.e., observations situées à plus de 2,2 ET de Q3) (Hoaglin & Iglewicz, 1987) et testé la normalité de la distribution des variables d'intérêt à l'aide du test Kolmogorov-Smirnov (KS) dont H0 est l'hypothèse de normalité et H1 l'hypothèse de non-normalité. Les distributions étaient très largement distribuées de manière non-normale. Nous avons donc fait appel à des tests basés sur les rangs.

Pour répondre aux objectifs 1 et 2 de cette étude sur les effets du niveau scolaire et du genre sur les variables liées aux FE et à la pratique d'AP, nous avons utilisé des tests non-paramétriques de comparaisons basées sur les rangs pour des échantillons indépendants disponibles dans SPSS 21. Plus précisément, nous avons fait appel au test H de Kruskal et Wallis pour les comparaisons selon le niveau scolaire (CE2, CM1 et CM2) puisque ce test permet de comparer plus de deux groupes. H0 est l'hypothèse d'une distribution identique des rangs relatifs de la VD dans chacune des modalités de la VI. Si les résultats au test étaient significatifs, des observations par paires étaient menées à l'aide du test post-hoc de Dunn et Bonferroni. Une différence significative à ce test post-hoc montre que la distribution des rangs moyens diffère entre les paires testées. Nous avons fait appel au test U de Mann et Whitney (pour échantillons indépendants) pour les comparaisons selon le genre (fille, garçon) puisque ce test permet de comparer deux groupes ici indépendants. H0 est l'hypothèse d'une distribution identique des rangs relatifs de la VD dans chacune des modalités de la VI. Un résultat significatif indique que la distribution des rangs moyens diffère statistiquement entre les groupes étudiés.

Pour répondre à l'objectif 3 de cette étude sur le lien entre AP et FE, nous avons envisagé l'effet de l'AP sur chacune des FE de base prises isolément puis nous avons étudié l'effet de l'AP sur les FE de base en tant que construit unitaire. Nous avons étudié l'effet de l'AP sur les FE de base prises indépendamment via des modèles de régression linéaire multiple pour chacune des FE de base via SPSS 21. Compte-tenu du caractère exploratoire de ces travaux, nous avons exploré les liens corrélationnels entre les dimensions de l'AP (fréquence, intensité moyenne et durée) de différentes

opportunités de pratique et l'efficacité des FE de base afin de repérer les variables à intégrer dans les modèles. Pour repérer ces variables, nous avons procédé à des analyses de corrélations simples non-paramétriques : corrélations de Spearman. Puis, comme la littérature montre que les FE et l'AP sont liées au niveau scolaire et au genre, nous avons mené des analyses de corrélations partielles en contrôlant ces variables. Ces analyses permettent de considérer dans quelle mesure les variables de contrôle influencent les liens observés dans les corrélations simples (e.g., aucune influence, minimisent ou exacerbent la force d'un lien). Seules les sous-dimensions testées par les corrélations partielles significativement liées aux FE de base ont été prises en compte dans les modèles de régression linéaire.

Pour chacun des modèles de régression linéaire multiple, nous avons entré toutes les variables explicatives repérées (variables liées à la pratique d'AP, niveau scolaire et genre) et avons procédé à une méthode d'analyse descendante permettant d'éliminer les variables qui ne contribuent pas significativement à l'amélioration du coefficient de détermination R^2 , indicateur de la qualité du modèle prédictif. Cette méthode est intéressante dans le cadre des travaux exploratoires puisqu'elle combine toutes les variables dans l'analyse avant d'en éliminer et permet donc de limiter les erreurs de type II que l'on rencontrerait ici en utilisant une méthode ascendante. Nous avons considéré la colinéarité de nos variables entre elles et avons étudié les résidus de nos modèles afin de décider de la pertinence de l'analyse de chacun d'eux (Franzosi, 1994). Ainsi, pour chaque modèle, nous avons considéré l'absence de multicollinéarité (Variance inflation factor (VIF) au plus proche de 1 et < 10), l'absence d'observation exacerbant l'estimation des paramètres (distance de Cook < 1) (Cook & Weisberg, 1982), la non corrélation entre les valeurs résiduelles via la statistique de Durbin Watson au plus proche de la valeur 2, la normalité de la distribution des résidus via le test KS et le diagnostic des valeurs extrêmes tel qu'aucune valeur Z des résidus n'excède la valeur $|3,29|$, 1% n'excède pas la valeur $|2,58|$ et 5% n'excède pas la valeur $|1,96|$. Les modèles n'étaient analysés que sous condition de vérification de toutes ces conditions.

Nous avons étudié l'effet de l'AP sur les FE de base comme construit latent à l'aide du logiciel AMOS 21 (SmallWaters Corp., Chicago IL). Nous avons testé un modèle hypothétique d'équations structurelles et estimé ses paramètres avec la méthode de maximum de vraisemblance qui est adaptée en cas de données manquantes lorsqu'elles ne sont pas dépendantes d'autres variables, i.e., lorsque leur absence est imputable au hasard ou complètement au hasard (Collins et al., 2001). L'ajustement du modèle a été apprécié via des indices absolus, relatifs et de parcimonie. Parmi les indices absolus, le Chi2 d'ajustement du modèle a pour H_0 un modèle ajusté. Un autre indice absolu, l'indice Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) est un indice de mauvais ajustement du modèle. Il est souhaitable qu'il soit au plus proche de 0. Un modèle dont $RMSEA < ,05$ est correct et $< ,08$

acceptable. L'indice relatif Comparative Fit Index (CFI) est une actualisation du Normed Fit Index (NFI) mais peu sensible à la taille d'échantillon, il est pertinent de l'utiliser compte tenu de la taille relativement petite de notre échantillon pour l'usage de ce type d'analyses statistiques. Le CFI doit satisfaire une valeur $> ,90$ pour un modèle suffisamment ajusté. Enfin, la parcimonie du modèle peut être évaluée à l'aide du rapport entre divergence minimum divisée par son degré de liberté que l'on note $CMIN/df$. Ce rapport est < 3 dans des modèles parcimonieux et < 1 dans d'excellents modèles. Afin de contrôler l'effet du niveau scolaire et du genre, ces variables ont été considérées comme des prédicteurs des construits d'AP et de FE de base.

2.1.4 Hypothèses

2.1.4.1 *Objectif 1 : Etudier les effets du niveau scolaire sur l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire*

- ❖ Hypothèse théorique 1 : Nous nous attendons à observer une augmentation de l'efficacité des FE de base avec l'avancée en niveau scolaire des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1a* : Nous nous attendons à observer une augmentation significative du score 4 du test de Stroop avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1b* : Nous nous attendons à observer une augmentation de l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1c* : Nous nous attendons à observer une diminution du nombre d'erreurs persévératives au WCST avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.

2.1.4.2 *Objectif 2 : Etudier les effets du niveau scolaire et du genre sur la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire*

- ❖ Hypothèse théorique 2 : Nous nous attendons à ce que la pratique d'AP soit de moins en moins importante avec l'avancée du niveau scolaire des participants sauf pour l'intensité des activités pour laquelle nous nous attendons à une augmentation avec l'avancée du niveau scolaire des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 2a* : Nous nous attendons à ce que la fréquence de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP diminue significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.

- *Hypothèse opérationnelle 2b* : Nous nous attendons à ce que l'intensité moyenne de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP augmente significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
- *Hypothèse opérationnelle 2c* : Nous nous attendons à ce que la durée de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP diminue significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
- ❖ Hypothèse théorique 3 : Nous nous attendons à ce que les filles tendent à être généralement moins actives physiquement que les garçons.
 - *Hypothèse opérationnelle 3a* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une fréquence de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 3b* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une intensité moyenne de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 3c* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une durée de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.

2.1.4.3 *Objectif 3 : Identifier les dimensions de la pratique d'AP habituelle liées à l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire*

- ❖ Hypothèse théorique 4 : Nous nous attendons à ce que les dimensions de l'AP favorisent l'efficacité de chacune des FE de base
 - *Hypothèse opérationnelle 4a* : Nous nous attendons à ce que les dimensions de la pratique d'AP déclarée dans le questionnaire d'AP soient significativement, positivement et faiblement corrélées au score 4 du test de Stroop et à l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi et qu'elles soient significativement, négativement et faiblement corrélées au nombre d'erreurs persévératives au WCST.
 - *Hypothèse opérationnelle 4b* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédicteurs significatifs positifs faibles du score 4 du test de Stroop.
 - *Hypothèse opérationnelle 4c* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédicteurs significatifs positifs faibles de l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi.

- *Hypothèse opérationnelle 4d* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédicteurs significatifs négatifs faibles du nombre d'erreurs persévératives au WCST.
- ❖ Hypothèse théorique 5 : Nous nous attendons à ce que les dimensions de l'AP favorisent l'efficacité des FE de base envisagées comme construit unitaire.
 - *Hypothèse opérationnelle 5a* : Nous nous attendons à ce que le score 4 au test de Stroop et l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi soient significativement, positivement et fortement expliqué par un construit latent des FE et que ce construit explique significativement, négativement et fortement le nombre d'erreurs persévératives au WCST.
 - *Hypothèse opérationnelle 5b* : Nous nous attendons à ce que le construit latent de l'AP explique significativement, positivement et fortement la fréquence et la durée de pratique d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 5c* : Nous nous attendons à ce que l'AP prédise significativement positivement et faiblement l'efficacité des FE de base envisagées comme construit latent.

2.2 Résultats

2.2.1 Caractéristiques de l'échantillon

Les participants étaient des élèves issus d'écoles publiques volontaires pour participer de la ville de Montpellier. Sur les 57 écoles élémentaires de la ville, 3 ont répondu positivement à notre appel à participation et 8 classes ont participé à l'étude. Le taux de participation des élèves des classes volontaires était de plus de 90% (i.e., 2 refus parental par classe en moyenne). Nous avons pu recueillir les données de N = 169 participants d'un âge moyen de 9,97 ans (ET = 0,90, min = 8,40, max = 12,46), dont 89% de droitiers (voir tableau 3).

Tableau 3

Caractéristiques des participants de l'étude 1

Classe	Age moyen (écart-type)	Nombre de participants	Nombre de filles
CE2	8,94 (,39)	53	25
CM1	10,03 (,39)	65	28
CM2	11,01 (,37)	51	25

2.2.2 Analyses préliminaires

2.2.2.1 Description des scores au test de Stroop

Nous avons des données valides pour 166 participants (98% de l'échantillon) pour le test de Stroop. La figure 27 résume le score (i.e., nombre de réponse des participants) aux quatre tâches du test. Nous remarquons visuellement que plus nous avançons dans le test, plus le score diminuait.

A la première tâche (lecture 1), les participants parvenaient à lire en moyenne 81.20 (ET = 13,05) mots de la carte A et faisaient en moyenne 1,09 (ET = 1,47) erreurs et/ou hésitations. Le test de normalité de distribution de Kolmogorov-Smirnov (H0 est ici l'hypothèse de normalité et H1 l'hypothèse de non-normalité) indiquait que le score 1 (i.e., nombre de bonnes réponses à la tâche de lecture 1) ne se distribuait pas normalement $D(166) = ,08$, $p = ,02$. Des indices de rang étaient donc plus à même de rendre compte des résultats : Q1 = 72, Q2 = 80, Q3 = 93 (min = 45, max = 100) et l'étendue interquartiles (EI) = 21.

A la deuxième tâche (lecture 2), les participants parvenaient à lire en moyenne 73 (ET = 13,94) mots de la carte B et faisaient en moyenne 1,55 (ET = 2,13) erreurs et/ou hésitations. Le KS indiquait que le score 2 se distribuait normalement $D(166) = ,039$, $p = ,20$.

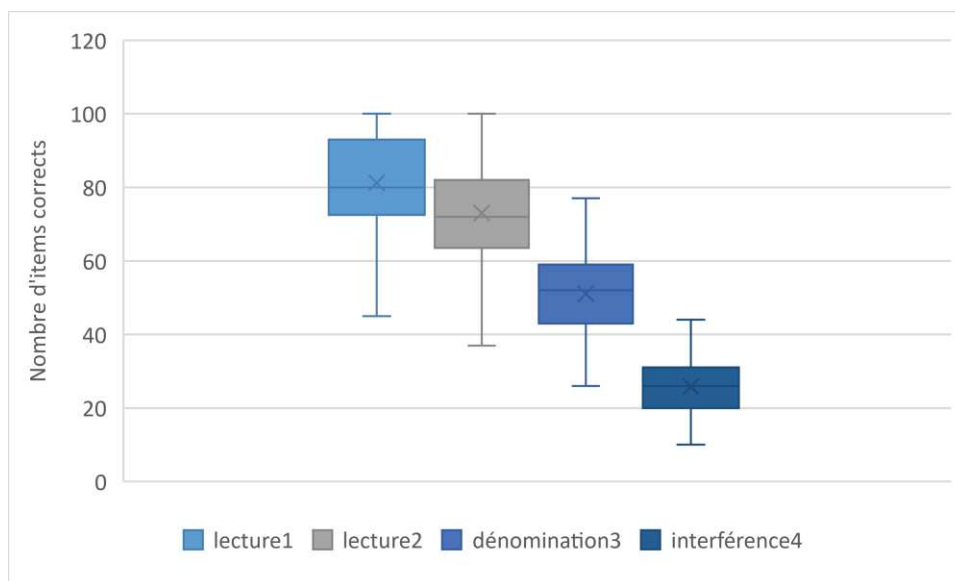
A la troisième tâche (dénomination 3), les participants parvenaient à dénommer en moyenne 51,10 (ET = 10,38) couleurs de rectangles de la carte C et faisaient en moyenne 3,9 (ET = 2,82) erreurs et/ou hésitations. Le KS indiquait que le score 3 ne se distribuait pas normalement $D(166) = ,075, p = ,05$. Des indices de rang étaient donc plus à même de rendre compte des résultats : $Q1 = 43, Q2 = 52, Q3 = 59$ (min = 26, max = 77)

A la quatrième tâche (interférence 4), les participants parvenaient à dénommer en moyenne 25,80 (ET = 7,58) couleurs de l'encre des mots de la carte B et faisaient en moyenne 6,11 (ET = 3,73) erreurs et/ou hésitations. Le KS indiquait que le score 4 se distribuait normalement $D(166) = ,055, p = ,20$.

Le score d'interférence du test de Stroop est la différence entre le score 3 et le score 4. Le score d'interférence de nos participants était en moyenne de 25,30 (ET = 8,78, min = 5, max = 52). Le KS indiquait que le score d'interférence se distribuait normalement $D(166) = ,055, p = ,20$.

Figure 27

Boîte de Tukey résumant la distribution du nombre d'items correctement traités en 45 secondes en fonction de la tâche : lecture 1 (lecture de noms de couleur écrits en noir), lecture 2 (lecture de noms de couleur écrits en couleur), dénomination 3 (dénomination de la couleur de rectangles colorés) et interférence 4 (dénomination de la couleur de l'encre avec laquelle sont écrits des noms de couleur). La moyenne est représentée par une croix à l'intérieur des boîtes



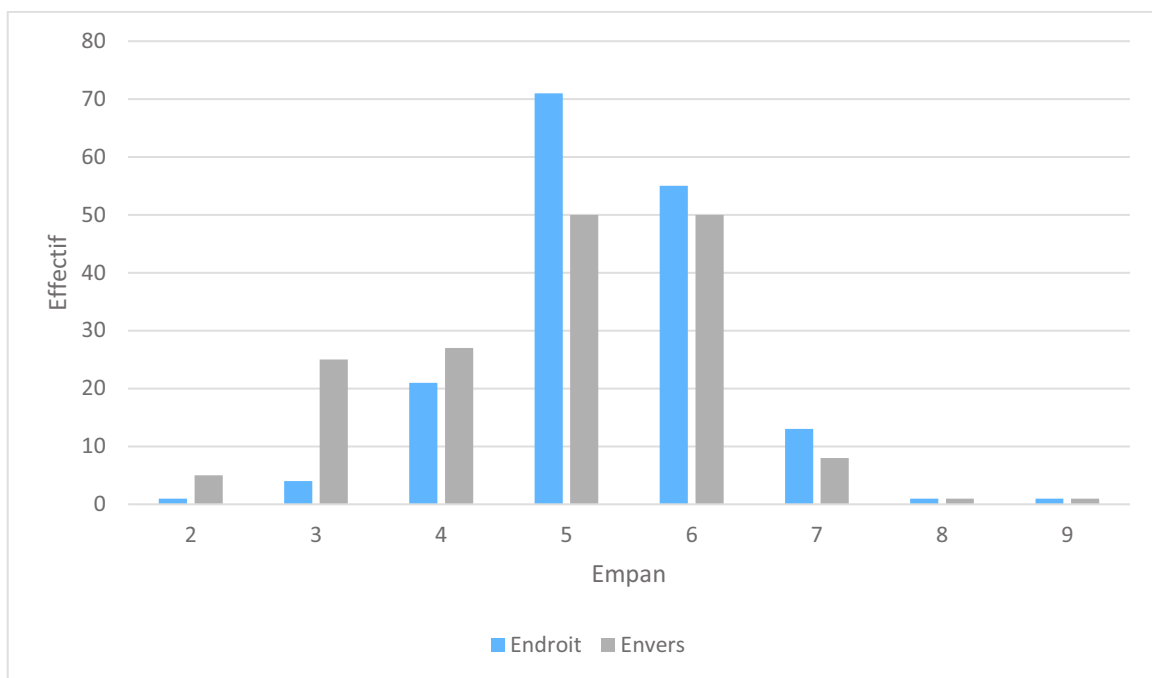
2.2.2.2 Description des scores à la tâche des blocs de Corsi

Nous avons pu recueillir des données valides pour 167 participants (98,8% de l'échantillon) pour les blocs de Corsi. Pour rappel, la première étape du test était une mesure d'empan endroit, soit une mesure de la capacité du registre passif de la MDT (rétention en MCT) : ici le calepin visuo-spatial et la deuxième étape était la mesure de la capacité de la MDT visuo-spatiale à proprement parler, soit un empan envers qui nécessite de retenir en mémoire et de manipuler les informations pour donner une réponse.

Pour la MCT et la MDT visuo-spatiale, le KS indiquait une distribution non-normale des variables, respectivement $D(167) = ,215, p < ,001$ et $D(167) = ,194, p < ,001$. Nous avons donc résumé les données (voir figure 28) par des indices de rang. La distribution de l'empan endroit avait pour valeur $Q1 =$ médiane $= 5, Q3 = 6$ et $EI = 1$. La distribution de l'empan envers avait pour valeur $Q1 = 4, médiane = 5, Q3 = 6$ et $EI = 2$.

Figure 28

Distribution en effectif du nombre maximal de cubes correctement rappelés dans l'ordre de présentation (empan endroit) et dans l'ordre inverse à l'ordre de présentation (empan envers) à l'épreuve des blocs de Corsi



2.2.2.3 Description des scores au test des cartes du Wisconsin-64

Nous avons pu recueillir des données valides pour 165 participants (97,6% de l'échantillon) pour le WCST. Le rangement des 64 cartes nous a permis de déterminer des scores moyens. Les tests KS menés pour la distribution de chacun des scores avaient un résultat significatif : les scores ne se distribuaient pas normalement et nous avons résumé les données par des indices de rang (voir tableau 4).

Tableau 4

Résumé de la distribution des scores des participants au WCST-64 en indices de rang

	Nombre de bonnes réponses	Nombre d'erreurs persévératives	Nombre d'erreurs non persévératives	Nombre de réponses conceptuelles	Nombre de catégories réalisées	Nombre d'échecs dans le maintien d'une stratégie
Minimum	20	3	1	13	0	0
Q1	47	6	4	40	3	0
Q2	50	7	6	45	4	0
Q3	54	11	8	50	4	1
Maximum	59	25	23	57	5	3
Espace interquartiles	7	5	4	10	1	1

2.2.2.4 Description de la pratique d'activité physique

Nous avons pu recueillir des données valides pour 164 participants (97,0% de l'échantillon) pour le questionnaire d'AP. Ce questionnaire auto-rapporté renseigne sur la forme, la nature, la fréquence, l'intensité, la durée et le volume d'AP au cours des 7 jours précédant le remplissage du questionnaire. Les données relatives aux réponses des participants au questionnaire d'AP sont résumées dans les paragraphes qui suivent. Les variables quantitatives ne sont pas distribuées normalement (résultats aux tests KS significatifs), elles sont donc résumées ici par des indices de rang.

AP sportive : 97 participants (soit 58,4% de l'échantillon valide) ont déclaré avoir pratiqué de l'AP sportive au cours des sept jours ayant précédé la passation du questionnaire et 69 participants (41,6%) ont déclaré ne pas en avoir pratiqué. La majorité des participants (84,5%) ayant pratiqué de l'AP sportive, en ont pratiqué une seule et une minorité (15,5%) en ont pratiqué deux différentes. Les AP sportives les plus mentionnées sont le football (32 occurrences), les arts martiaux (21 occurrences) et la natation (18 occurrences). De plus, 87,5% des AP sportives déclarées par les participants sont des AP d'intensité vigoureuse (> 6 Mets) et 12,5% d'entre elles des AP d'intensité modérée (3 à 6 Mets). L'intensité moyenne des AP sportives déclarées est de 8,62 Mets. La durée médiane d'AP sportives hebdomadaires rapportées est de 150 minutes (EI = 124) (voir figure 29).

AP pendant la récréation : 149 participants (soit 89,8% de l'échantillon valide) ont déclaré s'être engagé dans des AP durant les moments de récréation au cours des sept jours ayant précédé la passation du questionnaire et 17 (10,2%) ont déclaré ne pas en avoir pratiqué. Parmi les participants

ayant été actifs physiquement pendant la récréation, 68,5% d'entre eux se sont engagés dans plusieurs AP différentes tout au long de leur semaine d'école :

- 66 participants ont déclaré s'être engagé dans deux AP différentes
- 27 participants ont déclaré s'être engagé dans trois AP différentes
- 6 participants ont déclaré s'être engagé dans quatre AP différentes
- 3 participants ont déclaré s'être engagé dans six AP différentes

Les AP les plus rapportées par les participants sont des jeux collectifs d'extérieur non structurés typiques des cours de récréation comme les jeux de poursuite (jeu du « loup » et ses nombreuses variantes) (136 occurrences) et les jeux collectifs de balle au pied (« jouer au foot ») ou à la main (« jouer au ballon prisonnier » ou « jouer au basket ») (108 occurrences). De plus, 63,5% des AP de la récréation déclarées sont des AP d'intensité modérée et 36,5% d'entre elles des AP d'intensité vigoureuse. L'intensité moyenne des AP pratiquées lors de la récréation déclarées est de 5,98 Mets. La durée médiane d'AP hebdomadaires lors de la récréation est de 95,5 minutes (EI = 54) (voir figure 29).

AP pendant la pause méridienne : 119 participants (soit 71,7% de l'échantillon valide) ont déclaré s'être engagés dans des AP durant les temps de pause méridienne au cours des sept jours ayant précédé la passation du questionnaire et 47 participants (28,3%) ont déclaré ne pas en avoir pratiqué. Parmi les participants ayant été actifs physiquement pendant la pause méridienne, 38,7% se sont engagés dans plusieurs AP différentes (2 à 3 activités). Les AP déclarées sont de même nature que les AP déclarées avoir été pratiquées durant la récréation (majoritairement des jeux de poursuite avec 59 occurrences et des jeux de balle avec 84 occurrences). De plus, 53,2% des AP de la pause de midi déclarées sont des AP d'intensité vigoureuse et 46,8% d'entre elles des AP d'intensité modérée. L'intensité moyenne des AP pratiquées lors de la pause méridiennes déclarées est de 6,79 Mets. La durée médiane d'AP hebdomadaires lors de la pause méridienne rapportées est de 127,5 minutes (EI = 165) (voir figure 29).

AP de loisir : 119 participants (soit 71,7% de l'échantillon valide) ont déclaré s'être engagés dans des AP de loisir au cours des sept jours ayant précédé la passation du questionnaire et 47 participants (28,3%) ont déclaré ne pas en avoir pratiqué. Parmi les participants ayant déclaré s'être engagés dans des AP de loisir, 37,8% se sont engagés dans deux AP différentes, 19,3% dans trois AP différentes et 9,2% dans quatre AP différentes. Seuls quatre participants ont pratiqué cinq à six AP différentes. Les AP de loisir les plus largement mentionnées sont des jeux d'extérieur : jeux de poursuite (59 occurrences) et jeux de balle (56 occurrences). Les participants rapportent aussi s'engager surtout dans

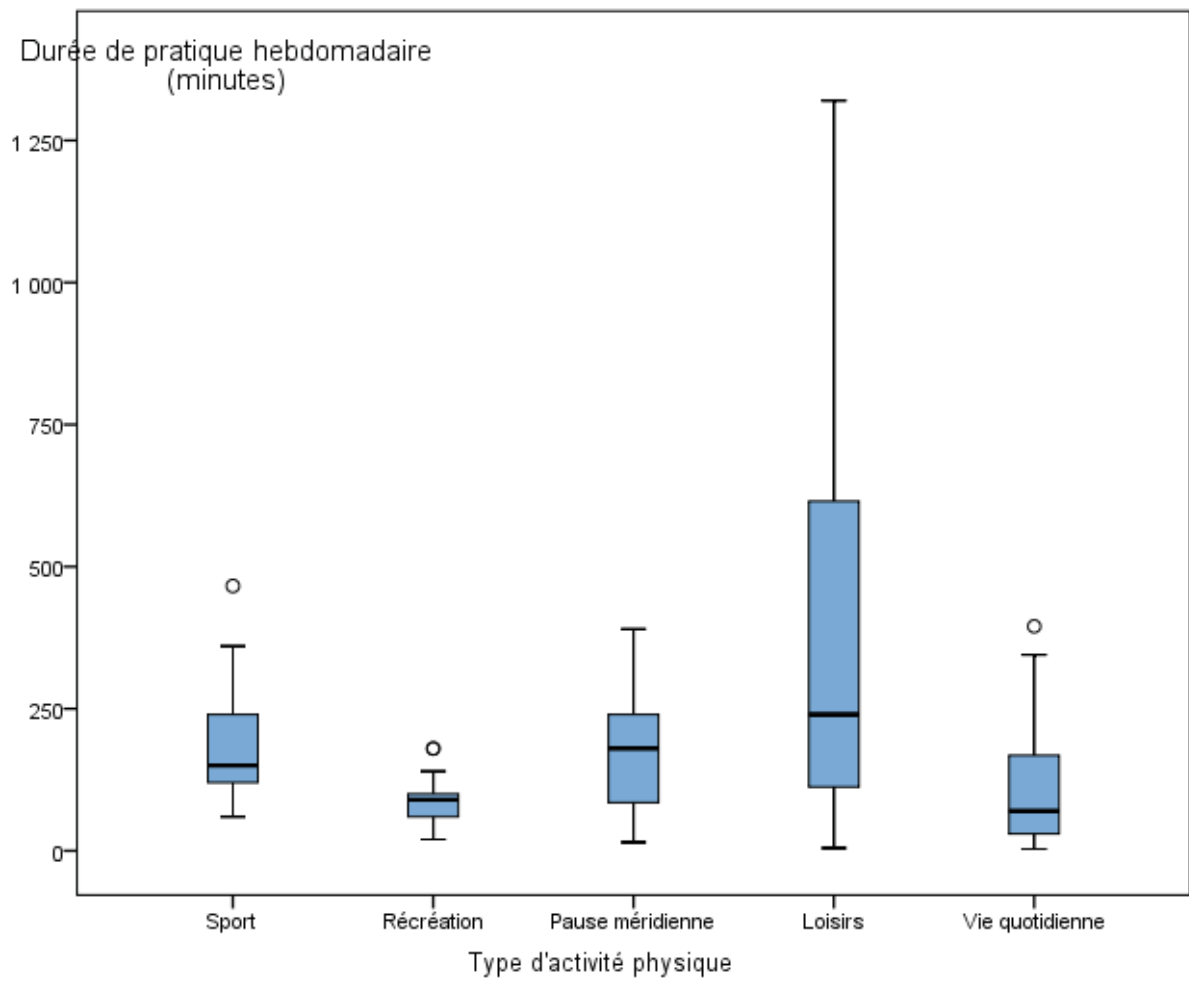
des AP de loisir de cyclisme (39 occurrences), de glisse (rollers, skate-board, trottinette, patin à glace) (31 occurrences) et de course à pied (26 occurrences). De plus, 54,2% des AP de loisir déclarées sont des AP d'intensité vigoureuse et 45,8% d'entre elles des AP d'intensité modérée. L'intensité moyenne des AP de loisir déclarées est de 6,11 Mets. La durée médiane d'AP de loisir hebdomadaire rapportée est de 240 minutes (EI = 480) (voir figure 29).

AP de la vie quotidienne : 152 participants (soit 91,5% de l'échantillon valide) ont déclaré s'être engagés dans des AP de la vie quotidienne au cours des sept jours ayant précédé la passation du questionnaire et 15 participants (9%) ont déclaré ne pas en avoir pratiqué. Parmi les participants ayant déclaré s'être engagés dans des AP relatives à la vie quotidienne, 60% se sont engagés dans plusieurs AP de la vie quotidienne différentes et plus de la moitié des participants (50,7%) dans deux à trois AP de la vie quotidienne différentes. Les AP de la vie quotidienne les plus rapportées sont des activités de déplacements actifs (198 occurrences dont 188 occurrences pour des déplacements à pied) et de rangement et de nettoyage du lieu de vie (94 occurrences). 94,2% des AP de la vie quotidienne déclarées sont des AP d'intensité modérée et 5,8% d'entre elles des AP d'intensité vigoureuse. L'intensité moyenne des AP de la vie quotidienne déclarées est de 3,80 Mets. La durée médiane d'AP de la vie quotidienne hebdomadaire f (EI = 134) (voir figure 29).

Les données liées à la durée et à l'intensité de pratique d'AP admettent quelques valeurs situées à plus de 1,5 EI de Q3. Toutefois, comme ces valeurs demeurent vraisemblables et qu'elles ne sont pas situées à plus de 2,2 EI de Q3, nous ne les avons pas considérées comme des valeurs aberrantes et elle ont été prises en compte dans les analyses (Hoaglin & Iglewicz, 1987). Au cours des sept derniers jours, la durée médiane d'AP des participants était de 555 min (EI = 613,5) d'AP. Ainsi, 64,6% des participants n'ont pas rejoint les recommandations de l'OMS en termes de pratique d'AP (i.e., 420 minutes d'AP modérée à vigoureuse par semaine).

Figure 29

Boîte de Tukey résumant la distribution de la durée de pratique d'activité physique hebdomadaire en fonction du type d'activité physique



2.2.3 Effet du niveau scolaire sur l'efficacité des fonctions exécutives

Objectif 1 : Etudier les effets du niveau scolaire sur l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire

- ❖ Hypothèse théorique 1 : Nous nous attendons à observer une augmentation de l'efficacité des FE de base avec l'avancée en niveau scolaire des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1a* : Nous nous attendons à observer une augmentation significative du score 4 du test de Stroop avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1b* : Nous nous attendons à observer une augmentation de l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 1c* : Nous nous attendons à observer une diminution du nombre d'erreurs persévératives au WCST avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.

Nous avons étudié l'efficacité des participants aux tests des FE en fonction de leur niveau scolaire (CE2, CM1 ou CM2). La plupart des dimensions étudiées ne suivaient pas la loi normale, nous avons donc utilisé le test H Kruskal et Wallis de comparaison de plusieurs groupes non appariés non-paramétriques. L'hypothèse H0 de ce test est la distribution identique des rangs relatifs aux mesures en lien avec les FE dans les différents regroupements par le niveau scolaire des participants. Si des différences significatives étaient repérées, nous poursuivions les analyses avec des test post-hoc de Dunn et Bonferroni.

2.2.3.1 Effet du niveau scolaire sur l'efficacité au test de Stroop

Les différents tests menés ont révélé des différences liées au niveau scolaire des participants aux scores obtenus aux différentes tâches du test de Stroop. Nous avons retrouvé des différences en fonction de la classe aux tâches de lecture 1 et de lecture 2, respectivement, $\chi^2(2) = 32,91, p < ,001$ et $\chi^2(2) = 31,70, p < ,001$. Les tests post-hoc ont révélé que les élèves de CE2 ($Mdn_{lecture\ 1} = 74, Mdn_{lecture\ 2} = 64,5$) lisaient moins de mots en 45 secondes que ceux de CM1 ($Mdn_{lecture\ 1} = 80, Mdn_{lecture\ 2} = 73$) et les élèves de CE2 et de CM1 lisaient moins de mots en 45 secondes que ceux de CM2 ($Mdn_{lecture\ 1} = 92, Mdn_{lecture\ 2} = 81$), $p < ,05$.

Les rangs des participants se distribuaient différemment selon le niveau scolaire à la tâche de dénomination 3 $\chi^2(2) = 19,02, p < ,001$. Les élèves de CE2 ($Mdn = 45$) dénommaient moins de couleurs en 45 secondes que les CM1 ($Mdn = 52$) et que les CM2 ($Mdn = 58$), $p < ,05$. Les CM1 avaient tendance

à dénommer moins de couleurs que les CM2, $p = ,09$. A la tâche d'interférence 4, des différences liées à la classe étaient observées $\chi^2(2) = 31,17, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 20,5) dénommaient moins de couleurs d'encre de mots en 45 secondes que les CM1 (Mdn = 26) et les CM2 (Mdn = 29,5), $p < ,05$. Les CM1 avaient tendance à dénommer moins de couleurs que les CM2, $p = ,08$ (voir figure 30). Le test H n'a pas identifié de différence significative entre les groupes pour le score d'interférence de Stroop.

Comme la littérature indiquait de potentielles différences liées au sexe, nous avons mené des tests de comparaison de groupe non-paramétriques : test U de Mann et Whitney. Nous avons retrouvé un effet du genre sur le score 4, $U = 2582,00, Z = -2,62, p = ,009, r = .20$ (r , la taille d'effet, est calculée comme suit : $r = Z/\sqrt{N}$). Les filles (Mdn = 28) avaient de meilleurs scores que les garçons (Mdn = 24). Un contrôle selon le genre a été fait pour les autres variables liées aux fonctions exécutives étudiées et n'ont pas indiqué d'autre différence.

2.2.3.2 Effet du niveau scolaire sur l'efficienc aux blocs de Corsi

Des différences en fonction du niveau scolaire dans la distribution de l'empan endroit ont été observées $\chi^2(2) = 18,79, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 5) avaient un empan endroit inférieur à celui de ceux de CM1 et de CM2 $p < ,05$. L'empan endroit des élèves de CM1 (Mdn = 6) et de CM2 (Mdn = 6) ne différaient pas statistiquement.

Des différences en fonction du niveau scolaire dans la distribution de l'empan envers sont observées $\chi^2(2) = 15,61, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 5, rang moyen = 64,68) avaient un empan envers inférieur à celui de ceux de CM1 (Mdn = 5, rang moyen = 86,98) et de CM2 (Mdn = 6, rang moyen = 100,67), $p < ,05$. L'empan envers des élèves de CM1 et celui des élèves de CM2 ne différaient pas statistiquement (voir figure 30).

2.2.3.3 Effet du niveau scolaire sur l'efficienc au test des cartes du Wisconsin

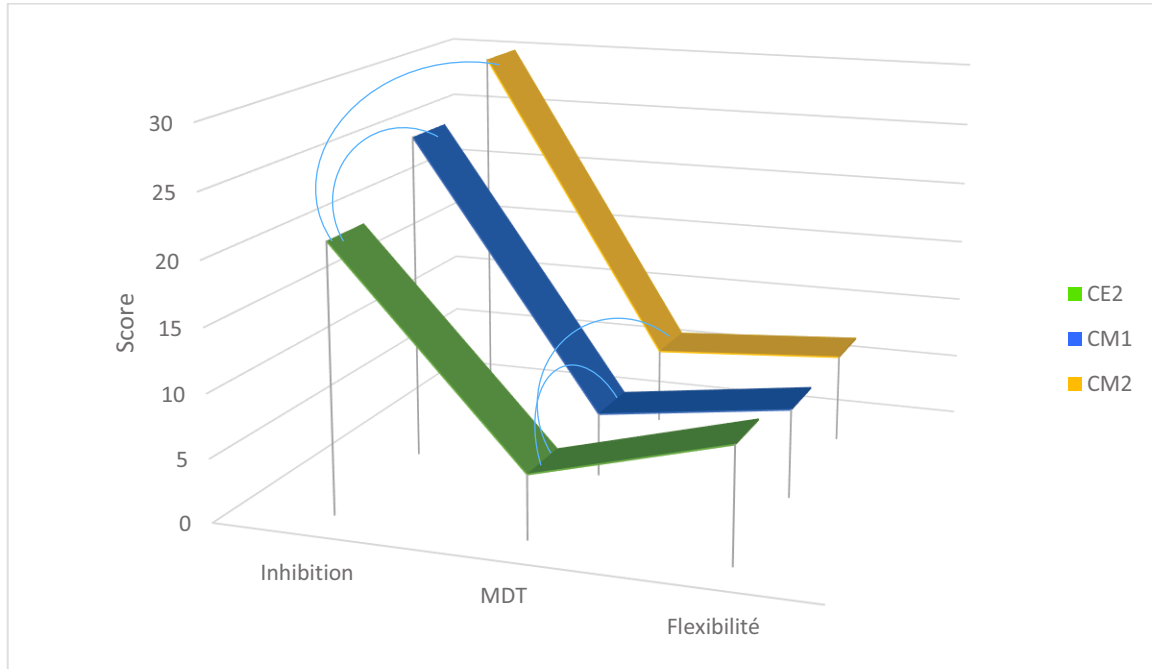
Le nombre de bonnes réponses données différait en fonction du niveau scolaire $\chi^2(2) = 15,47, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 47,5) donnaient moins de bonnes réponses que les élèves de CM1 (Mdn = 51) et de CM2 (Mdn = 51), $p < ,05$. Ces différences en fonctions de la classe s'observaient aussi sur le nombre de réponses conceptuelles données $\chi^2(2) = 11,04, p = ,002$, et le nombre de catégories de 10 cartes correctement rangées $\chi^2(2) = 9,16, p = ,01$. En effet, les élèves de CE2 rangeaient moins de cartes en suivant un concept (Mdn = 43) et réalisaient moins de catégories (Mdn = 3) que ceux de CM1 (Mdn_{concept} = 48, Mdn_{catégorie} = 4) et de CM2 (Mdn_{concept} = 47, Mdn_{catégorie} = 4), $p < ,05$. Les performances des CM1 et des CM2 ne différaient pas statistiquement selon ces variables.

Le nombre total d'erreurs commises par les participants différait selon leur classe $\chi^2(2) = 15,23, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 16,5) faisaient davantage d'erreurs que les élèves de CM1 (Mdn = 13) et de CM2 (Mdn = 13). Ces derniers faisaient statistiquement autant d'erreurs. Si nous poussons nos analyses, des patterns de résultats similaires peuvent être observés selon la nature des erreurs. Des différences liées à l'âge sont observées dans le nombre d'erreurs non persévératives commises $\chi^2(2) = 16,72, p < ,001$. Les élèves de CE2 (Mdn = 8) faisaient davantage d'erreurs non persévératives que les élèves de CM1 (Mdn = 5) et de CM2 (Mdn = 5). Ces derniers faisaient statistiquement autant d'erreurs non persévératives. Concernant les réponses et les erreurs persévératives, nous avons observé des différences tendancielle liées à la classe, respectivement, $\chi^2(2) = 5,17, p = ,075$ et $\chi^2(2) = 5,96, p = ,051$. Comme ces deux variables se recoupent presque parfaitement, nous n'avons traité statistiquement que les erreurs persévératives. Comme le niveau de significativité du résultat au test est de ,051, nous n'avons pas pu mener de test post-hoc. Toutefois, nous avons remarqué que les élèves de CE2 (Mdn = 9, rang moyen = 96,23) avaient tendance à faire davantage d'erreurs persévératives que ceux de CM1 (Mdn = 7, rang moyen = 75,96) et de CM2 (Mdn = 7, rang moyen = 78,15), qui eux, faisaient un nombre d'erreurs persévératives sensiblement similaire (voir figure 30).

Nous n'avons pas noté de différence liée à la classe quant au nombre de réponses produites pour parvenir à la première catégorie et pas non plus en termes d'échec dans le maintien d'une stratégie de rangement des cartes.

Figure 30

Distribution des médianes aux mesures des FE en fonction du niveau scolaire. L'inhibition est ici représentée par le nombre de bonnes réponses à l'épreuve d'interférence du test de Stroop. La MDT représentée par l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi. La flexibilité mentale est représentée par son inverse, soit le nombre d'erreurs persévératives au WCST. Les indices d'efficacité des fonctions exécutives qui diffèrent statistiquement selon le niveau scolaire sont représentés par des arcs de cercles entre les classes qui diffèrent



2.2.4 Effets du niveau scolaire et du genre sur la pratique d'AP

Objectif 2 : Etudier les effets de du niveau scolaire et du genre sur la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire

- ❖ Hypothèse théorique 2 : Nous nous attendons à ce que la pratique d'AP soit de moins en moins importante avec l'avancée du niveau scolaire des participants sauf pour l'intensité des activités pour laquelle nous nous attendons à une augmentation avec l'avancée du niveau scolaire des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 2a* : Nous nous attendons à ce que la fréquence de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP diminue significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
 - *Hypothèse opérationnelle 2b* : Nous nous attendons à ce que l'intensité moyenne de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP augmente significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.

- *Hypothèse opérationnelle 2c* : Nous nous attendons à ce que la durée de pratique d'AP rapportée dans le questionnaire d'AP diminue significativement avec l'augmentation du niveau scolaire (i.e., classe) des participants.
- ❖ Hypothèse théorique 3 : Nous nous attendons à ce que les filles tendent à être généralement moins actives physiquement que les garçons.
 - *Hypothèse opérationnelle 3a* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une fréquence de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 3b* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une intensité moyenne de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 3c* : Nous nous attendons à ce que les filles rapportent une durée de pratique d'AP significativement inférieure à celle des garçons dans le questionnaire d'AP.

2.2.4.1 Effet du niveau scolaire sur la pratique d'activité physique

Nous nous sommes intéressés à l'effet de l'âge sur la pratique d'AP de l'ensemble des participants. Compte tenu de la nature non-normale de nos distributions, nous avons utilisé le test de KS. L'hypothèse nulle de ce test est la distribution identique des rangs relatifs aux mesures en lien avec la pratique d'AP dans les différents regroupements par le niveau scolaire des participants. Les différences significatives repérées ont été analysées par des tests post-hoc de Dunn et Bonferroni.

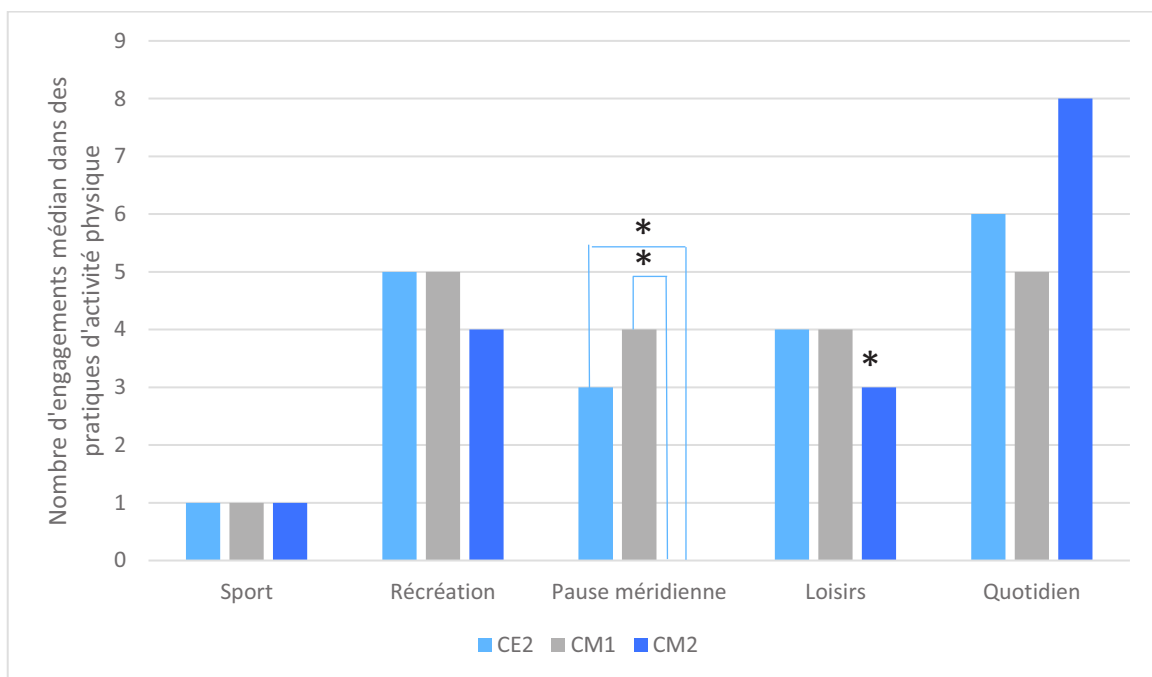
Les analyses menées sur les dimensions de pratique d'AP au cours de sept jours, indépendamment des différentes opportunités étudiées dans le questionnaire, n'ont pas montré de différence en fonction de l'âge des participants. Les participants de CE2, CM1 et CM2 déclaraient s'engager globalement dans des AP à des fréquences et durées similaires au cours d'une semaine. L'étude des différences de pratique d'AP en fonction de l'âge selon les opportunités de pratique d'AP a permis de repérer des patterns de stabilité et de changement en fonction du niveau scolaire.

Fréquence de pratique d'AP. Le nombre d'engagements dans des AP durant la récréation ne différait pas en fonction du niveau scolaire des participants. Des différences tendancielle dans le nombre d'engagements hebdomadaire dans des AP sportives et de la vie quotidienne ont été observées, respectivement $p = ,07$ et $p = ,07$. Des différences significatives dans le nombre d'engagements hebdomadaire dans des AP de la pause méridienne et des AP de loisir ont été observées, respectivement $X^2(2) = 21,69$, $p = ,000$ et $X^2(2) = 6,20$, $p = ,001$ (voir figure 31). Les analyses de comparaison par paires ont montré que les participants de CE2 (Mdn = 3) et de CM1 (Mdn = 4)

s'engageaient dans davantage d'AP durant les pauses méridiennes hebdomadaires que ceux de CM2 (Mdn = 4), respectivement $p = ,001$ et $p < ,001$. Toutefois, le nombre d'engagements hebdomadaires dans des AP lors des pauses méridiennes ne différait pas statistiquement entre les participants de CE2 et de CM1. Les participants de CM1 (Mdn = 4) s'engageaient dans davantage d'AP de loisir durant la semaine que les élèves de CM2 (Mdn = 3), $p = ,04$. Le nombre d'engagements dans des AP de loisir durant la semaine des élèves de CE2 (Mdn = 4) ne différait pas de celui de ceux de CM1 et de CM2.

Figure 31

Nombre d'engagements médian dans des pratiques d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour l'ensemble des participants



* différence significative au test post-hoc avec $p < ,05$.

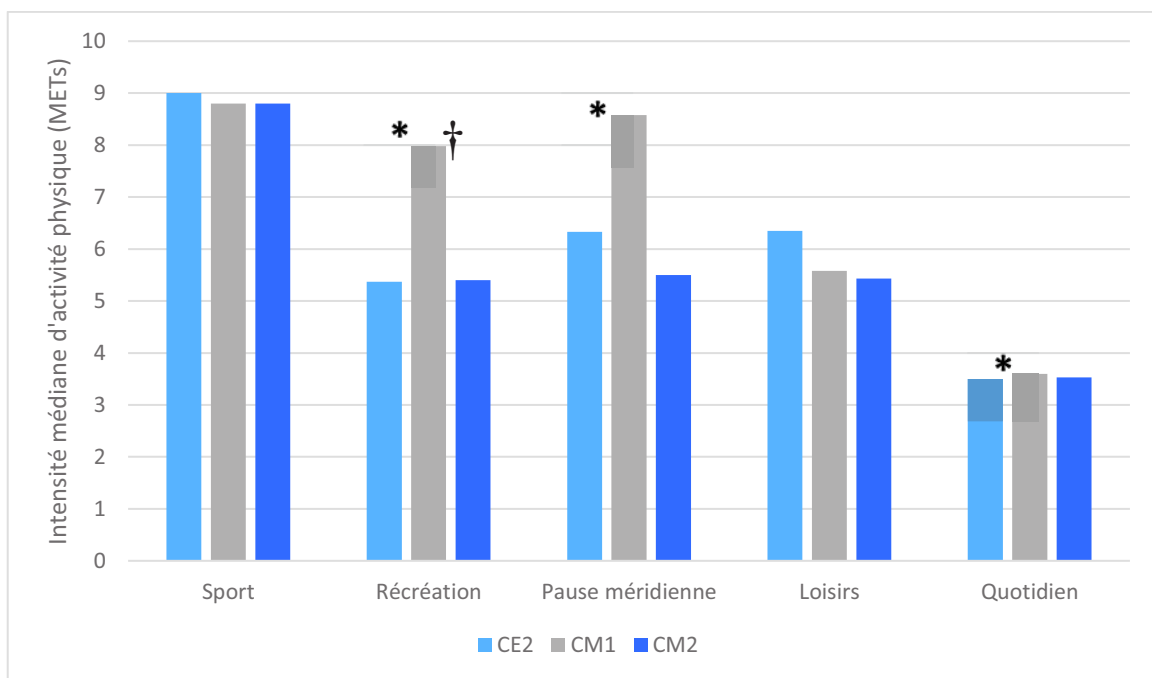
Intensité moyenne¹ de pratique d'AP. L'intensité de pratique d'AP sportives et de loisir était similaire entre les participants des différents niveaux scolaires, $p > ,15$. Cependant, elle différait selon le niveau scolaire pour la pratique d'AP durant la récréation, la pause méridienne et les AP de la vie quotidienne, respectivement, $\chi^2(2) = 11,54$, $p = ,003$, $\chi^2(2) = 9,77$, $p < ,01$ et $\chi^2(2) = 8,36$, $p = ,02$ (voir figure 32). Les analyses de comparaison par paires ont montré que les participants de CE2 (Mdn = 5,37) pratiquaient des AP en moyenne moins intenses que ceux de CM1 (Mdn = 7,97) lors des temps de récréation, $p = ,003$. Cependant, l'intensité moyenne d'AP pratiquée durant la récréation ne différait pas statistiquement entre les participants de CE2 et de CM2 (Mdn = 5,40) ni entre ceux de CM1 et de CM2 pour lesquels la différence n'est que tendancielle, $p = ,08$. Nous avons observé des patterns de

¹ L'intensité moyenne de pratique d'AP dans les différentes opportunités a été calculée avec les intensités de pratique des participants s'étant effectivement engagés dans ladite opportunité de pratique uniquement.

résultats similaires pour l'AP pratiquée lors des pauses méridiennes et des AP de la vie quotidienne de la semaine avec une intensité moyenne des participants de CE2 (Mdn_{pause méridienne} = 6,33 et Mdn_{vie quotidienne} = 3,50) significativement inférieure à celle des CM1 (Mdn_{pause méridienne} = 8,58 et Mdn_{vie quotidienne} = 3,60), respectivement $p = ,01$ et $p = ,01$; et une absence de différence significative entre les CE2 et les CM2 (Mdn_{pause méridienne} = 5,50 et Mdn_{vie quotidienne} = 3,53) et les CM1 et les CM2.

Figure 32

Intensité moyenne médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour les participants s'étant engagés dans des activités physiques

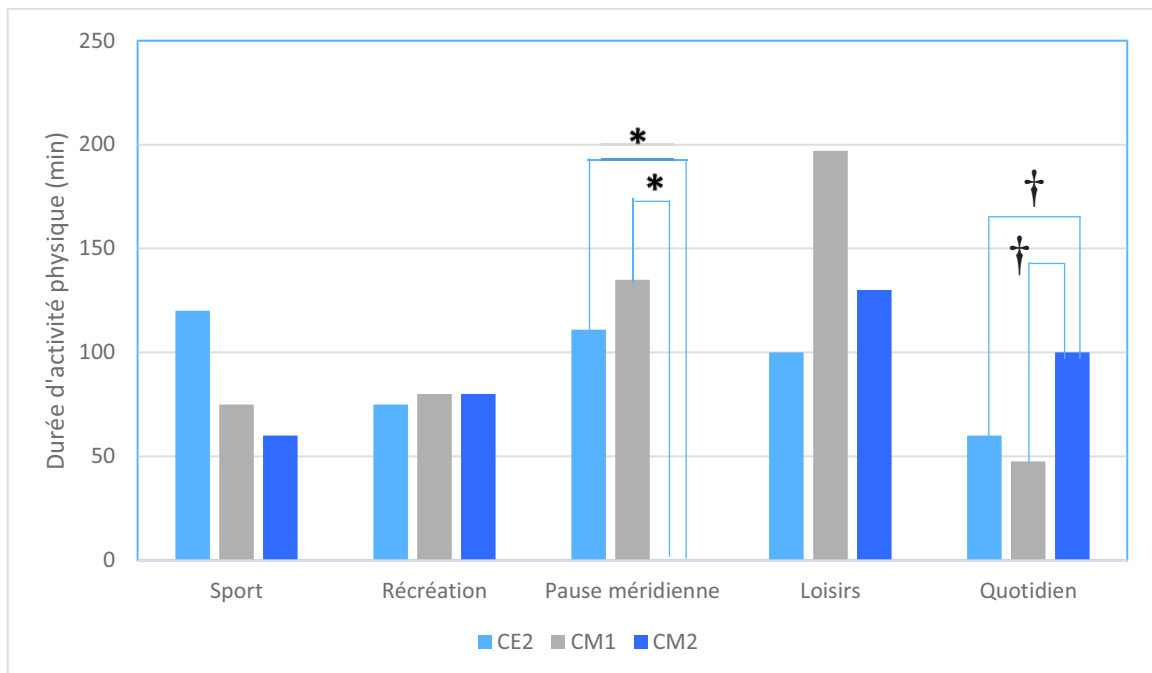


* différence significative au test post-hoc avec $p < ,05$; † différence tendancielle au test post-hoc avec $p < ,10$.

Durée de pratique d'AP. La durée de pratique d'AP hebdomadaire ne différait pas statistiquement en fonction du niveau scolaire pour les AP pratiquées lors de la récréation et les AP de loisir, $p > ,35$. Une différence tendancielle a été observée vis-à-vis de la durée de pratique d'AP sportive, $p = ,07$. Les résultats aux tests de comparaison ont révélé des différences selon le niveau scolaire dans la durée de pratique d'AP durant la pause méridienne et de la vie quotidienne, respectivement $X^2(2) = 18,81$, $p < ,001$ et $X^2(2) = 6,86$, $p = ,03$ (voir figure 33). Les participants de CE2 (Mdn = 111) et de CM1 (Mdn = 135) avaient une durée de pratique d'AP similaire durant la pause méridienne. Les participants de CE2 et de CM1 avaient une durée d'AP hebdomadaire supérieure à celle de ceux de CM2 (Mdn = 0), respectivement, $p = ,005$ et $p < ,001$. Nous observons le pattern inverse pour la pratique d'AP quotidienne hebdomadaire avec une durée de pratique d'AP des CM2 tendancielle supérieure à celle des CE2, $p = ,08$ et à celle des CM1, $p = ,06$.

Figure 33

Durée médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et de la classe des participants pour l'ensemble des participants



* différence significative au test post-hoc avec $p < ,05$; † différence tendancielle au test post-hoc avec $p < ,10$.

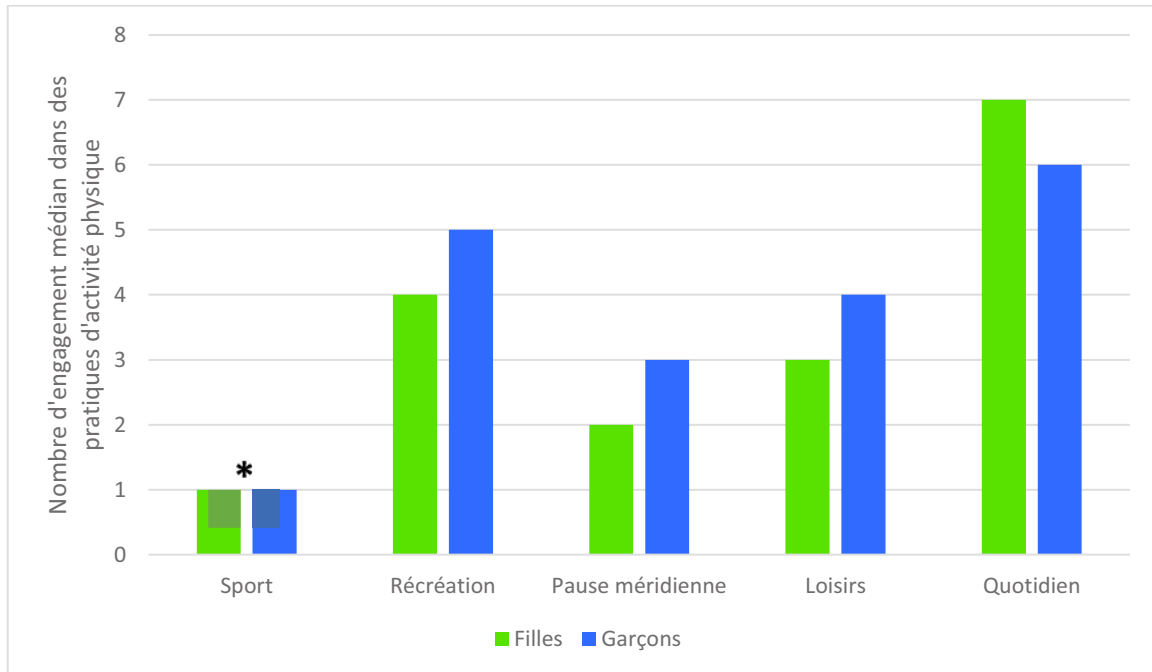
2.2.4.2 Effet du genre sur la pratique d'activité physique

Nous nous sommes intéressés à l'effet du genre sur la pratique d'AP de l'ensemble des participants. Compte-tenu de la distribution non-normale de nos variables, nous avons utilisé le test non paramétrique U de Mann et Whitney.

Fréquence de pratique d'AP. Les résultats aux tests n'ont pas permis de rejeter H_0 pour la fréquence d'engagement hebdomadaire dans une pratiques d'AP durant la récréation, la pause méridienne, les temps de loisir et lors de la vie quotidienne selon le genre des participants, $p > ,12$. Les résultats ont toutefois montré que les garçons (Mdn = 1, rang moyen = 89,27) s'engageaient significativement plus fréquemment que les filles (Mdn = 1, rang moyen = 73,68) dans des AP sportives, $Z = 2,21$, $p = ,03$ (voir figure 34).

Figure 34

Nombre d'engagements médian dans des pratiques d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour l'ensemble des participants

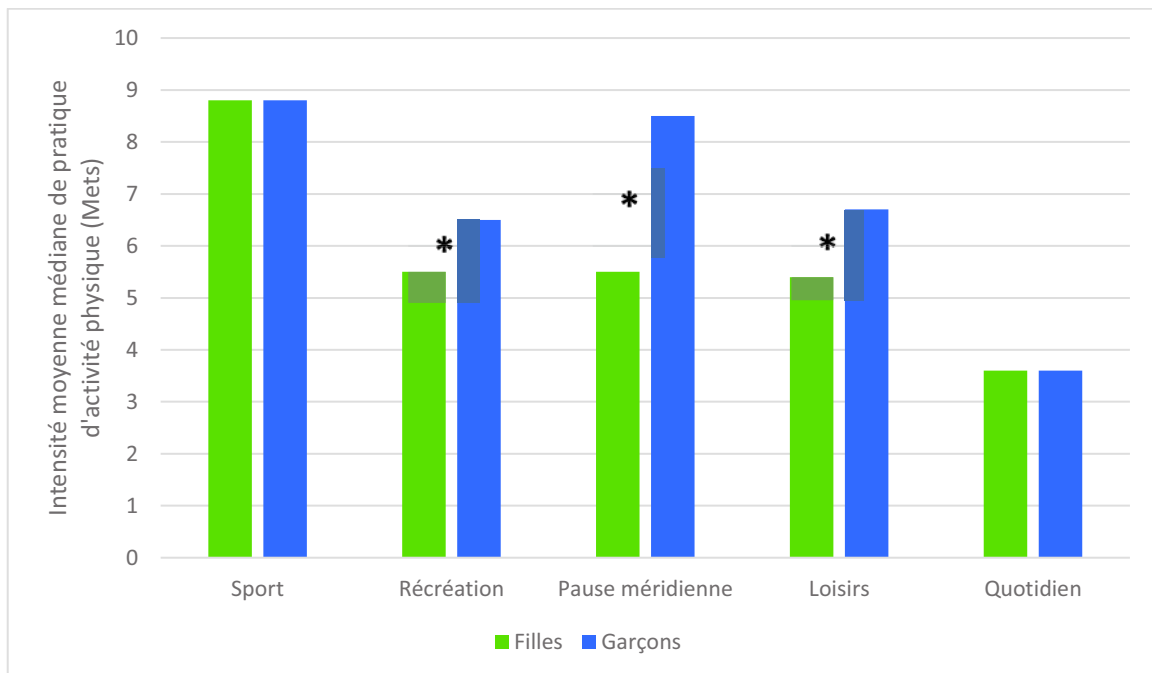


** différence significative au test post-hoc avec $p < ,05$; † différence tendancielle au test post-hoc avec $p < ,10$.*

Intensité moyenne de pratique d'AP. Les résultats aux tests de comparaison n'ont pas montré de différence d'intensité moyenne dans les pratiques d'AP sportives et de la vie quotidienne en fonction du genre des participants, $p > ,20$. Toutefois, des différences d'intensité moyenne d'AP en fonction du genre ont été observées pour les AP pratiquées durant la récréation, la pause méridienne et durant les temps de loisir, respectivement $Z = 3,17, p = ,002$; $Z = 4,56, p < ,001$ et $Z = 4,12, p < ,001$. La figure 35 montre que les garçons qui s'engageaient dans des AP durant la récréation, la pause méridienne et de loisir pratiquaient des AP en moyenne plus intense que celles pratiquées par les filles.

Figure 35

Intensité moyenne médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour les participants s'étant engagés dans des activités physiques

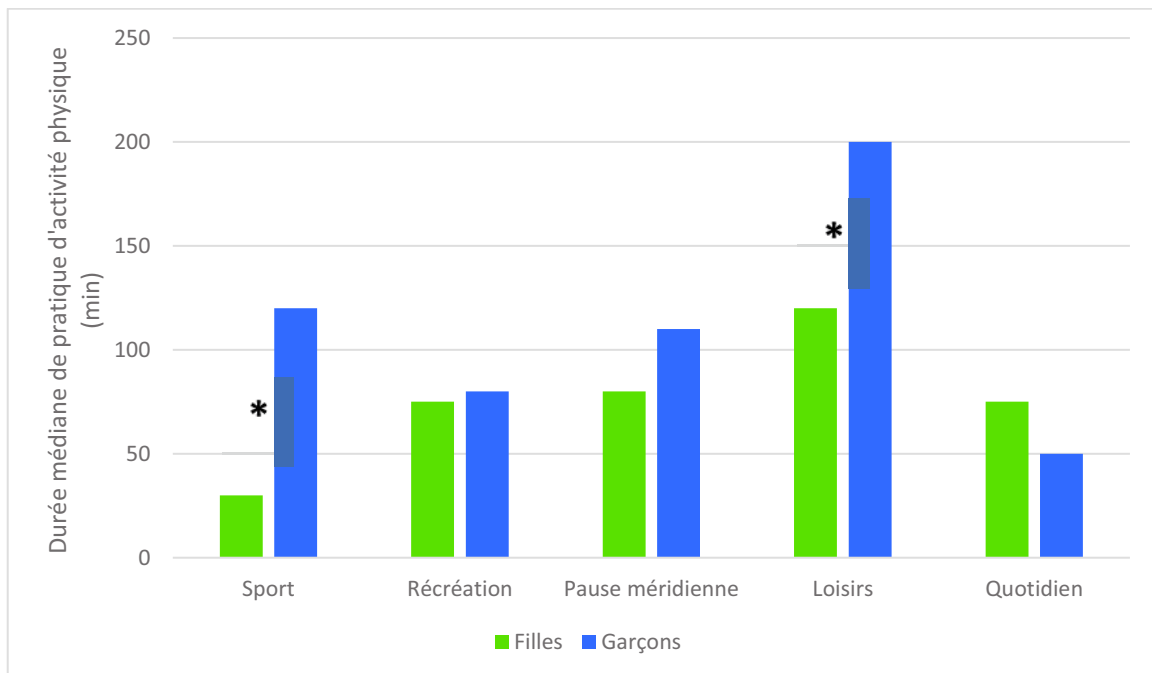


** , différence significative en fonction du genre.*

Durée de pratique d'AP. Les résultats aux tests de comparaison ont montré que la durée de pratique d'AP hebdomadaire lors des récréations, des pauses méridiennes et des activités du quotidien ne différait pas en fonction du genre, $p > ,11$. Cependant, comme le montre la figure 36, les durées de pratique hebdomadaires d'AP sportive et de loisir étaient plus importantes chez les garçons que chez les filles, respectivement $Z = 2,85$, $p = ,004$ et $Z = 2,40$, $p = ,02$. Aussi, la durée totale d'AP hebdomadaire est significativement plus importante chez les garçons (Mdn = 670) que chez les filles (Mdn = 462), $Z = 2,75$, $p = ,006$.

Figure 36

Durée médiane de pratique d'activité physique au cours de la semaine en fonction des opportunités de pratique d'activité physique et du genre pour l'ensemble des participants



** , différence significative en fonction du genre.*

2.2.5 Relation entre la pratique d'activité physique et l'efficacité des fonctions exécutives chez l'enfant d'âge scolaire

Objectif 3 : Identifier les dimensions de la pratique d'AP habituelle liées à l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire

- ❖ Hypothèse théorique 4 : Nous nous attendons à ce que les dimensions de l'AP favorisent l'efficacité de chacune des FE de base
 - *Hypothèse opérationnelle 4a* : Nous nous attendons à ce que les dimensions de la pratique d'AP déclarée dans le questionnaire d'AP soient significativement, positivement et faiblement corrélées au score 4 du test de Stroop et à l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi et qu'elles soient significativement, négativement et faiblement corrélées au nombre d'erreurs persévératives au WCST.
 - *Hypothèse opérationnelle 4b* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédictifs positifs faibles du score 4 du test de Stroop.

- *Hypothèse opérationnelle 4c* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédicteurs significatifs positifs faibles de l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi.
- *Hypothèse opérationnelle 4d* : Nous nous attendons à ce que la fréquence, l'intensité moyenne et la durée de pratique d'AP soient des prédicteurs significatifs négatifs faibles du nombre d'erreurs persévératives au WCST.
- ❖ Hypothèse théorique 5 : Nous nous attendons à ce que les dimensions de l'AP favorisent l'efficacité des FE de base envisagées comme construit unitaire.
 - *Hypothèse opérationnelle 5a* : Nous nous attendons à ce que le score 4 au test de Stroop et l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi soient significativement, positivement et fortement expliqué par un construit latent des FE et que ce construit explique significativement, négativement et fortement le nombre d'erreurs persévératives au WCST.
 - *Hypothèse opérationnelle 5b* : Nous nous attendons à ce que le construit latent de l'AP explique significativement, positivement et fortement la fréquence et la durée de pratique d'AP.
 - *Hypothèse opérationnelle 5c* : Nous nous attendons à ce que l'AP prédise significativement positivement et faiblement l'efficacité des FE de base envisagées comme construit latent.

Les liens étudiés entre la pratique d'AP et l'efficacité des FE de base ont été envisagés via des analyses de corrélations simples non-paramétriques dont les résultats sont présentés dans le tableau 5, puis par des analyses de corrélations partielles avec contrôle par la classe et le genre qui sont les variables liées aux variables étudiées dont les résultats sont présentés dans le tableau 6. Les analyses de corrélations bivariées de l'ensemble des variables étudiées sont disponibles en annexe 5. Des modèles de régressions linéaires construits à partir des résultats aux analyses corrélationnelles rendent compte du poids relatif de l'AP dans l'explication du niveau d'efficacité des FE de base étudiées (voir tableau 7). Enfin, un modèle explicatif de l'efficacité des fonctions exécutives de base en tant que construit latent unitaire par le niveau scolaire, le sexe et l'AP a été étudié (voir figure 37).

2.2.5.1 *Relations linéaires entre les différentes dimensions de la pratique d'activité physique et les trois différents construits des fonctions exécutives de base*

Fréquence de pratique d'AP et FE. Les résultats aux analyses de corrélations simples révélaient que le nombre d'engagement hebdomadaire dans des AP sportives et des AP durant la pause méridienne étaient significativement, négativement et faiblement liés au score à l'épreuve d'interférence du test

de Stroop. Le nombre d'AP de la vie quotidienne hebdomadaire était lui significativement, positivement et moyennement lié au score à l'épreuve d'interférence du test de Stroop. La fréquence de pratique d'AP n'était pas significativement liée à la MDT. Les analyses de corrélations partielles avec contrôle de la classe et du genre ont permis de mettre en avant que les relations présentées étaient exacerbées et que seule la relation entre la fréquence de pratique d'AP de la vie quotidienne et le score à l'épreuve d'interférence du test de Stroop conservaient un lien significatif positif, mais faible.

Intensité moyenne de pratique d'AP et FE. L'intensité moyenne de pratique d'AP sportive était significativement, négativement et faiblement liée au score d'empan envers à la tâche des blocs de Corsi ; et l'intensité moyenne de pratique d'AP de la vie quotidienne était, elle, significativement, positivement et faiblement liée au score d'empan envers à la tâche des blocs de Corsi. Nous n'avons pas pu retrouver d'autre lien significatif entre l'AP et les FE. Les résultats aux analyses de corrélations partielles ont montré que malgré la prise en compte de l'âge et du genre, la relation entre l'intensité de pratique d'AP sportive et l'empan envers perdurait et devenait même légèrement plus élevée. Cependant, le lien entre l'intensité moyenne de pratique d'AP de la vie quotidienne et l'empan envers n'était plus significatif.

Durée de pratique d'AP et FE. La durée de pratique d'AP sportive est significativement, négativement et faiblement liée au score à l'épreuve d'interférence du test de Stroop ; et la pratique d'AP de la vie quotidienne est significativement, positivement et faiblement liée au score à l'épreuve d'interférence du test de Stroop. Nous n'avons pas pu retrouver de corrélations simples significatives entre la durée de pratique d'AP et les scores d'empan envers et de flexibilité mentale. Après contrôle par la classe et le sexe des participants, ces deux liens n'étaient plus significatifs et seul un lien significatif, négatif et faible apparaissait entre la durée d'AP de loisir et le score à l'épreuve d'interférence du test de Stroop.

Tableau 5

Corrélations de Spearman entre les dimensions d'activité physique et les fonctions exécutives de base

	Score interférence 4	Empan envers visuo-spatiale	Erreurs persévératives
Fréquence d'activité physique			
Sport	-,19*	-,08	-,10
Récréation	-,07	-,12	-,02
Pause méridienne	-,17*	-,12	-,07
Loisirs	-,12	-,11	-,03

Vie quotidienne	,27**	,00	-,11
Intensité moyenne d'activité physique ^a			
Sport	-,11	-,25*	,11
Récréation	-,10	-,07	-,07
Pause méridienne	-,02	,07	-,09
Loisirs	-,10	-,11	-,04
Vie quotidienne	,14	,18*	-,13
Durée d'activité physique			
Sport	-,20**	-,07	-,07
Récréation	-,05	-,11	-,03
Pause méridienne	-,12	-,07	-,01
Loisirs	-,11	-,07	-,07
Vie quotidienne	,16*	,05	-,03

* Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,05$; ** Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,01$.

a. L'intensité moyenne d'activité physique n'a été prise en compte que pour les participants s'étant effectivement engagés dans ladite opportunité de pratique d'activité physique.

Tableau 6

Corrélations partielles entre les dimensions d'activité physique et les fonctions exécutives de base avec contrôle de la classe et du genre des participants

	Score interférence 4	Empan envers visuo-spatiale	Erreurs persévératives
Fréquence d'activité physique			
Sport	-,08	-,03	-,14
Récréation	,03	-,09	,06
Pause méridienne	-,08	-,08	-,13
Loisirs	-,15	-,07	,05
Vie quotidienne	,22**	-,05	,03
Intensité moyenne d'activité physique ^a			
Sport	,01	-,28**	,13
Récréation	-,14	-,10	-,02
Pause méridienne	-,06	,04	-,10
Loisirs	-,04	-,08	-,01

Vie quotidienne	,06	,14	-,10
Durée d'activité physique			
Sport	-,05	,03	-,08
Récréation	-,02	-,08	-,01
Pause méridienne	-,03	,01	-,05
Loisirs	-,16*	-,10	-,01
Vie quotidienne	,02	-,04	,13

* Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,05$; ** Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,01$.

a. L'intensité moyenne d'activité physique n'a été prise en compte que pour les participants s'étant effectivement engagés dans ladite opportunité de pratique d'activité physique.

2.2.5.2 Poids relatif de l'activité physique dans l'explication de l'efficacité des trois fonctions exécutives de base

Expliquer l'efficacité de l'inhibition. L'efficacité de l'inhibition a été envisagée à travers le nombre de bonnes réponses données à l'épreuve 4 d'interférence du test de Stroop. Nous avons retrouvé dans nos analyses que ce score était dépendant du niveau scolaire et du genre, variables que nous avons prises en compte dans le modèle de régression. Les analyses corrélationnelles ont révélé que la fréquence d'AP de la vie quotidienne et la durée d'AP de loisir étaient des prédicteurs potentiels de l'inhibition. Nous avons mené une analyse de régression linéaire par méthode descendante avec les quatre variables susmentionnées. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

Les valeurs du VIF des variables étaient comprises entre [1,02 et 1,07], il n'y avait alors pas de multicolinéarité entre les variables étudiées. Les distances de Cook des variables sont inférieures à 1 (ici toutes $< ,10$), aucune observation n'influence alors de manière exagérée les estimations. La valeur au test de Durbin Watson était de 1,92, les valeurs résiduelles n'étaient alors pas corrélées. Aucun résidu ne se situait au-delà de 3.29 ET de la moyenne et moins de 5% (ici 2,9%) se situaient au-delà de 1,96 ET de la moyenne. Les résultats au test KS mené sur les résidus étaient non significatif ($p > ,05$), les résidus étaient donc distribués normalement. Ainsi, les prémisses de l'analyse de régression linéaire étaient respectées.

L'analyse n'a rejeté aucune des variables entrées et le modèle expliquait une part significative de la variance de l'efficacité de l'inhibition chez l'enfant d'âge scolaire. Le modèle expliquait 29% de la variance du score 4 de l'épreuve de Stroop. Les dimensions de la pratique d'AP hebdomadaire prises en compte participaient significativement à l'explication de l'efficacité de l'inhibition : la fréquence de pratique d'AP de la vie quotidienne avait un effet positif sur l'efficacité de l'inhibition ($\beta = ,23, p < ,001$) et la durée de pratique d'AP de loisir un effet négatif ($\beta = - ,19, p < ,01$).

Expliquer l'efficiency de la MDT. L'efficiency de la MDT a été envisagée à travers la capacité d'empan envers visuo-spatial à l'épreuve des blocs de Corsi. Nous avons retrouvé dans nos analyses que cette capacité était dépendante du niveau scolaire, variable que nous avons prise en compte dans le modèle de régression. Les analyses corrélationnelles ont révélé que l'intensité d'AP sportive était un prédicteur potentiel de la MDT. Nous avons mené une analyse de régression linéaire par méthode descendante avec les deux variables susmentionnées.

Les valeurs du VIF des variables étaient toutes deux de 1,04, il n'y avait alors pas de multicolinéarité entre les variables étudiées. Les distances de Cook des variables sont inférieures à 1 (ici toutes < ,15), aucune observation n'influence alors de manière exagérée les estimations. La valeur au test de Durbin Watson était de 1,98, les valeurs résiduelles n'étaient alors pas corrélées. Aucun résidu ne se situait au-delà de 3.29 ET de la moyenne et moins de 5% (ici 4,1%) se situaient au-delà de 1,96 ET de la moyenne. Les résultats au test KS mené sur les résidus étaient non significatifs ($p > ,05$), les résidus étaient donc distribués normalement. Ainsi, les prémisses de l'analyse de régression linéaire étaient respectées.

L'analyse n'a rejeté aucune des variables entrées et le modèle expliquait une part significative de la variance de l'efficiency de l'inhibition chez l'enfant d'âge scolaire. Le modèle expliquait 15% de la variance de l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi. L'intensité de pratique d'AP sportive hebdomadaire chez les enfants qui pratiquaient un sport dans un club ou une association sportive avait un effet significatif négatif sur la MDT ($\beta = - ,29, p < ,01$).

Tableau 7

Résumé des modèles de régressions linéaires étudiés pour déterminer le poids relatif de la pratique d'activité physique dans l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire

	B [95% IC]	β	R ² ajusté
Effizienz de l'inhibition			
$F(4,196) = 17,19^{***}$			R ² = ,29
Niveau scolaire	3,99 [2,7 ; 5,27]	,41 ^{***}	
Genre	-2,42 [-4,46 ; -,38]	-,16*	
Fréquence d'AP quotidienne	,24 [,10 ; ,37]	,23 ^{***}	
Durée d'AP de loisir	-,004 [-,007 ; -,001]	-,19 ^{**}	
Effizienz de la MDT			
$F(2,94) = 9,74^{***}$			R ² = ,15
Niveau scolaire	,40 [,09 ; ,71]	,24*	
Intensité AP sportive	-,26 [-,44 ; -,09]	-,29 ^{**}	

*. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,05$; **. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq ,01$. a. l'efficacité de la flexibilité mentale a ici été envisagée par le nombre de réponses conceptuelles données au WCST

2.2.5.3 Relation entre l'activité physique et l'efficacité des fonctions exécutives de base en tant que construit latent unitaire

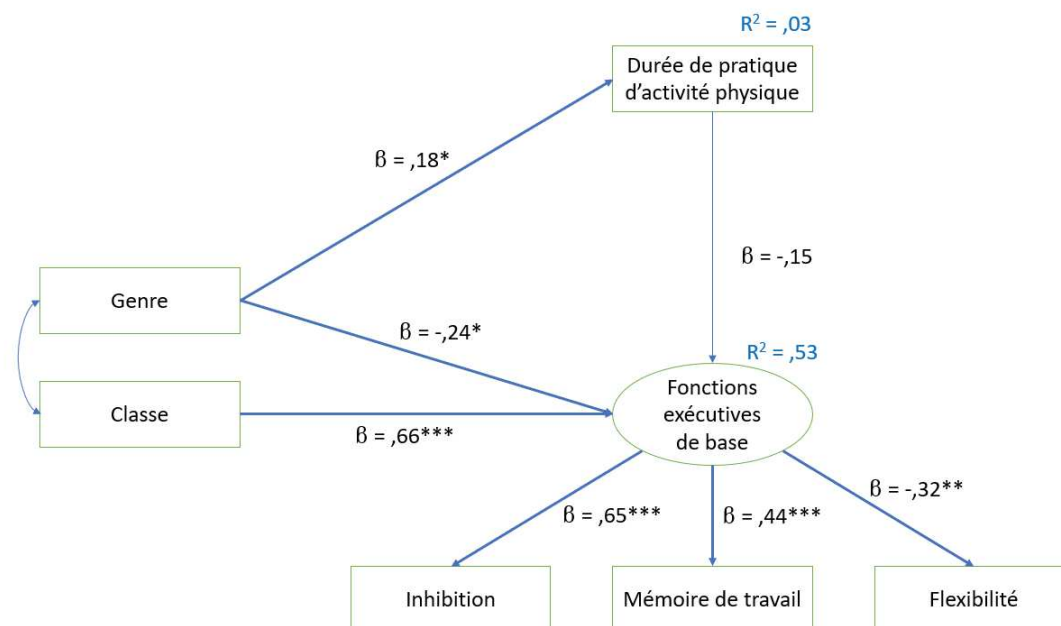
Nous avons testé un modèle explicatif de l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire en fonction du niveau scolaire, du genre et de l'AP hebdomadaire (voir figure 37). Le modèle a été apprécié par des équations structurelles estimées par la méthode de maximum de vraisemblance puisqu'elle permet de mener des estimations en tenant compte de la présence de données manquantes lorsqu'elles ne sont pas dépendantes d'autres variables, i.e., lorsque leur absence est imputable au hasard ou complètement au hasard (Collins et al., 2001). Le modèle présentait un χ^2 d'ajustement non-significatif, indiquant un bon ajustement du modèle, $X^2(7) = 11,82$ $p = ,11$. Les indices absolus, incrémentaux et de parcimonie indiquaient que le modèle étudié était acceptable (RMSEA = ,06, CFI = ,93 et CMIN/DF = ,69).

Les FE de base étaient envisagées comme un construit unitaire latent. L'inhibition représentée par le score 4 de l'épreuve d'interférence du test de Stroop et la MDT visuo-spatiale représentée par l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi étaient significativement et positivement liée au construit unitaire des FE de base et le manque de flexibilité mentale représenté par le nombre d'erreurs persévératives au WCST était significativement et négativement lié au construit unitaire des FE de base. La pratique d'AP avait d'abord été envisagée comme un construit latent prédit par les dimensions

de fréquence et de durée de pratique totale d'AP hebdomadaire mais la durée de pratique était liée au construit latent avec un coefficient $\beta > ,99$, $p < ,001$. Ainsi, la variable latente d'AP et la durée de pratique hebdomadaire se recouvraient presque parfaitement, alors l'AP a été envisagée via la variable observée de durée de pratique d'AP hebdomadaire. Compte tenu de l'influence non-négligeable du niveau scolaire et du sexe sur les variables étudiées, nous les avons prises en compte en tant que variables exogènes explicatives du construit latent des FE de base et de la durée de pratique d'AP. Le genre était significativement lié à la durée de pratique d'AP et à l'efficacité des FE de base : les garçons avaient une durée de pratique d'AP hebdomadaire supérieure à celle des filles et les filles avaient une meilleure efficacité exécutive que les garçons. Le niveau scolaire avait un effet significatif sur l'efficacité des FE de base. Plus le niveau scolaire était élevé, meilleure était l'efficacité des FE de base des élèves. Le modèle expliquait 53% de la variance des FE de bases envisagées selon un construit unitaire latent et le genre expliquait 3% de la variance de la durée de pratique d'AP hebdomadaire. La durée de pratique d'AP était liée aux FE de base de manière tendancielle ($\beta = -,15$, $p = ,12$).

Figure 37

Modèle explicatif de l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire en fonction de la classe, du genre et de la durée de pratique d'activité physique hebdomadaire



Note : les liens régressifs significatifs sont indiqués par des flèches pleines épaisses et les liens régressifs non significatifs par des flèches pleines fines. Les coefficients β standardisés sont indiqués en noir près des flèches de régression et les coefficients de détermination R^2 en bleu près des variables endogènes.

2.3 Discussion

Cette étude répond au premier objectif général de cette thèse : l'étude de la relation entre l'efficacité des FE de base et la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire. Pour y répondre, nous avons étudié : (1) les effets de l'âge sur l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire ; (2) les effets de l'âge et du genre sur la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire ; et (3) identifié les dimensions de la pratique d'AP habituelle liées à l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire.

2.3.1 Objectif 1 : évolution des fonctions exécutives avec l'avancée en âge chez l'enfant d'âge scolaire

2.3.1.1 *Evolution de l'inhibition*

L'inhibition a été mesurée à l'aide de la version française du test de Stroop (Albaret & Migliore, 1999). La distribution des scores est conforme aux normes existantes, l'échantillon étudié peut donc être envisagé comme représentatif de la population pédiatrique française. En effet, les scores médians obtenus aux différentes tâches du test de Stroop sont compris entre la moyenne et la moyenne moins un écart-type des normes françaises de l'outil pour chacun des trois niveaux scolaires étudiés (Albaret & Migliore, 1999). Nous notons cependant que le score médian de lecture 2 et d'interférence 4 des élèves de CE2 se situe juste au-dessous du score moyen moins un écart-type de la norme française des enfants âgés de 9 ans.

Conformément aux postulats du test, les performances des participants au test de Stroop diminuent au fil des épreuves. En effet, la difficulté de traitement augmente au fil des tâches, ce qui implique un allongement du temps de traitement des items et une augmentation de la probabilité de faire des erreurs (Albaret & Migliore, 1999; Stroop, 1935). La lecture de mots « simples » est une tâche en cours d'automatisation relativement aisée à l'âge scolaire. Les tâches de lectures se font usuellement avec des mots écrits en encre noire sur un support de papier blanc. Dès lors, la carte A du test de Stroop correspond à une tâche de lecture en condition écologique. La lecture de la carte B nécessite quelques ajustements. En effet, l'enfant doit s'adapter aux variations de couleur de l'encre des stimuli à lire. La dénomination de couleurs de stimuli n'est pas une tâche habituelle à l'âge scolaire, du moins bien moins que l'activité de lecture. La tâche de dénomination 3 nécessite donc davantage d'efforts. La tâche d'interférence 4 admet des scores relativement bas, ce qui peut être expliqué par le coût cognitif additionnel d'une telle tâche qui nécessite d'inhiber la réponse dominante de lecture au profit d'une réponse moins prégnante de dénomination de couleurs (Augustinova et al., 2016).

Les performances des participants augmentent avec l'avancée du niveau scolaire (i.e., classe) aux quatre tâches du test de Stroop. Les scores aux deux épreuves de lecture augmentent significativement

avec l'augmentation du niveau scolaire. Ces résultats sont conformes à ce qui est attendu à l'âge scolaire à ces tâches (Albaret & Migliore, 1999). En effet, les capacités de lecture et de décodage augmentent et l'accès au lexique se fait de plus en plus aisément, ce qui se traduit par une lecture de plus en plus fluide et rapide (Bub et al., 2006; Fuchs et al., 2001). Aux deux épreuves de dénomination, nous observons que les participants les plus jeunes ont de moins bonnes performances que les élèves plus âgés. Cependant, la différence n'est que tendancielle entre les deux groupes scolarisés en cours moyen. Ces patterns de résultats sont en accord avec les normes françaises et des travaux récents qui mettent en avant un plateau dans les performances au test de Stroop à ces tâches vers l'âge de 10 ans (Albaret & Migliore, 1999; Roy et al., 2018).

Nous n'avons pas retrouvé de différence entre les groupes d'âge pour le score d'interférence tel qu'il est envisagé dans ce test. Ce résultat est cohérent avec les normes du test qui n'observent pas de différence significative dans ce score pour la tranche d'âge à laquelle nous nous intéressons (Albaret & Migliore, 1999). Ce score est calculé en retranchant le score d'interférence 4 au score de dénomination 3. Nous avons vu que ces deux scores augmentaient avec l'âge et que le résultat de la soustraction, lui, restait statistiquement invariant. Comme l'écart absolu reste inchangé malgré la progression des deux autres scores, il y a donc une progression relative masquée par la méthode de calcul utilisée dans la version française du test de Stroop. Nos résultats soutiennent l'hypothèse du développement de l'inhibition durant la période d'âge scolaire (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013). Avec l'avancée en âge, les enfants sont de plus en plus en capacité d'exercer efficacement un contrôle inhibiteur, ce qui leur permet de donner davantage de bonnes réponses (Albaret & Migliore, 1999; Stroop, 1935). Les enfants connaissent un bond développemental de leur capacité d'inhibition entre le cours élémentaire et le moyen avant d'atteindre un plateau durant lequel la progression est atténuée.

La différence liée au genre observée à la performance en situation d'interférence (i.e., score d'interférence 4) s'observe également dans les normes françaises : à l'âge scolaire, les filles présentent globalement de meilleures performances moyennes que les garçons pour un groupe d'âge donné (Albaret & Migliore, 1999). Les auteurs des normes françaises de l'outil ont pu relever que cette différence de performance liée au genre à la tâche d'interférence n'était pas toujours relevée dans la littérature scientifique. Ils proposent de l'imputer à une différence de vitesse de réponse en fonction du genre. La littérature ne permet pas de confirmer cette interprétation aujourd'hui. En effet, bien que des différences d'activation des sites frontaux lors de tâches d'inhibition comme le test de Stroop en fonction du genre aient pu être observées et ce, même chez l'enfant dès l'âge de 4 ans (i.e., le réseau d'activation est plus étendu chez les garçons que chez les filles) (Cuevas et al., 2016), la littérature n'observe pas de différence de performance liée au genre au test de Stroop (Armengol, 2002; Bellaj et

al., 2016). Toutefois, il reste à noter que les versions du test de Stroop sont nombreuses et que la version validée chez l'enfant en France présente des résultats relativement différents de ceux des autres versions existantes. Les différences observées seraient davantage liées à des fluctuations de la mesure qu'à des processus ou des temps de réponse différents selon le genre dans la population pédiatrique française. Cette possibilité peut notamment être soutenue par les résultats d'une étude récente menée chez des enfants d'âge scolaire en France. Cette étude a évalué si le protocole GREFEX (Groupe de réflexion sur l'évaluation des FE) du test de Stroop validé et normé en population adulte française était faisable chez des enfants français âgés de 7 à 12 ans (Roy et al., 2018). Les scores au test sont calculés en fonction du temps de réponse et des erreurs corrigées et non corrigées par auto-correction (GREFEX, 2001). Ce protocole a pu être utilisé et s'est montré pertinent pour apprécier l'efficacité de l'inhibition chez l'enfant. Il n'a pas révélé de différence liée au genre dans les temps de réponse des participants et a permis de vérifier les patterns développementaux observés dans d'autres pays, d'autres cultures et d'autres versions du test de Stroop que le test de Stroop validé en population pédiatrique française n'a pas pu vérifier (Albaret & Migliore, 1999).

2.3.1.2 Evolution de la mémoire de travail

La mémoire de travail a été mesurée à l'aide de la tâche des blocs de Corsi. Les distributions des résultats sont conformes aux normes existantes. Les scores médians obtenus aux deux tâches de l'épreuve sont compris entre la moyenne et la moyenne plus un écart-type des normes françaises de l'outil en fonction du niveau scolaire. De plus, conformément aux normes françaises, nous n'observons pas d'effet du genre sur les résultats aux blocs de Corsi (Fournier & Albaret, 2013). L'échantillon étudié peut donc être envisagé comme représentatif de la population pédiatrique française.

Nos résultats soutiennent l'hypothèse du développement de la MDT durant l'âge scolaire (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013). L'empan endroit des participants augmente avec l'avancée en âge et connaît une progression significative entre le cours élémentaire et le cours moyen avant d'atteindre un plateau au cours moyen. L'étude d'étalonnage français des blocs de Corsi retrouve également un effet positif de l'âge à la tâche d'empan endroit (Fournier & Albaret, 2013). Cet étalonnage n'a pas renseigné de comparaison par paires, toutefois, comme les enfants passaient d'un empan endroit de $M = 4,50$ ($ET = ,70$) au CP à un empan de $M = 5,55$ ($ET = ,71$) en 6^{ème}, nous ne sommes pas surpris d'observer un plateau au cours moyen dans nos résultats. L'empan endroit est considéré comme le reflet de l'activité de la composante de MCT de la MDT du modèle tripartite de Baddeley & Hitch (1974). En l'occurrence, il s'agirait du reflet de l'activité du calepin visuo-spatial chargé du traitement en MCT de l'information visuo-spatiale, ici des séquences de mouvements entre des blocs.

L'empan envers des participants augmente avec l'avancée en âge et connaît une progression significative entre le cours élémentaire et le cours moyen avant d'atteindre un plateau au cours moyen. L'étude d'étalonnage français des blocs de Corsi retrouve également un effet positif de l'âge à la tâche d'empan envers (Fournier & Albaret, 2013). Cet étalonnage n'a pas renseigné de comparaison par paires, toutefois, comme les enfants passaient d'un empan envers de $M = 3,60$ ($ET = 1,24$) au CP à un empan de $M = 5,74$ ($ET = ,88$) en 6^{ème}, nous ne sommes pas surpris d'observer un plateau au cours moyen dans nos résultats. L'empan envers engage davantage l'administrateur central du modèle tripartite de Baddeley & Hitch (1974) que l'empan endroit. En effet, il est nécessaire d'opérer volontairement sur les informations à retenir afin de désigner les items dans le sens inverse à l'ordre de présentation. Ce coût supplémentaire serait imputable à la mise en jeu du système exécutif (Baddeley, 1986; Luciana et al., 2005).

2.3.1.3 Evolution de la flexibilité mentale

La flexibilité mentale a été mesurée à l'aide des 64 premières cartes du WCST (Greve, 2001). Comme, à notre connaissance, nous ne disposons pas de norme française à ce jour au WCST-64, nous avons comparé nos résultats à ceux de l'étude de Smith-Seemiller et al. (2001) qui a comparé les résultats d'enfants d'âge scolaire à différentes formes réduites du WCST. Cette étude présentait notamment les scores bruts d'erreurs et d'erreurs persévératives de $n = 25$ enfants âgés de 7 à 9 ans et de $n = 52$ enfants âgés de 10 à 12 ans. Les scores d'erreurs médians que nous avons obtenus sont compris entre la moyenne et la moyenne moins un écart-type des résultats de référence dont nous disposons. Nos résultats sont donc conformes à ce qui a pu être observé par ailleurs et l'échantillon étudié peut donc être envisagé comme représentatif de la population pédiatrique.

Avec l'avancée en âge, les enfants ont une flexibilité mentale de plus en plus performante. Conformément à nos attentes et en accord avec les travaux ayant étudié les performances des enfants dans différentes formes du WCST dans différentes cultures, en grandissant, les enfants d'âge scolaire donnent davantage de bonnes réponses, davantage de réponses conceptuelles, réalisent plus de catégories et font moins d'erreurs (Heaton et al., 2007; Shu et al., 2000; Somsen, 2007). Concernant les erreurs persévératives qui reflètent les difficultés de flexibilité mentale, nous n'observons qu'une différence tendancielle entre les élèves du cours élémentaire et ceux du cours moyen ($p = ,051$). Ce résultat n'infirme pas pour autant nos hypothèses développementales puisqu'on l'observe aussi dans la tâche classique du WCST avec une atteinte des performances adultes aux alentours de 10 ans (Chelune & Thompson, 1987).

L'augmentation des performances au WCST avec l'avancée en âge durant l'enfance peut s'expliquer par des changements dans l'activité neuronale liés à la maturation du système. Avec l'entrée dans

l'adolescence, lors des tâches de flexibilité, la région cingulaire antérieure impliquée dans les processus de gestion des conflits est de plus en plus active et l'activité du CPF dorsolatéral diminue alors qu'elle était largement engagée dans ce type de tâches durant l'enfance comme un système compensatoire (Rubia et al., 2006). D'un point de vue neuropsychologique, l'augmentation des performances au WCST peut s'expliquer par de meilleures capacités de flexibilité mentale. Ces dernières sont sous-tendues par les capacités de MDT qui permettent de rafraîchir les informations pertinentes et à maintenir en mémoire ; et par les capacités d'inhibition qui permettent de filtrer les critères pertinents (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Huizinga et al., 2006).

D'autres travaux montrent que bien que les performances adultes soient atteintes vers 10 ans au WCST, le développement de la capacité n'est pas encore achevé. En effet, les adultes prennent davantage de temps pour répondre lorsqu'ils doivent changer de stratégie de rangement des cartes que lorsqu'ils rangent les cartes selon une catégorie repérée. Ce différentiel de temps de réponse entre situation de rangement des cartes selon un critère repéré et en situation de recherche d'un nouveau critère d'appariement n'atteint pas le niveau des adultes avant l'âge de 15 ans. Avant cet âge, les enfants répondent presque aussi rapidement dans les deux situations et ne ralentissent pas ou très peu au feedback (Huizinga et al., 2006). Dans la même veine, entre l'âge de 4 ans et l'adolescence, Davidson et al. (2006) ont montré que les temps de réponse ralentissaient avec l'avancée en âge et Somsen (2007) a montré que les enfants étaient de plus en plus attentifs aux feedback avec l'avancée en âge. Alors, les enfants prendraient peu à peu la mesure du coût cognitif du switching et prendraient davantage de temps pour répondre avec justesse, ce qui laisse supposer que l'activité métacognitive serait en jeu pour ajuster les stratégies mises en œuvre.

2.3.2 Objectif 2 : patterns de pratique d'activité physique habituelle des enfants d'âge scolaire, similarités et différences en fonction de l'âge et du genre

2.3.2.1 *Patterns de pratique d'activité physique habituelle des enfants d'âge scolaire*

Les données que nous avons récoltées permettent de contribuer aux connaissances observationnelles sur la pratique d'AP habituelle des enfants d'âge scolaire en France. Comme nous avons utilisé un outil déclaratif qui peut s'avérer sensible à certains biais e.g., désirabilité sociale (Guinhouya, 2013), les résultats seront discutés à la lumière des connaissances actuelles de l'AP habituelle de cette population.

Nous observons que les enfants d'âge scolaire de notre échantillon avaient une durée médiane de pratique d'AP de 555 minutes hebdomadaires. Près de 65% de notre échantillon n'atteignaient pas les recommandations de 60 minutes de pratique d'AP modérée à vigoureuse par jour pour la santé des enfants (OMS, 2010). Nos observations sont conformes aux travaux préalables qui retrouvaient que

moins de 30% des enfants français parvenaient à atteindre les recommandations de l'OMS (Esen, 2017; Godeau et al., 2012). En termes de répartition selon les différents types d'AP que nous avons étudiés, nous observons que seulement 58% des participants pratiquaient une AP sportive. Ce résultat est en accord avec les résultats de la récente étude épidémiologique ESTEBAN qui retrouvait que 59,5% des enfants français pratiquaient une AP au sein d'un club (Esen, 2017). Les AP sportives rapportées étaient très majoritairement des AP vigoureuses (86%) dont le football, les arts-martiaux pour ne citer que les AP les plus représentées. L'AP sportive est une opportunité pour atteindre les recommandations d'AP pour la santé et plus de 30% des enfants français n'en bénéficient pas. Ce résultat montre que, en France, les AP extra-scolaires sont encore relativement négligées alors qu'elles constituent une niche de développement à part entière pour les enfants (Kindelberger & Le Floch, 2007). Aussi, les parents ont tendance à penser que leurs enfants sont suffisamment actifs (Esen, 2017; Guinhouya, 2013); alors, les inscrire dans une association ou un club sportif ne serait pas une priorité.

Nous observons que 90% et 72% des participants pratiquaient de l'AP respectivement durant la récréation et lors de la pause méridienne durant la semaine d'école. Ces résultats vont dans le sens des résultats trouvés dans l'étude ESTEBAN dans laquelle 92% des enfants s'engageaient dans les AP proposées à l'école (l'EPS dans cette étude) (Esen, 2017). Les AP mentionnées pour ces opportunités étaient d'intensité modérée pour 64% des propositions qui faisaient référence à des jeux collectifs de poursuite et des jeux de balles. Le taux de participation à des AP plus bas durant la pause méridienne pourrait notamment s'expliquer par le fait que tous les enfants ne restent pas à l'école durant ce moment de la journée et que cette opportunité d'AP ne peut pas être saisie par tous les enfants. Toutefois, nous n'avons pas pu retrouver de comparaison dans les travaux épidémiologiques français et il serait intéressant de vérifier ce résultat pour le discuter plus en avant.

Nous observons que 72% des participants pratiquaient une AP de loisir. Ce résultat suit les observations épidémiologiques récentes qui ont recensé que 71% à 92% des enfants de 6 à 10 ans s'engageaient dans des AP de plein air quand ils n'étaient pas à l'école (Esen, 2017). Les AP rapportées étaient d'intensité modérée (46%) et vigoureuses (54%) dont des jeux de poursuite, de balle, de cyclisme, de glisse ou de course à pieds pour les AP les plus souvent mentionnées. De telles AP sont adaptées pour une pratique à l'extérieur, nous pensons donc que les enfants qui se sont engagés dans ces AP disposaient d'espaces récréatifs accessibles et sécurisés à proximité de chez eux (Galvez et al., 2013; Rhodes & Dickau, 2012). Nous observons enfin que 92% des participants pratiquaient des AP de la vie quotidienne contre seulement 40,5% dans l'étude ESTEBAN (Esen, 2017). Nous devons signaler que l'étude ESTEBAN ne prenait en compte que les transports actifs vers l'école alors que nous avons ici évalué l'AP de la vie quotidienne plus largement. Les AP rapportées étaient d'intensité modérée (94%), les déplacements actifs et les activités d'entretien du lieu de vie étaient les plus largement

citées. Ce taux particulièrement important pourrait être expliqué par la proximité entre l'école et le lieu de vie des participants et/ou par la météo particulièrement clémente à la fin du printemps dans notre région qui pourrait être un levier pour les transports actifs (Remmers et al., 2017; Tucker & Gilliland, 2007).

2.3.2.2 *Patterns d'activité physique habituelle en fonction de l'âge chez l'enfant d'âge scolaire*

2.3.2.2.1 *Des patterns généraux de pratique d'activité physique habituelle similaires entre 9 et 11 ans*

Nous n'avons pas retrouvé de différence liée à l'âge des participants pour les totaux hebdomadaires de fréquence d'engagement et de durée de pratique d'AP, ni pour l'intensité moyenne hebdomadaire d'AP pour les participants s'étant effectivement engagés dans des AP. Ce résultat est à première vue surprenant, nous nous attendions à observer une baisse du niveau d'AP avec l'avancée en âge des participants, notamment avec l'entrée dans l'adolescence (Riddoch et al., 2004; Trost et al., 2002). Nous notons cependant que la littérature n'est pas consensuelle dans l'observation de différence des patterns d'AP en fonction de l'âge au sein du groupe d'âge que nous étudions. En effet, les différences liées à l'âge dans l'étude ESTEBAN étaient observées quant au niveau d'AP de groupes d'enfants de 6-10 ans, 11-14 ans et 15-17 ans et le groupe le plus actif était le groupe d'enfants de 6-10 ans. C'était donc par comparaison aux 11-14 ans que les 6-10 ans étaient perçus comme plus actifs physiquement. Il est donc tout à fait envisageable que l'âge de 11 ans ne constitue pas une période charnière de changement de pratique d'AP.

De plus, deux études françaises menées chez l'enfant d'âge scolaire dans notre région et utilisant des mesures similaires de l'AP (questionnaire dont nous nous sommes inspirés) ont trouvé un lien positif faible à modéré entre l'âge et la durée totale de pratique d'AP hebdomadaire (Gourlan et al., 2018; Roux et al., 2020). D'autres travaux ont montré une augmentation de la pratique d'AP de loisir à l'âge scolaire en France (Lioret et al., 2007) et il en fut de même dans une étude ayant fait appel à des mesures de l'AP par accélérométrie (Santos et al., 2003). Ces résultats variés et parfois contradictoires montrent que les patterns d'AP des enfants sont à étudier plus avant et qu'il serait adéquat de définir des méthodes d'investigations éprouvées qui permettent des comparaisons rigoureuses des résultats (Guinhouya, 2013).

2.3.2.2.2 *Similarités et différences de pratique d'activité physique lors des temps scolaires en fonction de l'âge*

Les élèves en classe de CM2 se distinguent des autres élèves de cette étude par leur pratique d'AP durant la pause méridienne. En effet, plus de la moitié d'entre eux ont déclaré ne pas s'être engagé dans des AP durant la pause méridienne. Toutefois, les élèves de CM2 qui se sont engagés dans des AP durant la pause méridienne ont pratiqué des AP d'intensité similaire à celle des autres élèves (i.e.,

élèves de CE2 et les CM1). Ce résultat est la seule différence en fonction de l'âge que nous observons dans les opportunités de pratique d'AP lors des temps scolaires. Nos résultats sont conformes à ceux obtenus dans une étude anglaise ayant investigué les segments d'AP en fonction du statut plus ou moins actif physiquement d'enfants d'âge scolaire. Cette étude a montré que le temps de pause méridienne était un moment qui différenciait les groupes en termes d'engagement dans des AP : les enfants plus actifs physiquement s'engageaient dans davantage d'AP d'intensité modérée à vigoureuse que ceux qui étaient moins actifs physiquement et cette différence ne s'observait pas lors des temps de récréation (Fairclough et al., 2012).

La pause méridienne est relativement plus longue que le temps de récréation, elle permettrait davantage de choix d'activités à pratiquer après le déjeuner qui peut être plus ou moins long selon s'il est pris à la cantine ou en dehors de l'école. Certains enfants pourraient minimiser le temps de repas pour s'engager dans des jeux actifs physiquement et d'autres pourraient préférer passer du temps à se socialiser avec les autres élèves (Fairclough et al., 2012). De la même façon, les enfants qui déjeunent en dehors de l'école peuvent s'engager dans des activités plus ou moins actives ou sédentaires. Les résultats que nous obtenons pourraient traduire un début de désintérêt pour les activités physiques pour une partie des participants les plus âgés au profit d'autres activités qu'il serait intéressant d'étudier plus avant lors de prochains travaux.

Les récréations sont programmées et relativement courtes, alors, tous les élèves profitent de ce moment pour se ressourcer. Il n'est pas surprenant d'observer des patterns de fréquence et de durée similaires à tous les âges. Cependant, nous observons que les élèves de CM1 s'engagent dans des AP plus intenses que les CE2 et tendanciellement plus intenses que les CM2. Ce résultat pourrait confirmer que les enfants s'engagent dans des AP de plus en plus intenses avec l'avancée en âge jusqu'à un zénith, vers 10 ans, avant de décliner avec l'entrée dans l'adolescence. Toutefois, comme ce résultat ne s'observe pas dans les AP de loisir pour lesquelles les enfants peuvent être relativement libres de choisir leurs AP, il serait possible que cette différence soit imputable à l'organisation scolaire, e.g., appropriation de l'espace de la cour de récréation par les plus grands qui souhaiteraient s'engager dans des activités comme le football.

2.3.2.2.3 Similarités et différences de pratique d'activité physique hors de l'école en fonction de l'âge

Nous n'observons pas d'autre différence liée à la fréquence d'engagement dans des AP selon le niveau scolaire des participants excepté pour l'AP de loisir pour laquelle les élèves de CM1 s'engagent plus fréquemment dans des AP que les élèves de CM2. Toutefois, nous n'observons pas de différence en termes de durée de pratique d'AP de loisir en fonction de l'âge. Les AP des élèves de CM1 seraient alors plus nombreuses et plus courtes que celles dans lesquelles peuvent s'engager les CM2. Ces

résultats soutiennent l'hypothèse de l'évolution d'une AP spontanée intermittente et transitoire jalonnée de courtes périodes de repos (Bailey et al. (1995) cité dans Guinhouya (2013)) vers une AP plus intentionnelle et planifiée avec l'avancée en âge (Hagger et al., 2001; Roux et al., 2020).

Nous ne sommes pas surpris de constater que les AP sportives pratiquées ne diffèrent pas sur les dimensions étudiées en fonction de l'âge. En effet, les AP sont structurées et institutionnalisées et comprennent des exercices physiques répétés qui peuvent être partagés ou non entre différentes disciplines (Guinhouya, 2013). Ainsi, la fréquence des entraînements et leur durée sont similaires pour un groupe d'âge donné.

Nous remarquons enfin que la pratique d'AP de la vie quotidienne diffère en termes d'intensité et tend à différer en termes de durée selon l'âge des participants. En effet, les élèves de CE2 s'engagent dans des AP moins intenses que ceux de CM1 et la durée de pratique d'AP de la vie quotidienne tend à être plus importante chez les CM2 que chez les élèves plus jeunes. Ces résultats corroborent ceux de travaux antérieurs ayant montré qu'avec l'avancée en âge, les enfants avaient de plus en plus tendance à se déplacer par des moyens actifs pour aller à l'école (Timperio et al., 2006) et à avoir davantage de responsabilités chez eux, dont faire du ménage ou aller acheter le pain à trottinette (Ridley & Olds, 2016).

2.3.2.3 Patterns d'activité physique habituelle en fonction du genre chez l'enfant d'âge scolaire

Nos résultats confirment partiellement nos hypothèses. En effet, les dimensions de fréquence, d'intensité moyenne et de durée de pratique d'AP hebdomadaire présentent des patterns de similarité et de différence en fonction du genre des participants. La fréquence et la durée de pratique d'AP hebdomadaire des filles est inférieure à celle des garçons. Ce résultat est corroboré par de nombreux travaux et les pistes explicatives tendent notamment vers des stéréotypes liés au genre. La participation dans des AP sportives durant l'enfance est liée à l'influence de la famille (Brustad, 1992) et les filles sont moins encouragées que les garçons à s'engager dans des AP sportives (Fredricks & Eccles, 2005). Toutefois, nos résultats montrent que les filles qui s'engagent dans des AP sportives pratiquent des AP tout aussi intenses que celles des garçons. Ce résultat va dans le sens des observations des travaux de Deflandre et al. (2001) qui observent les mêmes patterns d'intensité de pratique d'AP organisées selon le genre, mais rapportent que les filles qui s'engagent dans des AP sportives ont des mères sportives. Les représentations liées au genre semblent relativement importantes dans l'engagement des filles dans les AP sportives (Croft et al., 2014).

L'intensité des AP pratiquées par les filles apparaît comme moins importante que pour celles pratiquées par les garçons, hormis pour les AP sportives dont nous venons de parler et pour les AP de la vie quotidienne qui s'avèrent être relativement peu coûteuses en énergie. Aussi, les filles

s'engageaient moins longtemps dans des AP globalement et des AP de loisir que les garçons. Ces résultats corroborent les résultats obtenus dans d'autres travaux montrant un dimorphisme sexuel de l'AP entre les filles et les garçons dès l'âge scolaire (Fairclough et al., 2012; Guinhouya, 2013; Santos et al., 2003). En effet, les garçons tendent à davantage s'engager dans des AP d'intensité modérée à vigoureuse que les filles (Pate, 1993; Raitakari et al., 1997). Seule l'AP de la vie quotidienne conserve des patterns similaires en termes de fréquence, d'intensité et de durée chez les deux genres. L'étude ESTEBAN remarque ce même pattern de résultats quant à l'usage de transports actifs pour aller à l'école (Esen, 2017). Les AP quotidiennes apparaissent comme moins genrées que les autres AP chez l'enfant d'âge scolaire, peu importe le genre, les enfants se déplacent de manière active et/ou rangent leur chambre.

2.3.3 Objectif 3 : lien entre la pratique d'activité physique habituelle et l'efficacité des fonctions exécutives de base chez l'enfant d'âge scolaire

2.3.3.1 *Effet des dimensions de la pratique d'activité physique habituelle sur les FE de bases envisagées isolément*

Les résultats des tests corrélacionnels ont permis de révéler que certains patterns de la pratique d'AP habituelle des enfants d'âge scolaire pouvaient être faiblement à modérément liés (Cohen, 1992) à leurs capacités d'inhibition et de MDT visuo-spatiale, mais pas à leur capacité de flexibilité mentale. Le contrôle par le niveau scolaire (i.e., classe) et le genre dans les analyses de corrélacions partielles ont mis en avant que ces variables pourraient affecter la force des liens entre les patterns d'AP et l'efficacité des FE chez l'enfant d'âge scolaire. Ces résultats s'inscrivent dans la lignée des travaux antérieurs qui ont aussi pu montrer un lien entre l'AP habituelle et les FE, et ils ont proposé que les effets pourraient varier selon l'âge et le genre (Aadland et al., 2017; Ludyga et al., 2016).

Nous avons retrouvé que l'efficacité de l'inhibition était significativement, positivement et modérément liée à la fréquence d'engagement des participants à des AP de la vie quotidienne et significativement, négativement et faiblement liée à la durée de pratique d'AP de loisir. Nous avons retrouvé que l'efficacité de la MDT visuo-spatiale était significativement, négativement et modérément liée à l'intensité de la pratique sportive. Enfin, nous n'avons pas retrouvé de lien significatif entre l'efficacité de la flexibilité mentale et les dimensions de la pratique d'AP des participants. Le découpage plus fin des dimensions de l'AP habituelle des enfants de notre étude a mis en évidence certains liens qui n'ont pas pu être repérés dans les travaux ayant utilisé des dimensions plus larges qui ont inspiré cette étude. En effet, les deux études nord européennes qui se sont intéressées aux liens entre l'AP habituelle et les FE n'ont pas pu retrouver de lien significatif entre la

durée totale d'AP et les FE de base (van der Niet et al., 2015), ni entre l'engagement dans des AP d'intensité modérée à vigoureuse et les FE de base (Aadland et al., 2017; van der Niet et al., 2015).

Dans notre étude, le niveau scolaire, le genre, la fréquence d'engagement dans des AP de la vie quotidienne et la durée de pratique d'AP de loisir expliquaient 29% de la variance de l'efficacité de l'inhibition. Plus les enfants s'engageaient dans des AP de la vie quotidienne et moins ils s'engageaient longtemps dans des AP de loisir, meilleure était leur capacité d'inhibition. Le niveau scolaire et l'intensité des AP sportives expliquaient 15% de la variance de l'efficacité de la MDT visuo-spatiale. Plus les enfants s'engageaient dans des AP sportives d'intensité modérée plutôt qu'intense, meilleures étaient leurs capacités de MDT.

L'observation d'effets négatifs de la durée de pratique d'AP de loisir sur l'inhibition et de l'intensité de la pratique d'AP sportive sur la MDT nous ont surpris. Nous avons aussi été surpris en observant que la fréquence de pratique d'AP de la vie quotidienne était aussi fortement liée aux capacités d'inhibition. En effet, contrairement à nos résultats, les travaux antérieurs tendent à montrer des effets positifs des AP modérées à vigoureuses et des effets négatifs des AP de faible intensité ou sédentaires sur les FE (Aadland et al., 2017; Booth et al., 2013; van der Niet et al., 2015). Toutefois, nous devons noter que les AP sportives recensées étaient très majoritairement des AP d'intensité vigoureuse et que les AP de la vie quotidienne recensées étaient très majoritairement d'intensité modérée. Dès lors, l'effet négatif des AP sportives et l'effet positif des AP de la vie quotidienne montreraient que l'engagement dans des AP d'intensité modérée serait davantage en lien avec l'efficacité des FE de base que les AP d'intensité faible ou vigoureuse. Ainsi, l'engagement habituel dans des AP d'intensité modérée, en plus d'apporter des bénéfices de santé physique bien connus, profiterait au développement des FE de base des enfants d'âge scolaire, du moins à l'inhibition et à la MDT. Nos résultats peuvent être expliqués par l'hypothèse aérobie du lien entre l'AP et les FE (Best, 2010). L'engagement dans des AP d'intensité modérée entraîne la filière énergétique aérobie basé dont le processus métabolique est basé sur la consommation d'oxygène. L'engagement habituel dans des AP mettant en jeu cette filière énergétique conduirait l'organisme à s'adapter en vue d'augmenter le débit sanguin dans l'organisme et la transmission de l'information. S'ensuivraient des processus d'angiogenèse, de libération de facteurs de croissance, de synaptogénèse... qui profiterait au cortex frontal et expliquerait les bénéfices de l'AP habituelle sur les FE (Hsu et al., 2018; Park et al., 2012; Stimpson et al., 2018; van der Niet et al., 2016).

Concernant l'effet négatif de la durée de pratique d'AP de loisir sur l'inhibition qui nous a surpris, nous observons que la très large majorité des participants rapportaient des durées de pratique d'AP de loisirs relativement basses. Ainsi, durant les temps de loisirs, moments particuliers durant lesquels

les enfants peuvent être davantage libres dans le choix des activités qu'ils peuvent pratiquer, ceux-ci semblent davantage s'engager dans des activités sédentaires. Or, les AP ne sont pas seules à pouvoir favoriser le développement des FE et des activités sédentaires cognitivement engageants (e.g., certains jeux-vidéo, la méditation) peuvent favoriser le développement des FE (Diamond & Lee, 2011). Dès lors, il serait pertinent de considérer les effets différentiels des AP et des activités sédentaires sur le développement des FE des enfants d'âge scolaire (van der Niet et al., 2015; Aadland et al., 2017).

Conformément aux travaux de van der Niet et al. (2015), nous n'avons pas retrouvé de lien entre l'AP habituelle des enfants et la flexibilité mentale. Cette étude, comme la nôtre, n'a utilisé qu'une seule mesure de la flexibilité mentale. Compte tenu du manque de pureté des mesures des FE et compte tenu du fait que les épreuves de flexibilité nécessitent l'emploi d'autres FE (Best & Miller, 2010) pour pallier aux difficultés de mesure, il serait judicieux de faire appel à plusieurs outils de mesure de la flexibilité pour dégager un score composite plus fin qui permettrait d'observer plus finement l'existence ou non d'un lien entre l'AP habituelle des enfants d'âge scolaire et leur flexibilité mentale.

2.3.3.2 Effet des dimensions de la durée de pratique d'activité physique habituelle sur les FE de base en tant que construit latent

Le modèle explicatif de l'efficacité des FE comme construit latent par l'AP et contrôlé par l'âge et le genre que nous avons testé présente des indices d'ajustement acceptables. Il expliquait 53% de la variance du construit latent des FE envisagées. Les indices d'inhibition, de MDT visuo-spatiale et de manque de flexibilité mentale observés sont tous trois des indicateurs significatifs ($\beta > |,32|$) de la variable endogène des FE. Envisager les FE comme un construit latent unitaire chez l'enfant d'âge scolaire est donc pertinent. Ces résultats concordent avec les travaux précédents ayant envisagé les FE comme un construit latent chez l'enfant d'âge scolaire (Aadland et al., 2017; Lee et al., 2013; Lehto et al., 2003; Schmidt et al., 2017). Dès lors, entre 9 et 11 ans, les FE de bases du modèle de Miyake et al. (2000) partagent suffisamment de variance commune pour être envisagées selon un construit latent unitaire et elles sont suffisamment diversifiées pour ne pas totalement se confondre avec ce construit latent. Nous n'avons pas pu envisager la pratique d'AP comme un construit latent puisque la variable de durée de pratique d'AP et l'AP comme variable endogène se couvraient presque parfaitement. Nous avons donc conservé la variable observée de durée de pratique d'AP uniquement.

Nous n'avons pas pu retrouver de lien explicatif significatif entre la durée de pratique d'AP et les FE de base comme variable latente, seul un lien tendanciel négatif et faible. L'AP habituelle ne serait pas liée à l'efficacité des FE envisagées comme un concept unitaire. Nous ne nous attendions pas à retrouver un tel résultat. En effet la littérature rapporte largement des liens positifs et/ou non-

significatifs (Donnelly et al., 2016; Sibley & Etnier, 2003). Toutefois, une étude récente a retrouvé un lien faible négatif significatif entre la forme physique évaluée par le test Shuttle run et l'efficacité des FE envisagée comme un construit latent à l'aide d'une mesure de chaque FE de base par des tests neuropsychologiques utilisés, comme ceux auxquels nous avons fait appel, dans la pratique clinique (Aadland et al., 2017). Comme le pointent les auteurs de cette étude, il est possible qu'un biais de publication ait valorisé la publication de résultats positifs plutôt que négatifs ou non-significatifs.

Cette absence de résultat pourrait également montrer que la relation entre le niveau de pratique d'AP et les FE suivrait une relation davantage curvilinéaire (McMorris & Hale, 2012). On pourrait également faire l'hypothèse que d'autres dimensions de l'AP seraient plus pertinentes à prendre en compte que la durée de pratique. En effet, la notion d'AP cognitivement engageante (Egger et al., 2018; Schmidt et al., 2015) ou d'AP nécessitant un effort de contrôle pour maintenir l'engagement dans l'AP (Audiffren & André, 2019) apparaissent comme de bonnes candidates puisqu'elles stimuleraient les mêmes zones cérébrales que celles impliquées dans les FE.

2.3.4 Implication des résultats

Nos résultats montrent que la pratique d'AP habituelle peut constituer un facteur de développement des FE de bases chez l'enfant d'âge scolaire. L'engagement dans des AP de la vie quotidienne comme aller à l'école à pieds, à vélo, ou encore participer activement aux tâches ménagères et l'engagement dans des AP sportives d'intensité modérée comme la danse, la gymnastique ou le tennis peuvent favoriser le développement des FE. Il est donc essentiel de nous intéresser aux activités que font les enfants et de considérer les activités extrascolaires comme de potentielles opportunités de développement à mettre à disposition des enfants (Kindelberger & Le Floc'h, 2007).

Les FE sont essentielles à l'adaptation comportementale de l'individu à son milieu et sont en jeu dans de très nombreuses sphères de vie (Diamond, 2013). Leur développement à la fois précoce et long et leur sensibilité à l'environnement rendent les FE particulièrement vulnérables et les atteintes des FE peuvent avoir des retentissements négatifs et persistants (Roy, 2015). Alors, il est de l'intérêt de tous de veiller à ce que les enfants puissent bénéficier d'opportunités qui favorisent le développement de ces fonctions fondamentales. Nos résultats montrent que la pratique d'AP pourrait constituer un facteur de développement des FE relativement facile à mettre en œuvre (Álvarez-Bueno et al., 2017; Tomporowski et al., 2011). L'AP pourrait ainsi constituer une piste pour favoriser le développement des FE d'enfants qui rencontrent des situations de vie difficiles qui pourraient entraver leur développement (Hodel, 2018; Mackes et al., 2020).

L'AP habituelle ne semble pas présenter les mêmes effets sur les FE de base selon si nous les considérons indépendamment ou comme un construit latent. Si l'AP peut constituer une piste pour favoriser le développement des FE chez l'enfant d'âge scolaire, le développement d'intervention devrait tenir compte des résultats de la recherche pour adapter la pratique d'AP aux objectifs particuliers visés i.e., définir les dimensions les plus à mêmes de favoriser telle ou telle FE (Diamond & Ling, 2016, 2019; Hillman et al., 2019; Pontifex et al., 2019; Vazou et al., 2019).

Les observations que nous avons faites de la pratique d'AP habituelle des enfants d'âge scolaire nous ont permis de mieux connaître les différents patterns d'AP dans différents segments de la vie des enfants. A notre connaissance, cette étude est la première à avoir investigué les patterns habituels d'AP d'enfants français en détail. Nous avons pu remarquer que les enfants de notre étude ne sont pas suffisamment actifs physiquement, que les variations des patterns d'AP étaient minimales sur la tranche d'âge de 9 à 11 ans et qu'à partir de 11 ans les patterns d'AP commencent à changer. Des différences ont pu être observées en fonction du genre et les filles ont un niveau de pratique d'AP globalement inférieur à celui des garçons. Il serait alors intéressant de se pencher sur un éventail d'âge d'enfants français plus important afin de traiter de la variance et de l'invariance de l'AP au cours de l'enfance et de l'adolescence dans la population pédiatrique française (Esen, 2017). Il serait également pertinent d'investiguer les patterns motivationnels en lien avec la pratique d'AP des enfants français afin de mieux la promouvoir auprès des enfants d'âge scolaire en fonction de leur âge et de leur genre (Costa et al., 2020; Pannekoek et al., 2013; Roux et al., 2020).

2.3.5 Forces et limites

Le design transversal de cette étude a permis de nous figurer le développement des FE et de l'AP des enfants sur un panel de 3 années et d'observer les liens entre la pratique d'AP et les FE dans cette tranche d'âge. Toutefois, ce design d'étude ne peut raisonnablement pas permettre de tirer des conclusions développementales et l'usage d'approches longitudinale ou transversale séquentielle, aussi appelée approche mixte, est requis pour vérifier nos résultats.

A notre connaissance, cette étude est la première à étudier la contribution des différentes dimensions de la pratique d'AP de différentes opportunités d'AP sur le développement des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire. Cependant, les multiples comparaisons faites sont autant de risques d'observer des erreurs de type 1¹ et compte tenu de la non-normalité de plusieurs de nos variables, nous avons fait appel à des tests statistiques robustes, mais qui peuvent nous avoir conduit vers des erreurs de type 2². Aussi, nous ne pouvons pas ignorer que certaines variables pouvant être liées à la

¹ Rejet de H0 alors qu'elle est vraie

² Acceptation de H0 alors qu'elle est fautive

pratique d'AP et/ou aux FE n'ont pas été prises en compte comme l'environnement familial, la performance académique, la sédentarité, la qualité du sommeil ou la QDV à l'école (Tomporowski et al., 2011).

L'usage de facteurs latents est une force de l'étude qui permet de pallier aux erreurs de mesures communément admises dans les évaluations des FE. Pour apporter davantage de force aux liens retrouvés entre les FE de bases prises isolément et les dimensions de l'AP, dans de prochains travaux, il serait judicieux et rigoureux de multiplier les mesures de chacune des FE de base pour les traiter elles aussi en classe latente et s'affranchir du bruit des impuretés des mesures (Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000). Nous avons utilisé des tests usités dans la pratique clinique pour repérer des troubles des FE. Cependant, la sensibilité de ces tests pourrait s'avérer insuffisante pour repérer des progressions fines en population normale ou pour rendre compte d'effets faibles à modérés de l'AP sur la cognition. En ce sens, il serait judicieux d'avoir recours à des outils particulièrement sensibles ou de coupler les tests neuropsychologiques à des indices neurophysiologiques comme l'enregistrement de potentiels évoqués cognitifs qui peuvent constituer des prédicteurs du développement des FE chez l'enfant (Brydges et al., 2014). Nous traiterons des limites de nos mesures des FE dans la discussion générale de cette thèse puisque les outils sont identiques dans nos deux études.

Les mesures faites de la pratique d'AP des enfants d'âge scolaire ont permis de rapporter des résultats semblables aux autres travaux menés auprès de cette population (Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail, 2017; Esen, 2017). De plus, ils montrent qu'il est non seulement essentiel de promouvoir l'AP pour la santé des enfants, mais aussi pour favoriser leur développement cognitif. Le questionnaire auto-rapporté que nous avons utilisé est donc pertinent pour rendre compte de l'AP habituelle de la population pédiatrique française dès 9 ans (Crocker et al., 1997; Janz et al., 2008). Toutefois, les mesures faites dans cette étude demeurent subjectives et soumises à des biais qui pourraient être dépassés par l'usage de l'accélérométrie (van der Niet et al., 2015). Aussi, l'AP habituelle est liée à la forme physique aérobie et pour plus de poids, il serait judicieux d'étudier la liaison entre les résultats au questionnaire d'AP et la forme physique aérobie des enfants (Aadland et al., 2017).

La taille relativement modeste de notre échantillon était tout juste adéquate pour évaluer des liens, mais trop petite pour envisager des comparaisons de groupes dans les équations structurelles. Il serait intéressant de se questionner sur les effets différentiels de l'âge et du genre sur la force des liens entre l'AP et les FE pour compléter les connaissances encore parcellaires sur les rapports qu'entretiennent ces deux variables (Aadland et al., 2017; van der Niet et al., 2015).

2.3.6 Conclusion

Cette étude a exploré les liens entre la pratique d'AP habituelle et les FE de base prises isolément et en tant que construit unitaire chez l'enfant entre 9 et 11 ans. A notre connaissance, cette étude est la première à observer les liens entre les dimensions de fréquence, de durée et d'intensité de l'AP selon différents segments d'opportunité de pratique et les FE de base chez l'enfant d'âge scolaire. Les résultats montrent que, même après contrôle de l'âge et du genre, certaines dimensions de l'AP peuvent influencer les FE de bases : plus les enfants s'engagent fréquemment dans des AP de la vie quotidienne et moins ils s'engagent longtemps dans des AP de loisir, meilleures sont leurs capacités d'inhibition et plus les enfants s'engagent dans des AP sportives d'intensité modérée plutôt que vigoureuse, meilleures sont leurs capacités de MDT visuo-spatiale. L'usage de variables latentes permet de dépasser les erreurs de mesures liées aux FE et les futurs travaux dans le domaine devraient s'en saisir pour renforcer la rigueur méthodologique des études. La période entre 9 et 10 ans constitue une période significative de changements tant dans les patterns d'AP que dans les patterns de FE. De futurs travaux longitudinaux sont à mener sur les liens entre l'AP et les FE au cours de cette période et l'étude des effets différentiels de l'AP sur les FE de base selon l'âge constituent des perspectives fructueuses.

2.3.7 Vers l'étude 2 de la thèse

Cette étude transversale nous a permis de repérer des indices de liens possibles entre la pratique d'AP et les FE chez l'enfant d'âge scolaire. Afin de poursuivre l'investigation de la contribution de l'AP à l'efficacité des FE chez l'enfant d'âge scolaire, il serait judicieux d'envisager une approche longitudinale et interventionnelle auprès d'élèves de CE2, du moins dans un premier temps, puisque nos outils de mesure des FE étaient suffisamment sensibles pour détecter les progressions des enfants entre le CE2 et le CM1, mais pas entre le CM1 et le CM2.

Les travaux interventionnels d'inclusion d'AP sont principalement menés en contexte scolaire et les effets de l'AP sur des variables liées aux résultats scolaires régulièrement étudiés. D'ailleurs, de récents travaux se sont intéressés aux liens entretenus entre l'AP, les FE et la performance académique et certains auteurs avancent que les FE pourraient constituer un médiateur du lien qui est observé dans la littérature entre l'AP et la performance académique. Aussi, les enfants issus de milieux défavorisés ont plus de risque de présenter des FE moins efficaces et des performances académiques moins élevées que des enfants issus de milieux plus favorisés. Dès lors, il est primordial que les enfants issus de milieux défavorisés bénéficient en priorité de programmes pour favoriser le développement de leurs FE et leur performance académique, dont les interventions d'inclusion d'AP.

Nous poursuivons donc les investigations de cette thèse dans une seconde étude menée auprès d'élèves de CE2 scolarisés dans des écoles REP. Cette étude est distribuée sur deux axes : (1) étude des liens entre l'AP, les FE et la performance académique et (2) étude des effets d'une intervention d'inclusion d'AP en classe sur le développement des FE par rapport à celui d'un groupe contrôle ayant suivi une scolarité classique.

3 Chapitre 3 : Etude 2, Développer, mener et évaluer une intervention d'inclusion de pauses actives en classe pouvant favoriser le développement des fonctions exécutives d'enfants issus de milieux défavorisés

3.1 Méthode

3.1.1 Présentation de l'étude

3.1.1.1 *Comment répondre à nos objectifs ?*

Cette seconde étude a été développée en vue de répondre aux objectifs généraux 2 et 3 de cette thèse. Pour ce faire, cette étude s'est proposée de suivre plus spécifiquement 3 objectifs distribués selon deux axes correspondant respectivement aux objectifs généraux 2 et 3 de cette thèse :

Axe 1 : Etudier dans quelle mesure les FE de base contribuent à l'explication du lien existant entre la pratique d'AP et la performance académique.

1. Etudier dans quelle mesure les FE peuvent expliquer le lien entre la pratique d'AP et la performance académique.

Axe 2 : Etudier l'effet de l'inclusion d'une pratique d'AP en milieu scolaire sur le développement des FE de base d'enfants scolarisés dans des écoles REP, leur AP et leur QDV à l'école.

2. Etudier l'effet de l'inclusion d'un programme d'AP sur le développement des FE, de l'AP, de la performance académique et de la QDV à l'école
3. Etudier les représentations des participants sur leur vécu vis-à-vis du programme d'AP mis en place.

Pour répondre aux objectifs de cette étude, nous avons développé une intervention d'inclusion de pauses actives en classe basée sur des données probantes liées aux AP capables de favoriser le développement des FE. Cette intervention a été incluse à la routine de classe d'un groupe action (GA) que nous avons comparé à un groupe contrôle (GC) qui a suivi une scolarité classique. Nous nous sommes intéressés à l'évolution des FE de base, de l'AP, de la performance académique et de la QDV à l'école des deux groupes via deux temps de mesure : T1 et T2. T1 correspondait à la ligne de base, le temps de mesure avant intervention en début d'année scolaire. Nous avons utilisé les données de cette ligne de base pour répondre à l'objectif de l'axe 1. T2 correspondait au temps de mesure en fin d'année scolaire, après intervention dans le GA tout. Nous avons utilisé un design longitudinal interventionnel contrôlé.

L'utilisation d'un design d'étude longitudinal fait appel à des mesures répétées, ce qui permet d'apprécier les patterns de stabilité et de changement des variables dans le temps. L'utilisation d'un design interventionnel avec GA et GC permet d'apprécier d'éventuels changements à la lumière d'un point de référence. En effet, des changements peuvent survenir sans qu'ils soient pour autant dus à l'intervention mise en place, e.g., des changements de mode de vie dus à la saison (Tucker & Gilliland, 2007). Aussi, chez l'enfant, sujet en plein développement, on peut tout à fait s'attendre à des changements dans le temps, qu'il y ait intervention ou non. Ainsi, l'inclusion d'un GC reflétant au mieux les caractéristiques des participants du GA permet de relativiser des changements dus à l'inclusion d'un facteur particulier des changements normaux à l'œuvre chez la population.

A notre connaissance, aucune étude n'a encore mis en place une intervention d'inclusion de pauses actives en classe en vue de favoriser le développement des FE des enfants d'âge scolaire en France. Cette étude originale permet d'ouvrir la voie à de futurs travaux de recherche interventionnelle pour favoriser le développement des FE par l'AP en milieu scolaire. Nous faisons l'hypothèse générale que l'inclusion de pauses actives en classe favorise le développement des FE des élèves.

3.1.1.2 Population, échantillon

Les FE sont plus sensibles aux interventions d'AP chez les populations les plus jeunes (i.e., enfants) et les plus âgées (i.e., personnes âgées) (Ludyga et al., 2016). Nous nous intéressons à une population d'enfants d'âge scolaire et, compte-tenu du fait que nos outils étaient suffisamment sensibles pour repérer des différences d'efficacité des FE entre le CE2 et le CM1, mais pas entre le CM1 et le CM2 (voir étude 1), seules des élèves de classes de CE2 ont été inclus dans cette étude.

Les enfants issus de milieux défavorisés ont tendance à présenter des FE moins efficaces et à rencontrer davantage des difficultés scolaires que les enfants issus de milieux plus favorisés (Blair & Raver, 2016; Ferguson et al., 2007). Ainsi, il est pertinent d'intervenir auprès d'enfants issus de milieux défavorisés afin de favoriser le développement de leurs FE et améliorer leur performance académique. En France, les écoles REP/+ accueillent une proportion importante d'enfants issus de milieux défavorisés. Nous avons donc recruté les participants de cette étude auprès d'écoles REP/+.

Les classes du GA ont été recrutées via un appel à rejoindre un « programme d'inclusion de pauses actives en classe ». Les classes du GC sont recrutées via un appel à participer à une étude sur le développement des FE de l'enfant. Par souci de représentativité, nous avons favorisé l'inclusion de classes du même secteur géographique que les classes du GA, idéalement des classes issues des mêmes écoles. Les enseignants du GA avaient pour consigne de rester discrets sur l'inclusion des pauses actives dans leur classe tout au long de l'étude pour pallier à d'éventuels biais de connaissance. Les enseignants du GA ont inclus les pauses actives à leur routine de classe et tous les élèves de la

classe en ont bénéficié. Les participants à l'étude ont été recrutés sur la base du volontariat dans les classes participantes (GA et GC) selon les mêmes modalités que celles utilisées dans l'étude 1. La participation était anonyme, pour apparier les données de chaque participant entre les temps de mesure, un matricule était donné à chacun des participants et ceux-ci devaient le conserver tout au long de l'année et nous le présenter lors des passations. Les enseignants avaient proposé aux élèves de coller leur matricule dans leur carnet de correspondance et aucun matricule n'a été perdu durant l'étude.

Pour contrôler l'effet de variables parasites potentielles liées aux caractéristiques des participants, nous avons choisi de ne pas inclure dans cette étude les enfants :

- ❖ Participant à une autre étude en cours
- ❖ Ne parlant pas couramment la langue française
- ❖ N'ayant pas l'âge chronologique équivalant à l'âge attendu en CE2
- ❖ Présentant un trouble de la vision sans correction adaptée
- ❖ Présentant un trouble de la perception des couleurs (e.g., dyschromatopsie)
- ❖ Présentant un trouble de l'audition sans correction adaptée
- ❖ Présentant un trouble neurodéveloppemental (e.g., troubles du spectre de l'autisme, troubles cognitifs spécifiques, TDA-H, déficience intellectuelle)
- ❖ Présentant un retard ou un trouble de la motricité entravant ou limitant la motricité globale et fine

Pour calculer le nombre de participants nécessaires, nous avons utilisé le programme informatique G*Power version 3.1.9.2 (Faul et al., 2007). Nous avons fait des simulations sur la base d'analyses de variance pour un plan inter-sujets à mesures répétées pour détecter un effet de taille faible à modérée ($f = .18$) (Álvarez-Bueno et al., 2017; de Greeff et al., 2018; van den Berg et al., 2019). Pour une erreur $\alpha = 0.05$ et une puissance $(1 - \beta) = 0.95$, l'estimation du nombre de participants nécessaires était $N = 254$ ($N = 816$ pour un effet de taille faible ($f = .10$) et $N = 132$ pour un effet de taille modérée ($f = .25$)). Compte tenu des contraintes de temps à investir pour les passations des différentes mesures individuelles (20 minutes par participant) et collectives (plus d'une heure) et de moyens à disposition dans le cadre de ce travail doctoral (un stagiaire pour les mesures post-intervention), il n'était pas réaliste d'inclure plus d'une centaine de participants, soit une cinquantaine de participants par groupe.

3.1.2 Le programme Mouv'enclasse

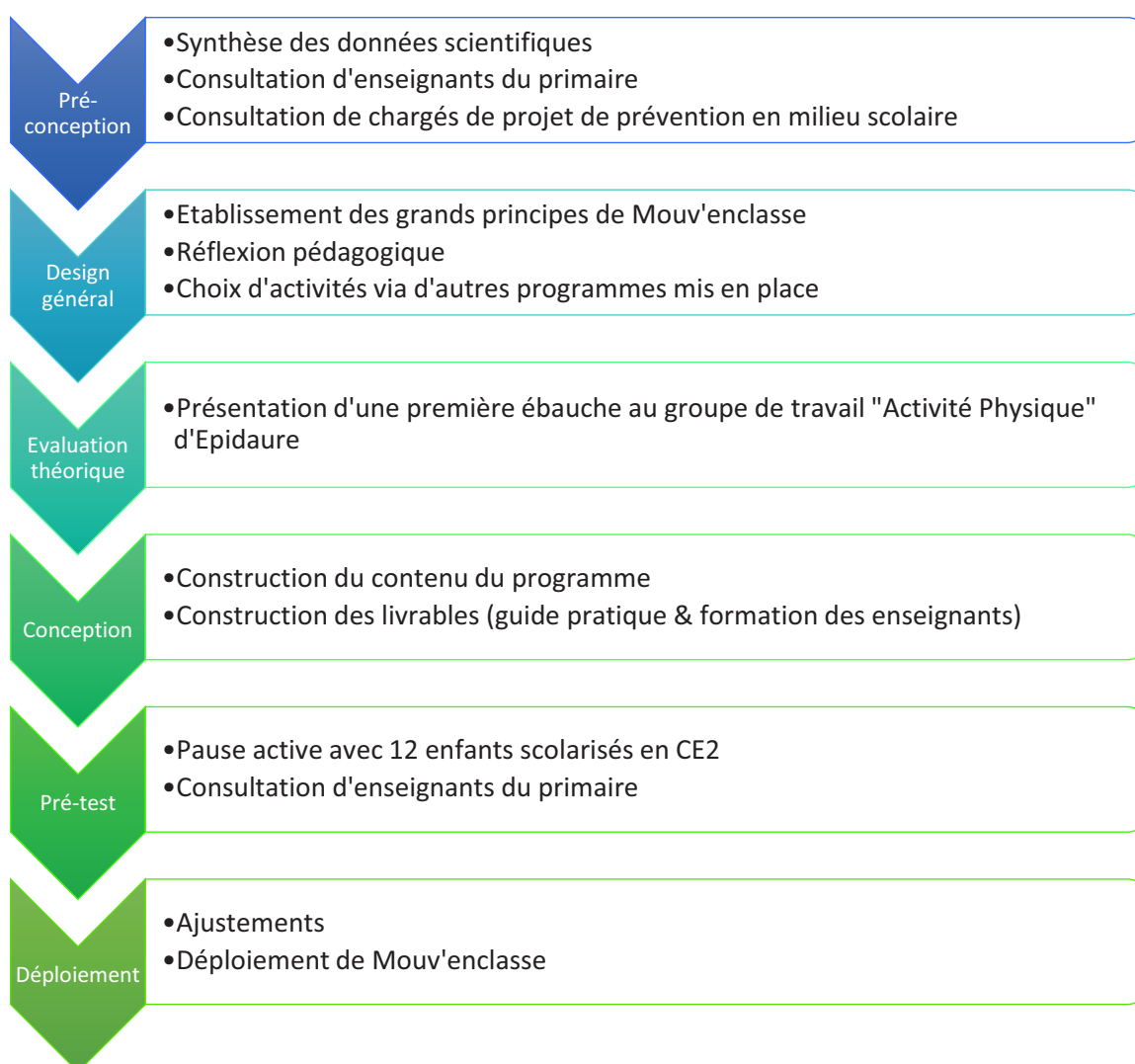
3.1.2.1 Conception de Mouv'enclasse

Le programme Mouv'enclasse est un programme d'inclusion de pauses actives en classe à destination d'écoliers issus de milieux défavorisés. Nous avons développé ce programme dans le but de favoriser le développement des FE via la pratique d'AP de manière ludique à l'école. La construction de Mouv'enclasse s'est faite par plusieurs étapes de développement, d'évaluation et d'ajustement résumées dans la figure 38. Nous nous sommes d'abord penchés sur la littérature existante pour déterminer les paramètres pertinents pour la mise en place de pauses actives en classe. Pour rappel, cette revue de la littérature indiquait que la mise en œuvre de pauses actives d'une dizaine de minutes d'AP d'intensité modérée plusieurs fois par semaine pouvait suffire pour obtenir des résultats sur les FE. Pour favoriser la faisabilité du programme en classe tout au long de l'année scolaire, nous avons préféré un format dans lequel l'enseignant guidait les pauses actives. Nous avons soumis ces premières lignes à des enseignants d'école primaire et à des chargés de projet de prévention en milieu scolaire pour identifier les freins et les leviers liés à l'implémentation de pauses actives en classe. Notre défi était donc de proposer un programme pouvant répondre à nos objectifs tout en étant acceptable et réalisable en milieu scolaire : un programme facile à implémenter comprenant des activités ludiques réalisables dans la salle de classe sans matériel ou tenue spécifique ni réorganisation de l'espace.

Une première ébauche du programme a été réalisée à la lumière de la croisée des regards théoriques et expérientiels. Nous avons envisagé un découpage de chaque pause active en trois phases : (1) une phase de préparation pour mobiliser les enfants dans l'activité via une expression corporelle singulière, (2) une phase d'AP d'intensité modérée avec des exercices courts et variés pouvant ressembler à l'AP spontanée des enfants et (3) une phase de relaxation pour doucement reprendre son souffle en bougeant et se remettre au travail. Nous avons pensé qu'une telle organisation des pauses actives favoriserait leur intégration en classe tout en limitant l'émergence de comportements d'agitation que nous observons généralement lors de périodes de transition entre deux activités. Pour chacune des phases, nous avons inclus un panel d'activités imagées inspirées de programmes existants et d'ouvrages à destination des enfants (e.g., AP d'intensité modérée via le programme Energizer (Mahar et al., 2006) et des enchaînements de Yoga disponibles dans des ouvrages pour enfants (Jouanne & Green, 2015)).

Figure 38

Schéma du processus de conception du programme *Mouv'enclasse*



La première ébauche du programme a été présentée au groupe de travail sur l'AP d'Epidaure. Ce groupe est composé de chercheurs en psychologie, d'enseignants de l'école primaire et d'acteurs de terrain en prévention santé diplômés en sciences et techniques des AP et sportives. Nous avons pu discuter nos choix pédagogiques et du panel d'AP proposées (intensité, possibilité de les réaliser dans un espace restreint). Le programme a pu être affiné et nous avons testé son contenu auprès de 12 enfants volontaires scolarisés en CE2. Les activités proposées ont unanimement plu aux enfants, mais ils ont majoritairement eu des difficultés à maintenir leur effort tout au long de la pause active. Nous avons alors remanié les activités en les diversifiant et en incluant des AP moins coûteuses entre des AP plus coûteuses physiquement. Lors de la seconde évaluation des AP, les enfants parvenaient à rester actifs tout au long de la pause sans être excessivement fatigués, ni trop peu actifs : ils étaient « capables de parler, mais pas de chanter », ce qui constitue un indicateur d'AP d'intensité modérée (U.S. Department of Health and Human Services, 2018, p. 60).

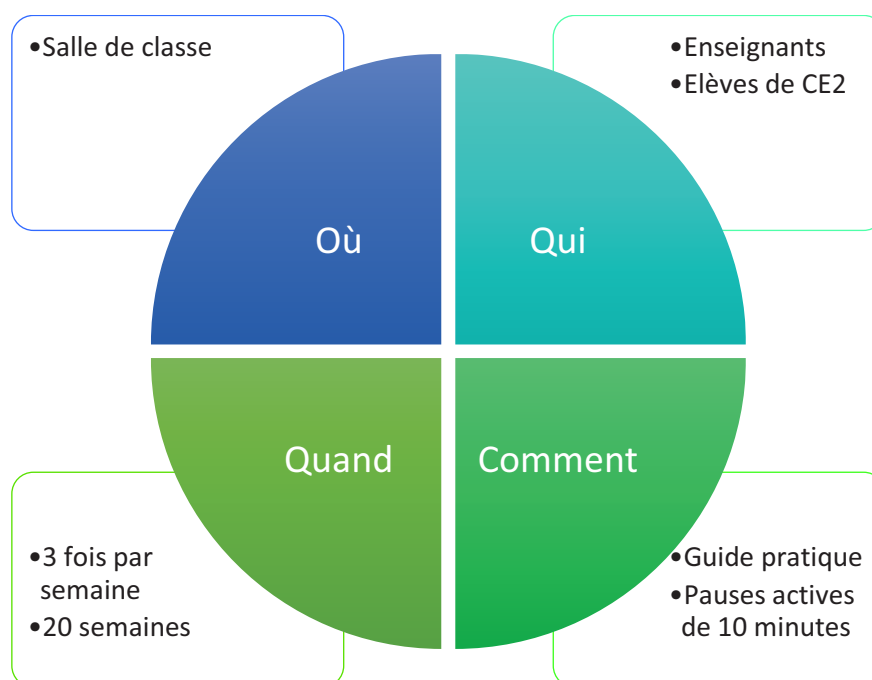
Nous avons présenté le contenu à quatre enseignants du primaire qui ont jugé acceptable d'implémenter des pauses actives en classe de 10 minutes 3 fois par semaine. Pour faciliter la mise en œuvre du programme, nous avons conçu une formation et un guide pratique à destination des enseignants. Nous avons proposé à deux enseignants de relire le plan de formation et le guide pratique et de nous communiquer leur avis sur la qualité esthétique des documents, l'accessibilité des informations, leur clarté, leur utilité pour mener un tel programme. Les avis reçus étaient très satisfaisants et peu de modifications ont été apportées. Le processus de développement était achevé et le déploiement pouvait commencer.

3.1.2.2 Le contenu de Mouv'enclasse

Mouv'enclasse est un programme d'inclusion de pauses actives en classe entre deux enseignements dont le contenu est résumé dans la figure 39. Chaque pause active a une durée de 10 minutes et a lieu à une fréquence de 3 fois par semaine avec au maximum une pause active par journée de classe pendant 20 semaines. L'enseignant référent de la classe guide les élèves et participe aux pauses actives avec eux. Les activités proposées ont été choisies pour être pratiquées dans un espace restreint, sans matériel ni tenue spécifique. Ce programme souhaitait montrer qu'il était possible d'être actif physiquement sans que l'on ait besoin de créer de conditions particulières (lieu, tenue vestimentaire, matériel...).

Figure 39

Schéma descriptif du programme *Mouv'enclasse*

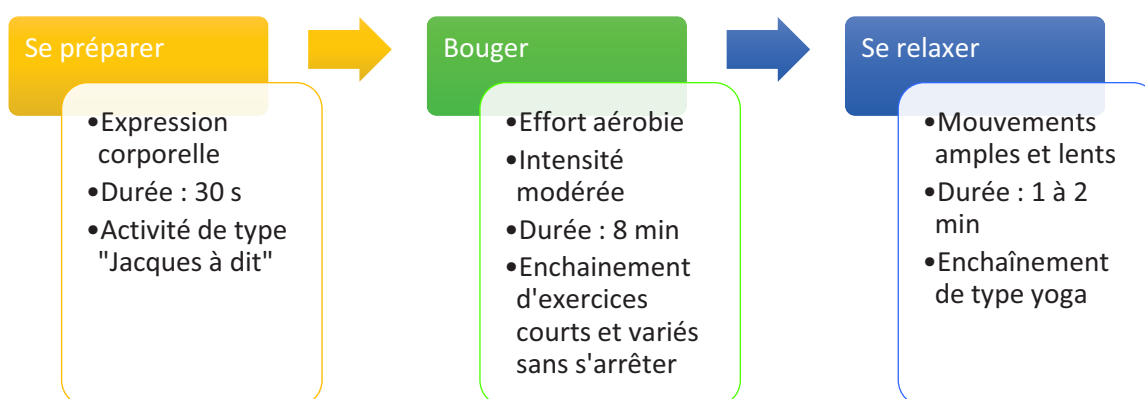


Chaque pause se structure en trois phases (voir figure 40) : une phase de préparation, une phase d'activités pour bouger de manière structurée dans un effort de type aérobie d'intensité modérée et une phase de relaxation. **La phase « se préparer »** permet aux élèves de se mettre progressivement en activité après un enseignement académique. Elle est composée de trois propositions d'expression corporelle de 10 secondes, e.g., l'enseignant dit « Jacques a dit, bouge comme un pingouin » et les élèves expriment physiquement, dans leurs mouvements de corps, ce qui, selon eux, est de bouger comme un pingouin. **La phase « bouger »** permet aux élèves d'atteindre un effort de type aérobie d'intensité modérée. Nous ne perdons pas de vue que les trois filières énergétiques (anaérobie alactique, anaérobie lactique et aérobie) sont en jeu lorsque le corps se met en mouvement, alors, pour favoriser l'utilisation de la filière aérobie, l'enseignant devait guider une série de 20 exercices qui engagent l'ensemble du corps et qui devaient être réalisés sans s'arrêter pendant 8 minutes (la filière aérobie intervenant prioritairement dans des efforts de plus de 1,5 minutes (Brunet-Guedj & Brunet-Guedj, 2006)). Pour minimiser l'accès aux filières anaérobies, mises en jeu lors d'efforts plus courts et particulièrement intenses, il était demandé aux élèves de rester vigilants quant à leur effort : dans une pause active, on doit bien bouger, mais ne pas s'épuiser, l'enseignant expliquait aux enfants que pour être dans la bonne dose d'effort, ils devaient être « capables de parler en bougeant, mais pas de chanter » (U.S. Department of Health and Human Services, 2018). Les exercices proposés étaient relativement courts (quelques dizaines de secondes) et variés (e.g., course à pieds sur place, mimer une montée sur une échelle, squats, toucher ses talons avec la main opposée tour à tour...) pour mimer

l'AP spontanée des enfants et éviter l'émergence d'ennui dû à la répétition trop monotone de mêmes mouvements. La phase « se relaxer » permet aux élèves de progressivement revenir vers un état physiologique de repos. Les enseignants devaient guider les élèves dans un enchaînement de mouvements amples et lents de type yoga (postures mimant un arbre (le tronc est le buste de l'enfant) dans une douce brise (les branches sont les bras des enfants et se balancent doucement)) durant 1 à 2 minutes selon les besoins pour revenir au repos et se remettre au travail.

Figure 40

Structure en trois phases d'une pause active du programme Mouv'enclasse



3.1.2.3 Favoriser l'implémentation de Mouv'enclasse

L'école est une place de choix pour intervenir auprès des enfants, toutefois, la mise en place d'un programme tel que Mouv'enclasse suppose des modifications substantielles de l'emploi du temps et une modification des pratiques courantes. L'appropriation de nouvelles pratiques, soient-elles choisies ou non volontairement, nécessite la mise en place de stratégies pour faciliter leur initiation et leur maintien dans le temps. En ce sens, nous avons opérationnalisé des concepts issus de modèles de changement de comportement (voir tableau 8).

La première variable que nous avons identifiée était l'accès à l'information et aux connaissances sur le programme. En effet, pour s'approprier une nouvelle pratique, il est crucial qu'elle soit comprise et qu'elle ait une importance pour la personne qui choisit de la mettre en place (Polonsky & Fisher, 2015). Il était alors primordial de fournir aux enseignants qui participaient à Mouv'enclasse des informations claires et utiles sur pourquoi et comment nous avons développé ce programme ainsi que toutes les informations nécessaires à son application. Pour répondre à ce premier défi, nous avons mis en place une formation de deux heures à destination des enseignants dans laquelle le fondement et les bases du programme étaient expliquées. Ensuite la partie pratique était abordée avec des propositions et des mises en situation pour appliquer le programme en classe (e.g., définir le cadre de

la pause avec les élèves, diriger une pause active, présentation des activités...). Chaque enseignant participant recevait un guide pratique reprenant les informations données durant la formation et contenant une section de pages de type « méli-mélo » dans laquelle les pages étaient découpées en trois parties de sorte à ce que l'enseignant puisse choisir pour chaque phase de la pause active les exercices de son choix parmi un panel d'activité et les assembler pour agencer la pause active de son choix. Les blocs d'AP proposés propres à chaque phase sont équivalents en nombre d'AP, en intensité moyenne des AP et en durée des AP, ainsi, les enseignants pouvaient choisir librement parmi les blocs proposés et être autonomes dans leurs choix, variable cruciale pour le maintien de la motivation (Deci & Ryan, 2008). Mouv'enclasse permettait d'agencer jusqu'à 27 arrangements différents d'activités plaisantes pour favoriser l'adhésion des enfants (Wankel, 1993).

Le sentiment d'appartenance à un groupe favorise l'expression de comportements propres au groupe (Ajzen, 1991). Nous avons cherché à créer un groupe d'acteurs du programme Mouv'enclasse et avons tenté de favoriser les liens entre les membres par la communication. Les enseignants participants se rencontraient une première fois lors de la formation Mouv'enclasse. A cette occasion ils ont pu faire connaissance à travers les discussions et les activités engagées. A l'issue de la formation, une mailing liste a été créée afin de garder le contact ensemble tout au long du programme. Par ce biais, nous avons espéré voir émerger une identité de groupe partageant des valeurs communes liées à Mouv'enclasse et ainsi favoriser la compliance de chacun par le biais du groupe.

Pour que l'implémentation soit facilitée, nous avons développé les objectifs du programme par la méthode SMART (Doran, 1981) (voir figure 41). Les enseignants avaient pour objectif d'animer dans leur classe 3 fois par semaine des pauses actives de 10 minutes pendant 20 semaines. Cet objectif remplit les critères SMART, il est spécifique, mesurable, accessible, réaliste et temporel. Cet objectif a été rediscuté lors de la formation pour s'assurer qu'il était bien perçu raisonnable et atteignable pour chacun des enseignants. Pour favoriser l'appropriation du programme et son maintien, nous avons minimisé les barrières à son établissement afin que les participants se sentent en mesure de l'appliquer et de faire face aux contraintes possibles (Ajzen, 1991; Schwarzer, 2008). Les barrières que nous avons identifiées liées à la mise en place d'interventions en milieu scolaire étaient des contraintes de temps, d'espace et de moyens. Nous avons donc veillé à produire des contenus les plus clairs et rapidement accessibles et proposé des pauses actives relativement courtes et ne nécessitant ni matériel, ni aménagement particulier de l'espace.

Figure 41

Objectifs SMART, méthode de définition de buts atteignables, d'après Doran (1981)



Tableau 8

Variables d'intérêt pour favoriser la compliance des enseignants au programme Mouv'enclasse, leurs dimensions et leur opérationnalisation

Variables	Dimensions	Opérationnalisation
Connaissance du programme	Informations accessibles et claires	Formation + guide pratique
Sentiment d'appartenance	Partage d'expérience entre pairs	<ul style="list-style-type: none"> • Lieu de partage • Contact mail & téléphone
	Mise en relation	
Atteindre les objectifs	Objectifs SMART	3 pauses actives de 10 minutes par semaine sur 20 semaines
	Définition en accord	Définition des objectifs en fonction de leur accessibilité pour chacun en réunion
Minimiser les barrières	Contraintes de temps, d'espace et de moyens	Pauses actives relativement courtes ne nécessitant pas de matériel ou d'aménagement de la classe
	Programme clé en main	Formation + guide pratique
Maintenir la motivation	Soutien et encouragements	<ul style="list-style-type: none"> • Un mail toutes les 3 semaines

Variables	Dimensions	Opérationnalisation
		<ul style="list-style-type: none"> • Visites à l'école • Visites renforcées si besoin
	Plaisir et autonomie	<ul style="list-style-type: none"> • Choix d'activités pouvant plaire aux enfants • Personnalisation des pauses actives

3.1.3 Instruments de mesure

3.1.3.1 *Mesurer les fonctions exécutives*

cf. Instruments de mesure des FE de l'étude 1 au titre « 2.1.2.1 Mesurer les fonctions exécutives », p.147.

3.1.3.2 *Mesurer les habitudes d'activité physique*

L'administration des questionnaires d'AP de l'étude 1 s'est révélée relativement longue avec les élèves les plus jeunes qui avaient besoin de davantage de temps pour remplir les tableaux et de davantage d'indications. Plusieurs des enseignants des classes de CE2 qui ont participé à l'étude 1 nous ont fait remarquer qu'il serait plus aisé pour des élèves de cet âge de répondre jour après jour durant une semaine. Un questionnaire sous forme de journal d'AP nous a donc paru intéressant.

Le format de journal d'AP permet de renseigner chaque jour les AP pratiquées et leur durée de pratique. Ainsi, il est possible de pallier aux contraintes de réminiscences et d'éventuelles difficultés de compréhension de notions abstraites e.g., la fréquence de pratique présente dans le questionnaire d'AP de l'étude 1. Ce format de questionnaire d'AP sous forme de journal reste précis et peut s'avérer plus fiable en termes de relevé des activités que le questionnaire rétrospectif (Baranowski, 1988; Guinhouya, 2013; Telama et al., 1985). Cependant, une limite majeure à l'utilisation de journaux d'AP est l'adhésion des participants dans le temps : il peut être coûteux pour des enfants d'âge scolaire de s'engager à remplir un journal chaque jour. Pour pallier à cette limite et favoriser la compréhension des consignes, le remplissage peut se faire en classe avec l'aide de l'enseignant. De cette manière, à chaque fin de journée de classe, les élèves peuvent prendre quelques 5 à 10 minutes pour remplir leur journal d'AP et l'enseignant les aider dans cette activité en les orientant. Si la demande de remplir un journal d'AP peut être perçue comme une activité chronophage et une barrière à l'engagement dans une étude transversale, nous pensons que la même demande peut être perçue comme plus raisonnable et acceptable dans une étude longitudinale.

Nous avons élaboré un journal d'AP à destination des participants sous forme de petit carnet au format A5 dans lequel chaque page est dédiée à un jour de la semaine. Les jours d'école, la page est découpée en 5 tableaux dans lesquels les participants ont pour consigne de renseigner le nom et la durée des AP dans lesquelles ils se sont engagés (1) le matin avant d'arriver à l'école, (2) le matin à l'école, (3) durant la pause méridienne, (4) l'après-midi à l'école et (5) après l'école et le soir (voir figure 42). Hors des jours d'écoles, seuls deux tableaux sont proposés dans lesquels les enfants renseignent les AP du matin puis celles de l'après-midi et du soir. Le mercredi, les enfants ont école uniquement en matinée. Les AP de l'après-midi et du soir sont regroupées en un seul tableau comme pour le week-end. Les enseignants ont reçu une fiche de consignes détaillées sur la procédure de remplissage du questionnaire et nous leur avons précisé qu'en cas de demande d'aide d'un élève, il était important de ne pas influencer ses réponses (e.g., questionner l'enfant pour le remettre en contexte, mais sans lui donner d'exemple d'activités qu'il aurait pu faire).

Figure 42

Mesurer la performance académique

Lundi

Ce qui m'a fait bouger le matin avant de venir à l'école

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger le matin à l'école

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger pendant la pause de midi

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger l'après-midi à l'école

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger après l'école

Nom de l'activité	Durée

Samedi

Ce qui m'a fait bouger le matin

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger l'après-midi et le soir

Nom de l'activité	Durée

Dimanche

Ce qui m'a fait bouger le matin

Nom de l'activité	Durée

Ce qui m'a fait bouger l'après-midi et le soir

Nom de l'activité	Durée

La performance académique des élèves scolarisés en école primaire et régulièrement appréciée par les performances des élèves en français et en mathématiques (Blair & Razza, 2007; McClelland et al., 2007; Schmitt et al., 2019). Compte-tenu de l'investissement cognitif et temporel déjà important pour les participants de cette étude, nous avons choisi de ne pas leur proposer de tests de performance académique, mais plutôt de proposer une hétéro-évaluation de leur niveau en français et en

mathématiques par leur enseignant référent. En effet, par sa fonction, l'enseignant référent est la personne la plus à même d'apprécier les performances académiques de ses élèves.

Pour apprécier la performance académique des participants, nous avons adapté une échelle déjà utilisée dans des travaux de recherche français (Bacro et al., 2017). Cette échelle demande à l'enseignant référent d'apprécier, pour chaque participant, sa performance relativement au niveau moyen de la classe en français et en mathématiques sur une échelle de type Likert en 5 points allant de (1) « très en dessous du niveau moyen de la classe » à (5) « très au-dessus du niveau moyen de la classe ». Aussi, comme nous travaillons sur une population d'enfants scolarisés dans des écoles REP qui est davantage à risque de présenter des difficultés scolaires, nous avons inclus une seconde appréciation du niveau scolaire en français et en mathématiques des élèves. L'échelle reste inchangée sauf que le positionnement se fait ici par rapport au niveau moyen national attendu à ce moment de la scolarité.

3.1.3.3 Mesurer la qualité de vie à l'école

A notre connaissance, il n'existait pas encore d'outil d'auto-évaluation de la QDV à l'école chez l'enfant validé en langue française, seule une échelle de bien-être à l'école (Bacro et al., 2014). Bien que les notions de bien-être et de QDV soient très liées, la première est, par essence, subjective alors que la seconde, celle qui nous intéresse ici, mêle des éléments objectifs et subjectifs liés à la perception de l'expérience vécue (Ferrière et al., 2016). Nous avons alors mené une recherche dans la littérature internationale et un outil a retenu notre attention : l'échelle Quality of Life in School (QoLS) (Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009). Cet outil d'auto-évaluation de la QDV à l'école s'adresse à une population d'enfants d'âge scolaire et a été développé à partir de la littérature scientifique et d'interviews d'enfants, de parents et d'enseignants. A travers 37 items, l'échelle capture 4 dimensions liées à la QDV des enfants à l'école : qualité de la relation élève-enseignant, sentiments positifs envers l'école, sentiments négatifs envers l'école et qualité de l'environnement physique. Cette dernière variable participe à l'originalité de l'outil puisque cette échelle est, à notre connaissance, la seule à envisager l'enfant au cœur de son environnement scolaire. L'échelle QoLS a originellement été validée en hébreux auprès de N = 353 enfants israéliens et a récemment pu être validé dans une version anglophone auprès de N = 629 enfants canadiens (Ghotra et al., 2016). Les analyses factorielles exploratoires de la version canadienne ont révélé une structure en 4 facteurs : disposition psychosociales, attitudes envers l'école, relation élève-enseignant et environnement physique.

Nous nous sommes proposé d'adapter et de valider cette échelle pour les écoliers français. Vous retrouverez cette étude en annexe 14. Pour ce faire, nous avons procédé à une adaptation des items à la langue et à la culture française via la méthode de Beaton et al. (2000). L'échelle a ensuite été

soumise à une dizaine d'enfants pour discuter avec eux de leur compréhension des items et de leur perception de l'outil (validité apparente). Les analyses factorielles et des propriétés psychométriques de l'outil ont été menées auprès de N = 432 enfants issus de milieu urbain scolarisés en classe de CE2, CM1 ou CM2 dans des écoles publiques d'une ville française de plus de 40 000 habitants et d'une densité de population de 340 habitants par Km². La version française de l'outil est présentée sous le nom QoLS-fr et est présentée en annexe 13. L'analyse factorielle de l'échelle QoLS-fr révélait une structure en 4 dimensions qui expliquaient 39% de la variance de la QDV à l'école avec 29 items : (1) relation à l'enseignant, $\alpha = ,84$, (2) relation aux pairs, $\alpha = ,78$, (3) environnement scolaire, $\alpha = ,78$ et (4) satisfaction à l'école, $\alpha = ,87$.

Afin d'évaluer la validité de construit de l'outil, nous l'avons comparé à une échelle de référence validée en français chez l'enfant d'âge scolaire : l'échelle de qualité de vie pédiatrique KIDSCREEN-27. L'échelle KIDSCREEN-27 permet de mesurer la QDV globale des enfants et contient une dimension de QDV à l'école. Ainsi, avec ce même outil, nous avons pu obtenir des indices de validité concourante et de validité convergente : l'échelle QoLS-fr a pu expliquer 29% de la variance du score de QDV globale de la KIDSCREEN et 43% de la variance du score de QDV à l'école de la KIDSCREEN. La validité de construit de l'échelle QoLS-fr est satisfaisante. En termes de sensibilité, nous avons comparé l'échelle QoLS-fr à la dimension de QDV à l'école de la KIDSCREEN-27 à l'aide de l'indice delta de Ferguson (Hankins, 2008). L'échelle QoLS-fr ($\delta = ,99$) était plus discriminante en termes de QDV à l'école que l'échelle KIDSCREEN-27 ($\delta = ,96$).

Nous avons également mené une analyse de modération en fonction du genre, de la classe et de la performance académique des élèves. Les filles présentaient de meilleurs scores de QDV à l'école global, de satisfaction à l'école et de qualité de l'environnement scolaire que les garçons. Toutes les dimensions de l'échelle présentaient des différences liées à la classe. Les élèves issus de classes de CE2 présentaient une meilleure qualité de vie à l'école globale et une meilleure satisfaction à l'école que ceux de CM1. Ils présentaient aussi une meilleure perception de leur environnement scolaire que les élèves de niveau scolaire supérieur (CM1 et CM2). La relation aux pairs apparaissait meilleure chez les élèves de CM2 par rapport aux élèves de CE2 et la relation à l'enseignant est moins bonne chez les élèves de CM1 que chez les élèves de CE2 et de CM2. Concernant la performance académique, nous avons repéré des différences en fonction de la performance académique sur certaines dimensions de la QDV à l'école. Les élèves les plus performants en français par rapport au niveau moyen de la classe avaient de meilleurs scores de QDV à l'école globale, de satisfaction à l'école et de relations aux pairs que les élèves les moins performants. Les élèves positionnés très en dessous du niveau moyen de la classe en français percevaient une moins bonne relation à leur enseignant que les autres élèves. Les élèves les plus performants en mathématiques percevaient une meilleure relation aux pairs que les

autres élèves. Cette différence n'était cependant que tendancielle entre les deux groupes extrêmes ($p = ,08$).

3.1.3.4 *Mesurer les représentations des élèves*

L'expérience des pauses actives était nouvelle pour les élèves du GA et, plus généralement, les pauses actives sont des propositions récentes sur lesquelles nous avons encore peu de données sur la perception des élèves vis-à-vis de cette expérience. Il est donc nécessaire de nous intéresser aux représentations des enfants quant aux pauses actives. De plus en plus de travaux s'intéressent à la perspective des enfants, aux sens qu'ils donnent à leurs expériences de vie (Christensen et al., 2017). Les techniques verbales comme les questionnaires ou les entretiens sont régulièrement utilisées, mais ne sont pas toujours les plus adaptées pour recueillir les représentations des enfants (Kagan et al., 1982), surtout pour sonder des thèmes relativement abstraits pour lesquels une approche comme le dessin peut s'avérer plus informative (Kirova, 2006). Le dessin est une activité largement valorisée dans la culture occidentale et communément appréciée par les enfants, avant un désintérêt progressif à l'adolescence (Baldy, 2010, 2011). Le groupe d'âge auquel nous nous sommes intéressés dans cette étude était à un âge développemental où le dessin est particulièrement investi et déjà bien maîtrisé : complexification graphique et possibilité de représenter des notions d'espace, de temps et de mouvements (Baldy, 2011). A cet âge, les dessins des enfants suivent ce que l'on peut voir, ils ont atteint le stade dit de réalisme visuel (Luquet, 1927). De plus, le dessin constitue un outil valide pour questionner les représentations des enfants (Brooks, 2005; Einarsdottir et al., 2009) et il a été utilisé pour sonder la perception de l'année scolaire ou les attentes liées à l'école (Einarsdottir et al., 2009) et même pour comprendre leur niveau de compréhension de concepts complexes comme les émotions (Brechet et al., 2007, 2009) ou l'amour romantique (Brechet, 2015).

Pour recueillir la représentation des élèves vis-à-vis du programme Mouv'enclasse, il leur a individuellement été proposé de dessiner une pause active dans un cadre sur une feuille de papier blanche au format A4. L'activité se déroulait en classe, en fin d'année scolaire et était dirigée par l'enseignant. Ce dernier devait donner les consignes de dessin aux participants et ne pas les influencer dans leur production graphique.

Une première analyse de contenu des dessins a été réalisée par deux psychologues du développement. Pour chaque dessin, les psychologues ont relevé indépendamment les indices graphiques des dessins en lien avec les pauses actives puis ont comparé leurs relevés et défini une liste d'indicateurs graphiques (voir tableau 9). Cette liste a permis de réaliser une grille de cotation (voir annexe 11) de présence d'indices graphiques dans les dessins afin que les dessins puissent être évalués. Afin de compléter l'analyse des représentations des enfants vis-à-vis des pauses actives, au dos de le

feuille de dessin, quatre questions ouvertes leur étaient posées : « As-tu aimé faire des pauses actives cette année ? », « Pourrais-tu me dire pourquoi ? », « Qu’as-tu préféré dans les pauses actives ? » et « Qu’as-tu le moins apprécié dans les pauses actives ? ».

Tableau 9

Définition des indicateurs graphiques des pauses actives

Indicateur graphique	Définition
Posture active	Représentation d’un corps en action (e.g., bras levés, jambes arquées)
Dynamique de mouvement	Représentation de mouvements (e.g., flèches directionnelles, suite de représentations d’une même partie du corps suivant une trajectoire)
Tenue de sport	Représentation de tenue de sport (e.g., chaussures de course, t-shirt avec le signe d’une marque de sport, casquette)
Groupe	Représentation de plusieurs personnages
Enseignant	Représentation de l’enseignant
Arrangement	Représentation des personnages de manière ordonnée (e.g., en rang, en arc de cercle)
Classe	Représentation de la salle de classe (e.g., bureau, tableau)
Cour	Représentation de la cour de l’école (e.g., arbre, marquage au sol)
Métaphore	Représentation métaphorique d’une activité (e.g., dessiner une fusée pour l’activité « sauts de fusée »)
Discours	Représentation de commentaires en lien avec les activités (e.g., « youpi », « je suis fatigué »)

3.1.3.5 *Mesurer les représentations des enseignants*

Les pauses actives étaient une expérience nouvelle pour les enseignants du GA qui n’avaient jamais inclus d’AP dans leur salle de classe jusqu’alors. Il était donc central de nous intéresser à leurs représentations vis-à-vis de cette expérience. De plus, dans une perspective de déploiement d’un tel programme, il est crucial de bénéficier d’une évaluation de ce dernier. Lors de la formation initiale au programme *Mouv’enclasse*, nous avons abordé avec les enseignants la question de l’évaluation du programme et parmi les propositions que nous avons pu faire (i.e., entretien en présentiel, entretien téléphonique, questionnaire papier, questionnaire informatique), ils ont opté à l’unanimité pour un questionnaire sous forme d’échelle avec une possibilité de compléter librement leurs réponses dans des cadres prévus à cet effet.

Nous avons proposé un questionnaire (voir annexe 10) en prenant appui sur des travaux existants menés en démarche d'évaluation de projet (Lambooy & Cotton, 2018; Steckler & Linnan, 2002), de qualité d'implémentation (Fassier & Durand, 2010; Tanguy et al., 2012) et de réflexions sur la transférabilité d'interventions dans le cadre de projets de santé publique (Cambon et al., 2012). Ce questionnaire comporte 124 items censés recouvrir 5 dimensions : (1) Les croyances quant au programme (e.g., penser que le programme pouvait avoir des effets positifs ou négatifs sur l'ambiance de classe ou la motivation des élèves, penser que le programme favoriserait des habitudes de vie saines...), (2) la satisfaction quant aux livrables (e.g., accessibilité, utilité, qualité de la forme et du contenu...), (3) la faisabilité du programme (e.g., possible de faire les activités en classe, nuisances sonores, efforts nécessaires pour appliquer le programme, atteinte des objectifs prévus initialement...), (4) les effets observés (motivation au travail, fatigue, ambiance de classe...) et (5) le déploiement du programme (réalisable en l'état, besoin de modifications, à conseiller aux écoles primaires...). Les réponses se font via des échelles de type Likert en 5 points pour exprimer le degré d'accord du répondant vis-à-vis des propositions faites (de « jamais d'accord » à « toujours d'accord »). Ce questionnaire est exploratoire, nous avons donc proposé, comme convenu avec les enseignants, un cadre à remplir librement pour transmettre des informations complémentaires pour chacune des dimensions explorées.

3.1.3.6 Contrôles

Les critères d'inclusion et de non-inclusion des participants afin de contrôler la validité de nos mesures sont les mêmes que ceux exposés dans l'étude 1. En résumé, nous n'avons pas pu inclure de participants porteurs de troubles cognitifs ou de troubles moteurs pouvant entraver la performance aux mesures faites. Aussi, compte tenu de l'inclusion d'une pratique d'AP dans le programme du GA, nous n'avons pas pu inclure d'enfants présentant des contre-indications à la pratique d'AP (e.g., maladie cardiaque, jambe cassée, cécité visuelle).

3.1.4 Procédure

3.1.4.1 Recueil des données

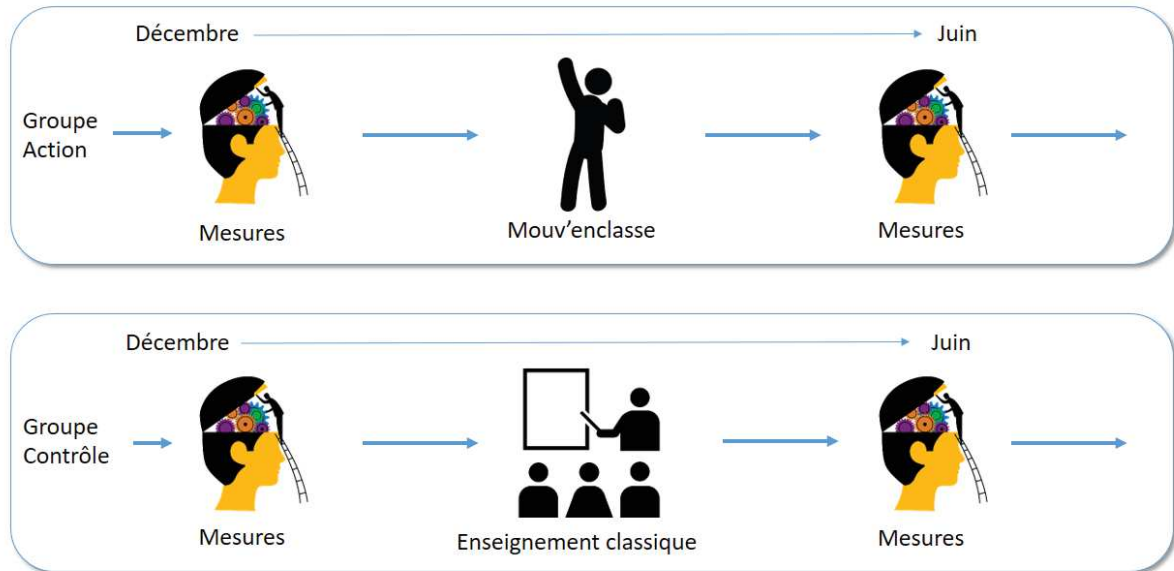
Les données sont récoltées à deux temps de mesure T1 et T2 pour chaque participant et dans les deux groupes (GA et GC). Les mesures de T1 ont servi de ligne de base et ont été récoltées avant l'implémentation du programme *Mouv'enclasse* dans le GA. Les mesures de T2 ont été récoltées en fin d'année scolaire, soit à la fin de la période d'implémentation de *Mouv'enclasse* dans le GA (voir figure 43). A chaque temps, les mesures ont été faites en trois phases rigoureusement identiques :

1. Recueil des données d'AP et de la performance académique
2. Recueil des données de QDV à l'école

3. Recueil des données relatives aux FE

Figure 43

Plan d'expérimentation longitudinal avec groupe contrôle en pré/post intervention via le programme Mouv'enclasse



La phase de recueil des données d'AP a duré une semaine. Chaque jour de classe, pendant 10 à 15 minutes, les élèves renseignaient les AP qu'ils avaient faites dans leur journal d'AP avec l'aide de leur enseignant. Les enseignants nous remettaient les journaux d'AP remplis lors de notre venue pour la deuxième phase de recueil des données. Les enseignants remplissaient durant cette semaine la grille d'appréciation de la performance académique de leurs élèves participant à l'étude.

La deuxième phase de recueil des données était allouée au recueil des données de QDV à l'école. Les expérimentateurs, au nombre de deux, se rendaient en classe et étaient introduits par l'enseignant référent. L'expérimentateur 1 expliquait que les chercheurs ont besoin de la participation des élèves pour en savoir plus sur la qualité de vie à l'école des élèves. S'ensuivait l'élaboration d'une définition participative, avec les élèves, de ce que pouvait être la qualité de vie à l'école. L'expérimentateur 1 rappelait que seuls les élèves autorisés par leurs parents pouvaient participer, que la participation était volontaire et que, s'ils n'avaient plus envie de participer, ils pouvaient mettre fin à leur participation. Il rappelait aussi que la participation était anonyme, que personne ne pouvait savoir qui a répondu quoi. Enfin, il insistait sur le fait que, ce qui nous intéressait, était l'avis de chacun et qu'il était important de répondre « comme chacun pensait » ; qu'il n'y avait que des bonnes réponses du moment que c'était bien ce que chacun « pensait dans sa tête ». Ensuite, l'expérimentateur 1 donnait les consignes de remplissage et lisait chaque item ainsi que ses modalités de réponse. Lorsque les élèves avaient répondu, il passait à l'item suivant et s'adaptait au rythme de la classe.

L'expérimentateur 2 passait dans les rangs pour venir en aide aux élèves qui pouvaient rencontrer des difficultés sans les influencer dans leurs réponses (i.e., reformulation avec des termes proches de même valence et avec un ton neutre). A l'issue du remplissage du questionnaire, les élèves étaient félicités de leur sérieux et remerciés de leur participation. La phase 3 de mesure des FE était faite selon la même procédure que dans l'étude 1. Pour rappel, ces phases sont reconduites à T2.

A T2, les enseignants du GA recevaient les outils de mesure des représentations des élèves et des enseignants vis-à-vis du programme Mouv'enclasse. L'activité de dessin se faisait en classe entière et les enseignants veillaient à ce que les élèves produisent leur réponse individuellement. De leur côté, les enseignants remplissaient le questionnaire qui leur était destiné. Un goûter était offert à chacune des classes ayant participé à l'étude.

3.1.4.2 *Plan d'analyses des données*

Les statistiques descriptives (indices de premier et de second ordre) de cette étude ont été calculées à l'aide du logiciel SPSS version 21 (SPSS Inc., Chicago IL). Nous avons recherché la présence de données aberrantes (i.e., observations situées à plus de 2,2 ET de Q3) (Hoaglin & Iglewicz, 1987) et testé la normalité de la distribution des variables d'intérêt à l'aide du test Kolmogorov-Smirnov (KS) dont H0 est l'hypothèse de normalité et H1 l'hypothèse de non-normalité. Les distributions étaient largement distribuées de manière non-normale. Nous avons donc fait appel à des tests basés sur les rangs.

3.1.4.2.1 *Analyse de médiation*

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel AMOS v.21. Le modèle étudié nécessitait une centaine d'observations. Nous avons inclus les données issues de T1, ligne de base, afin d'éviter tout biais lié à l'appartenance à un groupe (GA vs. GC) compte tenu de la faible taille de notre échantillon. L'influence du genre des individus sur le modèle a été vérifiée par des liens directs entre cette variable et les variables latentes du modèle. Nous avons préféré valoriser une extraction par la méthode des moindres carrés généralisés (GLS) puisque celle-ci répond mieux aux contraintes liées aux variables étudiées en sciences humaines et sociales que la méthode de maximum de vraisemblance (i.e., variables ordinales, dichotomiques, violation de normalité) (Gana & Broc, 2018). Comme la méthode GLS est basée sous hypothèse de non-violation de normalité multivariée, nous avons mené un test de normalité multivariée (non-violation univariée pour des valeurs de Skewness comprises entre -2 et 2 et des valeurs de Kurtosis < 7 (Cohen et al., 2003) et non-violation multivariée pour un critical ratio (CR) de Kurtosis < 5 (Bentler, 2006)). Cette méthode n'est applicable que sur des matrices sans données manquantes et nous n'avons travaillé que sur les données complètes.

La pertinence des variables latentes choisies par rapport à la force de leur lien avec les variables manifestes a été étudiée. L'adéquation du modèle a été étudiée à l'aide d'indices d'ajustement absolus, incrémentaux et de parcimonie (Kline, 2016) : les indices d'ajustement absolus sont le χ^2 d'ajustement pour lequel l'hypothèse nulle est le bon ajustement du modèle. Le χ^2 est sensible à la taille d'échantillon et peut souvent devenir significatif. Il est alors nécessaire de prendre en compte d'autres indices d'ajustement absolu comme le Goodness of Fit Index (GFI) ou sa version ajustée plus parcimonieuse (AGFI). Cet indice s'intéresse à la proportion de variance expliquée par la covariance estimée de la population et est analogue au R^2 . Un modèle ajusté doit satisfaire un (A)GFI > ,90 (GFI > ,95 pour $N < 300$). L'indice Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) est un indice de mauvais ajustement du modèle, un ajustement peu parcimonieux. Il est souhaitable qu'il soit au plus proche de 0. Un modèle dont RMSEA < ,05 est correct et < ,08 acceptable. Les indices incrémentaux comparent le modèle étudié à un modèle indépendant plus restrictif ou à un modèle nul. Ces indices sont le Normed Fit Index (NFI) mais cet indice peut être sensible à la taille d'échantillon et on lui préfère le Tucker Lewis Index (TLI) qui est non-normal pour de faibles échantillons. On retrouve aussi le Comparative Fit Index (CFI) qui est une actualisation du NFI mais peu sensible à la taille d'échantillon. Ces indices satisfont des valeurs > ,90 pour les modèles ajustés. Enfin, la parcimonie du modèle peut être évaluée à l'aide du rapport entre divergence minimum divisée par son degré de liberté que l'on note CMIN/df. Ce rapport est < 3 dans des modèles parcimonieux et < 1 dans d'excellents modèles.

Le modèle de médiation par les FE a été évalué suivant les recommandations de l'actualisation de la méthode de Baron & Kenny (Shrout & Bolger, 2002). La force et la significativité du lien direct entre l'AP et la performance académique ont été vérifiées puis celles des liens directs en jeu dans l'analyse de médiation. La significativité du lien indirect a été étudiée par une analyse de bootstrap avec correction des biais (intervalle de confiance 95% et $n = 500$ échantillonnages). Si la valeur nulle est comprise dans l'intervalle de confiance, l'hypothèse nulle d'un lien indirect ne pourra pas être rejetée. Nous avons rapporté des estimations des liens standardisées par soucis de comparabilité des résultats.

3.1.4.2.2 Trajectoires de développement et comparaison entre les groupes

Les trajectoires de développement entre T1 et T2 pour l'ensemble des participants ont été appréciées à l'aide du test de rangs signés de Wilcoxon pour échantillon apparié. Sous H_0 , il est supposé que les différences de signe positifs et négatifs se compensent et l'hypothèse alternative H_1 suppose que les distributions des deux échantillons appariés diffèrent. Ces statistiques de comparaison dans le temps ont été menées pour les variables liées aux FE de base, la durée de pratique d'AP, la

performance académique et la QDV à l'école. Nous avons reconduit des analyses similaires pour chacun des deux groupes afin d'apprécier les trajectoires spécifiques des participants du GA et du GC.

Pour de juger de l'efficacité de l'intervention, nous avons utilisé un modèle linéaire général mixte (ANOVA mixte) afin de quantifier ces différences sur les variables d'intérêt avec le temps de mesure (T1 vs. T2) en tant que facteur répété et le groupe (GA vs. GC) en tant que facteur inter-sujet. Nous avons vérifié les conditions d'égalité des matrices de covariance par le test de Box et de sphéricité par le test de Mauchly ($p > ,20$). Comme nous avons, pour certaines mesures, violé la condition de normalité des distributions sur l'usage des tests paramétriques, nous avons procédé à des analyses supplémentaires par des procédures non-paramétriques. Pour chaque participant, nous avons créé un score différentiel (différentiel = $T2 - T1$) pour refléter son évolution pour chaque variable. Nous avons ensuite comparé l'évolution entre les groupes à l'aide du test U de Mann et Whitney (comparaison entre deux groupes indépendants basée sur les rangs). H_0 indique ici que la distribution des rangs moyens du différentiel ne diffère pas entre le GA et le GC et l'hypothèse alternative que les distributions diffèrent en fonction du groupe. Le différentiel a été calculé pour les variables liées aux FE de base, la durée de pratique d'AP, la performance académique et la QDV à l'école.

3.1.4.2.3 Evaluation du programme

Evaluation par les élèves. Les indices graphiques des dessins ont été relevés par 2 juges. Pour chaque indice, le degré d'accord inter-juges était parfait ($kappa$ de Cohen $k \in [,85 ; 1]$, $p < ,05$ pour chaque indice graphique) alors les analyses ont été menées à partir d'une des deux grilles tirées au hasard. Nous avons étudié le pourcentage d'occurrence de chaque indice dans les dessins et avons conduit une analyse de comparaison du nombre d'indices utilisés en fonction du genre via le du test U de Mann-Whithney. L'analyse de contenu des questions ouvertes a été réalisée par occurrence de mots-clés à partir desquels nous avons dégagé des tendances générales en termes d'appréciation du programme Mouv'enclasse.

Evaluation par les enseignants. Nous avons réalisé des diagrammes de Kaviat pour favoriser la lisibilité de la distribution des réponses des trois enseignants qui ont participé sur leur représentation du programme Mouv'enclasse.

3.1.5 Hypothèses

3.1.5.1 Axe 1

3.1.5.1.1 Objectif 1 : Etudier dans quelle mesure les FE peuvent expliquer le lien entre la pratique d'AP et la performance académique

- ❖ Hypothèse théorique 6 : Nous nous attendons à ce que les FE de base constituent un médiateur du lien entre l'AP et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6a* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre l'AP et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6b* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre l'AP et les FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 6c* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre les FE de base et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6d* : Nous nous attendons à observer un effet indirect entre l'AP et la performance académique via les FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 6e* : Nous nous attendons à ce que l'inclusion des FE de base comme médiateur du lien AP-performance académique dans le modèle rende l'effet direct initial non significatif.

3.1.5.2 Axe 2

3.1.5.2.1 Objectif 2 : Etudier l'effet de l'inclusion d'un programme d'AP sur le développement des FE et sur l'AP, la performance académique et de la QDV à l'école

- ❖ Hypothèse théorique 7 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise le développement des FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 7a* : Nous nous attendons à ce que le score 4 du test de Stroop augmente davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.
 - *Hypothèse opérationnelle 7b* : Nous nous attendons à ce que l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi augmente davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.
 - *Hypothèse opérationnelle 7c* : Nous nous attendons à ce que le nombre d'erreurs persévératives au WCST diminue davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.
- ❖ Hypothèse théorique 8 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise la performance académique des élèves.

- *Hypothèse opérationnelle 8* : Nous nous attendons à observer une augmentation de la performance relative des élèves en français et en mathématiques pour le GA uniquement.
- ❖ Hypothèse théorique 9 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise le maintien de la QDV à l'école.

Hypothèse opérationnelle 9 : Nous nous attendons à ce que les scores aux dimensions de QDV à l'école ne diminuent pas entre T1 et T2 pour le GA uniquement.

3.1.5.2.2 Objectif 3 : Etudier les représentations des participants (élèves et enseignants) sur leur vécu vis-à-vis du programme d'AP mis en place

- ❖ Hypothèse théorique 9 : Nous nous attendons à ce que les élèves aient pu intégrer les différentes dimensions qui définissent les pauses actives en classe et qu'ils aient apprécié le programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 9a* : Nous nous attendons à retrouver dans les dessins des élèves des marqueurs graphiques définissant les pauses actives : des marqueurs d'AP, de présence de l'enseignant et des autres élèves, de la salle de classe, des bulles de texte et des indices métaphoriques liés aux activités du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 9b* : Nous nous attendons à ce que les élèves déclarent des avis positifs envers le programme et les activités proposées.
- ❖ Hypothèse théorique 10 : Nous nous attendons à ce que les enseignants aient une représentation positive du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 10a* : Nous nous attendons à ce que les enseignants aient des représentations positives envers le programme dans lequel ils se sont engagés.
 - *Hypothèse opérationnelle 10b* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive les livrables.
 - *Hypothèse opérationnelle 10c* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive la faisabilité du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 10d* : Nous nous attendons à ce que les enseignants rapportent des effets bénéfiques du programme pour leur classe et pas d'effet négatif pour leur classe.
 - *Hypothèse opérationnelle 10e* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive la possibilité du déploiement du programme tel qu'il a été initialement construit.

3.2 Résultats

3.2.1 Caractéristiques initiales de l'échantillon

Les participants étaient des élèves issus d'écoles élémentaires publiques REP volontaires de la ville de Montpellier. La ville comprend 23 écoles élémentaires REP et cinq d'entre elles étaient intéressées par le projet. Compte-tenu du rôle coûteux de l'enseignant pour le GA et de notre préférence de recruter les classes des deux groupes dans des écoles comparables, idéalement dans la même école, trois écoles ont pu être retenues. Deux d'entre elles comprenaient une classe du GA et une classe du GC. Une troisième classe d'une troisième école a été incluse au GA, mais nous n'avons pas pu lui recruter de GC. Cette classe avait la particularité de mêler des élèves de deux niveaux : CE1 et de CE2. Compte-tenu de la nature de notre matériel, seuls les élèves de CE2 ont participé à l'étude. Le taux de participation des élèves des classes volontaires est de plus de 97% (i.e., 3 refus parentaux sur l'ensemble de l'échantillon).

Nous avons pu identifier que, contrairement aux conditions d'inclusion et de non-inclusion susmentionnées, des participants n'ayant pas l'âge attendu pour l'appartenance à la classe de CE2 ont participé à l'étude. Quatre participants avaient plus de 9 ans, les données relatives à ces participants ont été retirées des analyses. Les participants avaient $M = 8;4$ ans ($ET = 4$ mois) au premier temps de l'étude (mesure faite en mi-décembre de l'année scolaire en cours). On comptait 48 filles et 45 garçons dans l'échantillon qui étaient très majoritairement droitiers (87% de l'échantillon) dans les mêmes proportions qu'observé par ailleurs dans des places et cultures proches de la nôtre (Kovel et al., 2019). Les caractéristiques démographiques des participants que nous avons pu relever montraient que le GA et le GC ne différaient pas statistiquement (voir tableau 10).

Tableau 10

Caractéristiques démographiques initiales des participants

Caractéristiques démographiques	Ensemble des participants N = 95	Groupe contrôle (GC) n _{GC} = 41	Groupe action (GA) n _{GA} = 54	GC vs. GA, Significativité bilatérale
Genre				
Filles, n (%)	48 (52)	20 (51)	28 (52)	Test exact de Fisher $p = 1,00$
Garçons, n (%)	45 (48)	19 (49)	26 (48)	
	<i>Donnée manquante pour n = 2 participants (2,1%)</i>			
Age, an, Moy (ET)	8,37 (,30)	8,42 (,36)	8,33 (,25)	U = 949, Z = -1,19, $p = ,24$
	<i>Donnée manquante pour n = 2 participants (2,1%), imputation à la moyenne</i>			
Latéralité manuelle				
Droite, n (%)	81 (87)	36 (92)	45 (83)	Test exact de Fisher $p = ,23$
Gauche, n (%)	12 (13)	3 (8)	9 (17)	
	<i>Donnée manquante pour n = 2 participants (2,1%)</i>			

3.2.2 Analyses préliminaires

Nous avons présenté ici les statistiques descriptives de la ligne de base, soit des mesures relevées à T1. Les statistiques descriptives relatives à T2 sont présentées en annexe 7.

3.2.2.1 Description des scores aux mesures des fonctions exécutives

3.2.2.1.1 Test de Stroop

A T1, nous avons pu recueillir des données valides pour 37 participants du GC et 53 participants du GA au test de Stroop, soit respectivement 9,8% et 1,9% de données manquantes à l'examen. Le résumé graphique de la distribution des scores est disponible en annexe 6.

Lecture 1. Lors de l'épreuve de lecture 1, les participants du GC parvenaient à lire correctement $M = 70,76$ mots ($ET = 13,04$) et ceux du GA $M = 68,62$ mots ($ET = 17,18$). Nous avons testé la normalité des distributions à l'aide du test KS. Ce dernier indiquait une distribution non-normale des données pour le GC et une distribution normale pour le GA, respectivement $D(37) = ,17$, $p = ,007$ et $D(53) = ,13$, $p = ,23$. Nous avons comparé les scores des deux groupes via un test U de Mann & Whitney. Le test n'a pas mis en avant de différence significative de distribution des scores à cette tâche ($p = ,80$). Les groupes étaient statistiquement équivalents à la tâche de lecture 1 du test de Stroop, avant intervention. Les garçons ($Mdn = 75,5$) lisaient davantage de mots que les filles ($Mdn = 70$), $U = 1253,00$, $Z = 2,16$, $p = ,03$.

Lecture 2. Lors de l'épreuve de lecture 2, les participants du GC parvenaient à lire correctement $M = 64,49$ mots ($ET = 12,4$) et ceux du GA $M = 64,28$ mots ($ET = 14$). Nous avons testé la normalité des distributions à l'aide du test KS. Ce dernier indiquait une distribution normale des données pour le GC et une distribution non-normale pour le GA, respectivement $D(37) = ,12$, $p = ,20$ et $D(53) = ,14$, $p = ,01$. Nous avons comparé les scores des deux groupes via un test U de Mann & Whitney. Le test n'a pas mis en avant de différence significative de distribution des scores à cette tâche ($p = ,94$). Les groupes étaient statistiquement équivalents à la tâche de lecture 2 du test de Stroop, avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre sur le score à cette tâche.

Dénomination 3. Lors de l'épreuve de dénomination 3, les participants du GC parvenaient à dénommer correctement $M = 47,23$ couleurs ($ET = 9,00$) et ceux du GA $M = 44,28$ mots ($ET = 9,57$). Nous avons testé la normalité des distributions à l'aide du test KS. Ce dernier indiquait une distribution normale des données pour le GC et le GA, respectivement $D(37) = ,12$, $p = ,18$ et $D(53) = ,11$, $p = ,16$. Nous avons comparé les scores des deux groupes via un test U de Mann & Whitney. Le test n'a pas mis en avant de différence significative de distribution des scores à cette tâche, cependant, il y avait une différence tendancielle ($p = ,053$). Les groupes étaient statistiquement équivalents à la tâche de dénomination 3 du test de Stroop, avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre sur le score à cette tâche.

Interférence 4. Lors de l'épreuve d'interférence 4, les participants du GC parvenaient à dénommer correctement $M = 21,51$ couleurs ($ET = 5,86$) et ceux du GA $M = 21,28$ mots ($ET = 6,09$). Nous avons testé la normalité des distributions à l'aide du test KS. Ce dernier indiquait une distribution normale des données pour le GC et le GA, respectivement $D(37) = ,08$, $p = ,20$ et $D(53) = ,10$, $p = ,20$. Nous avons comparé les scores des deux groupes via un test U de Mann & Whitney. Le test n'a pas mis en avant de différence significative de distribution des scores à cette tâche, cependant, il y avait une différence tendancielle ($p = ,08$). Les groupes étaient statistiquement équivalents à la tâche d'interférence 4 du test de Stroop, avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre sur le score à cette tâche.

Interférence de Stroop. Le score d'interférence de Stroop calculé à partir des scores de dénomination 3 et d'interférence 4 est de $M = 25,87$ ($ET = 8,90$) pour le GC et de $M = 23$ ($ET = 8,17$) pour le GA. Nous avons testé la normalité des distributions à l'aide du test KS. Ce dernier indiquait une distribution normale des données pour le GC et du GA, respectivement $D(37) = ,09$, $p = ,20$ et $D(53) = ,09$, $p = ,20$. Nous avons comparé les scores des deux groupes via un test U de Mann & Whitney. Le test n'a pas mis en avant de différence significative de distribution des scores à cette tâche, cependant, il y avait une différence tendancielle ($p = ,13$). Les groupes étaient statistiquement équivalents à

l'indice d'interférence du test de Stroop, avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre.

3.2.2.1.2 Tâche des blocs de Corsi

Au premier temps de l'étude, nous avons pu recueillir des données valides pour 41 participants du GC et 54 participants du GA à la tâche des blocs de Corsi, soit 100% de données valides. La distribution de l'empan endroit et envers à T1 sont présentés en annexe 6.

MCT. Lors de l'épreuve d'empan endroit des blocs de Corsi, les participants du GC ont eu un empan endroit de $M = 4,93$ ($ET = ,82$) et ceux du GA un empan endroit de $M = 4,83$ ($ET = ,99$). Les test KS menés pour chacun des groupes indiquaient une distribution non-normale des données à cette épreuve ($p < ,001$). Le test U de Mann & Whitney n'a pas pu montrer de différence significative dans la distribution du GC et du GA ($p = ,59$). Des indices de rang résumaient mieux nos données : $Q1 = 4$, $Mdn = 5$, $Q3 = 5$ et $EI = 1$. Les groupes étaient statistiquement équivalents en empan mnésique endroit avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre sur le score à cette tâche.

MDT. Lors de l'épreuve d'empan envers des blocs de Corsi, les participants du GC ont eu un empan envers de $M = 4,07$ ($ET = 1,13$) et ceux du GA un empan envers de $M = 4,11$ ($ET = 1,27$). Les test KS menés pour chacun des groupes indiquaient une distribution non-normale des données à cette épreuve ($p < ,001$). Le test U de Mann & Whitney n'a pas pu montrer de différence significative dans la distribution du GC et du GA ($p = ,94$). Des indices de rang résumaient mieux nos données : $Q1 = 3$, $Mdn = 4$, $Q3 = 5$ et $EI = 2$. Les groupes étaient statistiquement équivalents en empan mnésique envers avant intervention. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre sur le score à cette tâche.

3.2.2.1.3 Test des cartes du Wisconsin

Nous avons pu recueillir des données valides pour $N = 95$ des participants au WCST, soit 100% de notre échantillon. Les résultats au test KS étaient significatifs pour l'ensemble des variables du WCST étudiées ($,01 < p < ,001$), elles ne se distribuaient donc pas selon une loi normale. Nous avons choisi de résumer les variables par des indices de rang.

Les résultats du test U de Mann et Whitney n'ont pas montré de différence significative entre le GA et le GC quant au nombre de réponses persévératives ($Mdn = 8$, $EI = 5$), le nombre d'erreurs persévératives ($Mdn = 8$, $EI = 4$) et le nombre d'échecs dans le maintien d'une stratégie de rangement des cartes ($Mdn = 0$, $EI = 1$) ($,11 < p < ,44$). Les deux groupes étaient équivalents et comparables à T1 pour ces variables.

Toutefois, des différences significatives au test U de Mann et Whitney ont été observées entre le GA et le GC. Le GC ($Mdn = 52$, $EI = 4,5$) a rangé correctement, significativement plus de cartes que le

GA (Mdn = 49, EI = 6), $p = ,002$. Par la même, le GA a commis significativement plus d'erreurs (Mdn = 15, EI = 6) que le GC (Mdn = 12, EI = 4,5). Cependant, nous avons pu noter que ce nombre d'erreurs significativement plus important pour le GA (Mdn = 6, EI = 3) que pour le GC (Mdn = 5, EI = 3,5) ne concernait que les erreurs non persévératives $p = ,005$. Le GC (Mdn = 48, EI = 7,5) a donné significativement plus de réponses conceptuelles que le GA (Mdn = 44, EI = 9,5), $p = ,01$ et il a réalisé davantage de catégories (Mdn_{GC} = 4, EI_{GC} = 1) que le GA (Mdn = 3, EI = 1), $p = ,02$. Aussi, le GC a eu besoin de significativement moins de cartes pour réaliser la première catégorie (Mdn = 11, EI = 1) que le GA (Mdn = 11, EI = 2,5), $p = ,003$.

Nous avons relevé des valeurs éloignées au-delà de 2,2 EI de Q3, mais ces valeurs étaient vraisemblables : $n = 4$ participants (deux dans chaque groupe) ont eu besoin de plus de 16 cartes pour remplir leur première catégorie. Cependant, ces participants n'ont pas montré de positions extrêmes dans d'autres dimensions du WCST. Un participant du GA a eu un nombre de réponses et d'erreurs de nature persévératives éloignées de plus de 2,2 EI de leur Q3 respectif. Cependant, ce participant n'a pas montré de position extrême dans d'autres dimensions du WCST. Le retrait de ces participants ne changeait rien en termes de différences initiales inter-groupe, leurs données n'ont pas été retirés des analyses. Les comparaisons des résultats aux variables du WCST en fonction du genre n'ont pas mis en avant de différence significative hormis pour le nombre d'erreurs non persévératives : les garçons (Mdn = 6) faisaient significativement plus d'erreurs non persévératives que les filles (Mdn = 5), $U = 1375,5$, $Z = 2,30$, $p = ,02$.

3.2.2.2 Description de la pratique d'activité physique

Nous avons pu recueillir les données en lien avec la pratique d'AP de 93 participants, soit 98% de notre échantillon. Les données d'un des participants s'éloignaient de plus de 2.2 EI de Q3 en termes de durée d'AP à T1 (et aussi à T2) et n'étaient pas vraisemblables, compte tenu du référentiel connu de pratique d'AP chez l'enfant. Nous avons choisi de retirer des analyses ces données de pratique d'AP extrêmes. La durée d'AP d'un des participants s'éloignait de plus de 1,5 EI de Q3 (mais de moins de 2.2 EI de Q3), nous n'avons pas considéré ces données comme aberrantes (Hoaglin & Iglewicz, 1987). Les analyses ont été menées auprès de $n = 92$ participants. La durée totale d'AP des participants sur une semaine présentait un résultat significatif au test KS ($p < ,001$). La distribution ne suivait pas la loi normale, des indices basés sur les rangs étaient adaptés pour en faire le résumé.

La durée d'AP médiane des participants était de 258 minutes par semaine (soit moins de 37 minutes par jour en moyenne) (Q1 = 143, Q3 = 823). Les résultats au test U de Mann & Whitney n'ont pas révélé de différence significative entre le GA et le GC pour la durée de pratique d'AP hebdomadaire, $U = 1204,00$, $p = ,20$. Les deux groupes étudiés ne différaient pas statistiquement sur leur pratique d'AP et

étaient comparables. La durée d'AP hebdomadaire des garçons (Mdn = 280) était significativement plus importante que celle des filles (Mdn = 221), $U = 1255,00$, $Z = 2,00$, $p = ,05$.

3.2.2.3 Description de la performance académique

Nous avons pu recueillir des données valides pour 41 participants du GC et pour 54 participants du GA, soit 100% de données valides. Les quatre mesures relatives à la performance académique dans chacun des deux groupes présentaient des résultats significatifs au KS, les distributions ne suivaient donc pas de loi normale. Les résultats aux tests de comparaison des distributions des variables de niveau scolaire entre le GA et le GC via le test U de Mann et Whitney étaient non significatifs avec un niveau de significativité allant de $p = ,239$ à $p = ,883$. Le GA et le GC étaient donc comparables.

Performance académique par rapport au niveau moyen de la classe. La distribution de la performance académique des élèves en français par rapport au niveau moyen de la classe pouvait être résumée par des indices basés sur les rangs : $Q1 = 2$ « en dessous du niveau moyen de la classe », Mdn = 3 « au niveau moyen de la classe » et $Q3 = 4$ « en dessus du niveau moyen de la classe », $EI = 2$, minimum = 1, maximum = 5. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre. La distribution de la performance académique des élèves en mathématiques par rapport au niveau moyen de la classe pouvait être résumée par des indices basés sur les rangs : $Q1 = 2$, Mdn = 3 et $Q3 = 4$, $EI = 2$, minimum = 1, maximum = 5. Les garçons (Mdn = 4) étaient plus performants que les filles (Mdn = 3), $U = 1423,00$, $Z = 2,71$, $p < ,05$.

Performance académique par rapport au niveau moyen attendu nationalement à ce stade de la scolarité. La distribution de la performance académique des élèves en français par rapport au niveau national moyen en CE2 pouvait être résumée par des indices basés sur les rangs : $Q1 =$ Mdn = 2 « en dessous du niveau moyen national » et $Q3 = 3$ « au niveau moyen national », $EI = 1$, minimum = 1, maximum = 5. Il n'y avait pas de différence significative liée au genre. La distribution du niveau académique des élèves en mathématiques par rapport au niveau national moyen en CE2 pouvait être résumée par des indices basés sur les rangs : $Q1 = 2$ « en dessous du niveau moyen national », Mdn = 3 et $Q3 = 3,5$, $EI = 1$, minimum = 1,5, maximum = 5. Les garçons (Mdn = 3) étaient plus performants que les filles (Mdn = 2), $U = 1423,00$, $Z = 2,71$ $p < ,05$.

La distribution des performances académiques des élèves en français en fonction du niveau moyen de la classe et en fonction du niveau moyen attendu nationalement sont comparées. Le test de rang signé de Wilcoxon montre que la performance académique des élèves en français par rapport au niveau moyen de la classe (Mdn = 3) est significativement supérieure à la performance académique des élèves par rapport au niveau moyen attendu nationalement (Mdn = 2), $X = - 7.69$, $p < ,001$. Nous observons le même pattern de résultat en mathématiques avec un niveau significativement supérieur

quand on compare l'élève au niveau moyen de sa classe (Mdn = 3 ; Q3 = 4) par rapport au niveau moyen attendu nationalement (Mdn = 3 ; Q3 = 3.5), $X = -7.22$, $p < ,001$.

3.2.2.4 Description de la qualité de vie à l'école

Nous avons pu recueillir des données valides pour $N = 95$ participants ($n_{GA} = 54$, $n_{GC} = 39$), soit 100% de notre échantillon. Les résultats au test KS des dimensions de l'échelle QoLS-fr étaient significatifs. La distribution des variables de liées à la QDV à l'école ne se distribuaient donc pas normalement, nous les avons résumées par des indices de rang (voir tableau 11). Les résultats des analyses de comparaison entre le GA et le GC pour les dimensions liées à la QDV via le test U de Mann et Whitney étaient non significatifs, avec un niveau de significativité allant de $p = ,24$ à $p = 1,00$. Le GA et le GC étaient comparables avant l'intervention en termes de QDV à l'école. Nous n'avons pas relevé de différence liée au genre entre les participants, le niveau de significativité au test U de Mann et Whitney allait de $p = ,17$ à $p = ,80$. Par ailleurs, aucune différence liée au genre n'a pu être observée sur aucune des dimensions de la QDV à l'école ($,19 < p < ,80$).

Tableau 11

Résumé de la distribution des scores aux dimensions de l'échelle QoLS-fr pour l'ensemble des participants

Dimensions	Plage	Q1	Mdn	Q3	Min	Max
QDV à l'école	[29 ; 116]	82	93	102	46	116
Relation à l'enseignant	[7 ; 28]	21	24	27	10	28
Relation aux pairs	[9 ; 36]	24	29	32	12	36
Environnement scolaire	[5 ; 20]	11	13	17	5	20
Satisfaction	[8 ; 32]	23	27	30	11	32

3.2.2.5 Données manquantes et attrition

A T1, nous avons pu recueillir des données valides pour la totalité de l'échantillon pour les mesures de mémoire, de flexibilité mentale, de niveau scolaire en français et en mathématiques et de QDV à l'école. Nous n'avons pas pu recueillir les données de $n = 5$ participants au test de Stroop : ces derniers manifestaient des difficultés de lecture et n'ont pas pu réaliser les tâches demandées. Nous avons 5,3% de données manquantes pour le test de Stroop. Nous n'avons pas pu avoir accès au journal d'AP de $n = 3$ participants qui l'avaient perdu et n'ont pas pu le retrouver, soit 3,2% de journaux manquants.

Entre T1 et T2, n = 2 participants ont déménagé, un du GA et un du GC. Aussi, en fin d'année scolaire, la présence de certains élèves était sporadique et, malgré des déplacements lorsque les élèves revenaient à l'école, nous n'avons pas été en mesure de faire toutes les mesures prévues chez tous les participants. Ainsi, nous n'avons pas pu réaliser les mesures liées aux FE chez 10,5% des participants. Parmi les élèves en difficulté en lecture à T1, seuls n = 2 d'entre eux n'ont pas été en mesure de répondre au test de Stroop à T2. Les enseignants nous ont aidés en gardant les questionnaires de QDV à l'école pour les faire remplir aux enfants quand ils reviendraient. Nous avons eu 9,5% de données manquantes sur les mesures liées à la QDV à l'école et 8,4% pour le rendu des journaux d'AP (dont n = 4 journaux perdus et n = 1 journal manquant à T1 et à T2).

3.2.3 Axe 1 : Les fonctions exécutives comme médiateur du lien entre la pratique d'AP et la performance académique

Objectif 1 : Etudier dans quelle mesure les FE peuvent expliquer le lien entre la pratique d'AP et la performance académique

- ❖ Hypothèse théorique 6 : Nous nous attendons à ce que les FE de base constituent un médiateur du lien entre l'AP et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6a* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre l'AP et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6b* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre l'AP et les FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 6c* : Nous nous attendons à observer un effet direct significatif positif entre les FE de base et la performance académique.
 - *Hypothèse opérationnelle 6d* : Nous nous attendons à observer un effet indirect entre l'AP et la performance académique via les FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 6e* : Nous nous attendons à ce que l'inclusion des FE de base comme médiateur du lien AP-performance académique dans le modèle rende l'effet direct initial non significatif.

3.2.3.1 Adéquation des modèles

Les variables étudiées présentaient des valeurs de Skewness comprises entre [,07 ; 2,05] et des valeurs de Kurtosis comprises entre [- 1,99 ; 5,17]. Le Kurtosis multivarié était de 5,14 avec un CR = 2,43. Les variables répondaient aux conditions de normalité univariée et multivariée nécessaires à l'utilisation de la méthode d'extraction par la méthode GLS (Bentler, 2006; Cohen et al., 2003). Nous avons testé un modèle de médiation du lien durée de pratique d'activité physique/performance académique par les FE de base.

Le modèle (voir figure 44) présentait un χ^2 d'ajustement non-significatif, indiquant un bon ajustement du modèle, $\chi^2(7) = 6,24, p = ,51$. Les autres indices d'ajustement absolu présentait une excellente adéquation ($GFI = ,98$ et $AGFI = ,93$) et le mauvais ajustement absolu du modèle est très proche de la valeur nulle ($RMSEA < ,001$). Les indices d'ajustement incrémentaux comparant le modèle au modèle dépendant le plus restrictif étaient excellents (TLI et $CFI = 1$) sauf pour le NFI , sensible à la taille de l'échantillon, qui était inférieur à la valeur seuil de $,90$ ($NFI = ,85$). L'indice de parcimonie du modèle était inférieur à 1 donc excellent ($CMIN/df = ,89$).

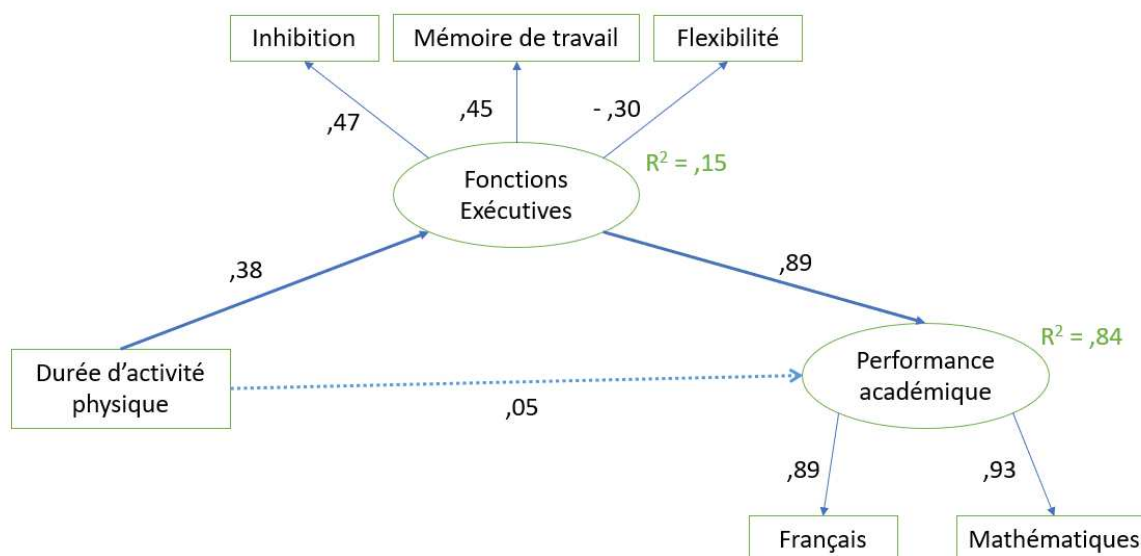
Les variables manifestes étudiées étaient toutes significativement liées à leurs variables latentes respectives. La variable latente en lien avec les FE de base était significativement liée aux scores obtenus à la tâche d'interférence 4 du test de Stroop (inhibition), à l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi (MDT visuo-spatiale) et au nombre d'erreurs persévératives au WCST (manque de flexibilité). Le modèle expliquait de 9 à 20% de la variance des scores des variables manifestes ($R^2_{\text{interférence}} = ,22$, $R^2_{\text{MDT}} = ,20$ et $R^2_{\text{flexibilité}} = ,09$). La variable latente liée à la performance académique a été envisagée par la position des participants par rapport au niveau national moyen attendu à ce stade de la scolarité en français et en mathématiques. Le modèle expliquait 78% de la variance de la position relative en français et 87% de la variance de la position relative en mathématiques.

L'inclusion de la variable genre n'était pas liée significativement aux variables latentes, seulement à la durée de pratique d'AP ($\beta = ,27, p < ,05$). L'inclusion de cette variable n'apportait pas de changement substantiel aux estimations du modèle (explication de 8% de la variance de la durée de pratique d'AP et +1% d'explication de la variance des variables latentes par rapport au modèle initial) et entachait les indices d'ajustement du modèle. Le genre n'a donc pas été pris en compte dans les analyses.

Dans le modèle testé, la performance académique et les FE étaient envisagées comme des variables latentes et la durée de pratique d'AP comme variable manifeste exogène (voir figure 44). L'effet direct de la durée de pratique d'AP seule (sans médiateur dans le modèle) sur la performance académique était significatif ($\beta = ,40, p < ,001, R^2 = ,18$). L'adjonction des FE comme médiateur entraînait une réduction de l'effet direct entre la durée de pratique d'AP et la performance académique, il devenait non-significatif ($\beta = ,05, p = ,75$). L'effet direct de la pratique d'AP sur les FE ($\beta = ,38, p < ,05$) et celui des FE sur les performances académiques ($\beta = ,89, p < ,05$) étaient significatifs. Nous avons testé l'effet indirect de la durée de pratique d'AP sur la performance académique ($\beta = ,38 \times ,89 = ,34$). L'analyse de bootstrap avec correction des biais (intervalle de confiance de 95% avec 500 échantillonnages) n'admettait pas de valeur nulle dans l'intervalle de confiance de la valeur de l'effet indirect $[,005 ; 1,37]$, et cet effet était significatif, $p = ,046$.

Figure 44

Modèle de médiation du lien entre la durée de pratique d'activité physique et la performance académique par l'efficiency des fonctions exécutives



Note : Les liens régressifs significatifs sont indiqués par des flèches pleines et les liens régressifs non significatifs par des flèches en pointillés. Les coefficients β standardisés sont indiqués en noir près des flèches de régression et les coefficients de détermination R^2 en vert près des variables endogènes.

3.2.4 Axe 2 : Effets et représentations liés à l'inclusion de pauses actives en classe

3.2.4.1 Effets des pauses actives

Objectif 2 : Etudier l'effet de l'inclusion d'un programme d'AP sur le développement des FE, de l'AP, de la performance académique et de la QDV à l'école

- ❖ Hypothèse théorique 7 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise le développement des FE de base.
 - *Hypothèse opérationnelle 7a* : Nous nous attendons à ce que le score 4 du test de Stroop augmente davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.
 - *Hypothèse opérationnelle 7b* : Nous nous attendons à ce que l'empan envers à la tâche des blocs de Corsi augmente davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.
 - *Hypothèse opérationnelle 7c* : Nous nous attendons à ce que le nombre d'erreurs persévératives au WCST diminue davantage pour les participants du GA que du GC entre T1 et T2.

- ❖ Hypothèse théorique 8 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise la performance académique des élèves.
 - *Hypothèse opérationnelle 8* : Nous nous attendons à observer une augmentation de la performance relative des élèves en français et en mathématiques pour le GA uniquement.
- ❖ Hypothèse théorique 9 : Nous nous attendons à ce que l'intervention favorise le maintien de la QDV à l'école.
 - *Hypothèse opérationnelle 9* : Nous nous attendons à ce que les scores aux dimensions de QDV à l'école ne diminuent pas entre T1 et T2 pour le GA uniquement.

Ce point du manuscrit est consacré à l'étude des effets de l'inclusion des pauses actives sur les variables d'intérêt. On y retrouve les statistiques s'intéressant à l'évolution des variables au sein de chacun des groupes et de comparaison des trajectoires d'évolution. Pour plus d'informations sur les distributions des données à T2 et les trajectoires prises par l'ensemble des participants, nous vous invitons à parcourir respectivement les annexes 7 et 8. Les résultats des analyses des scores différentiels par des manipulations non-paramétriques s'inscrivaient dans la lignée des résultats obtenus par les analyses de variance ; pour favoriser la lisibilité des résultats, ces analyses sont présentées en annexe 9.

3.2.4.1.1 Effets des pauses actives sur les fonctions exécutives

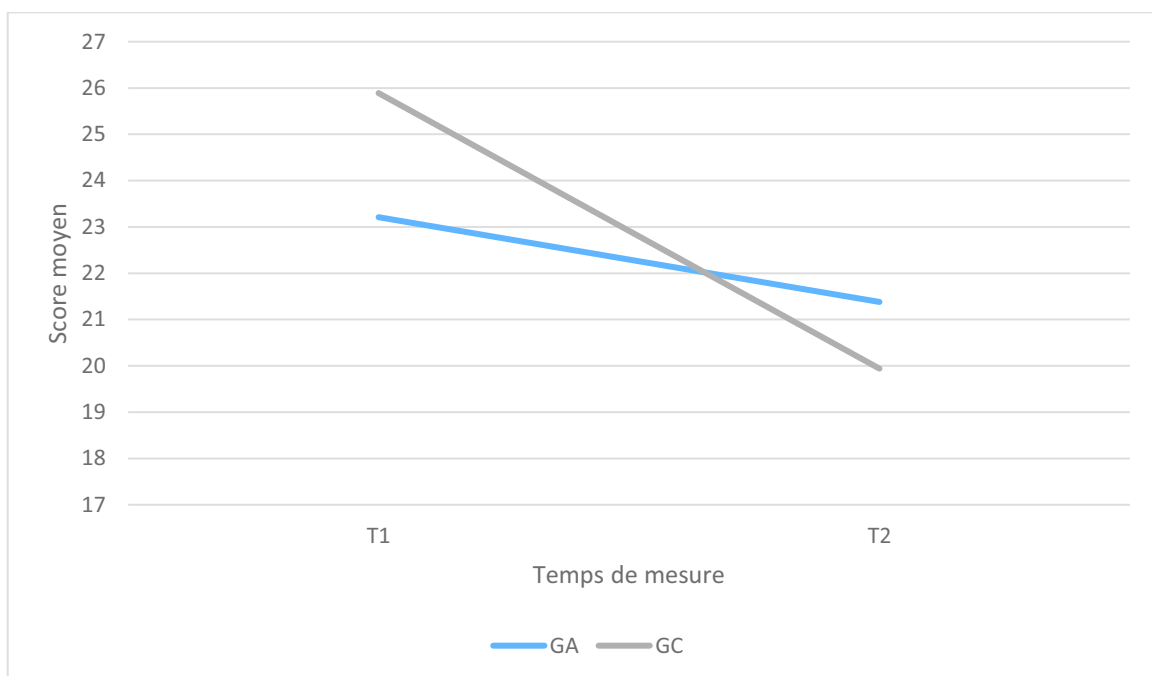
Test de Stroop. Les analyses intra-groupes ont montré que les scores des participants GA avaient augmenté significativement entre T1 et T2 à la tâche d'interférence 4 (Mdn_{T1} = 21, Mdn_{T2} = 24), $Z = 3,43, p = ,001$. En revanche, aucune différence significative de score entre T1 et T2 n'avait été observée à la tâche de dénomination 3, ni pour le score d'interférence de Stroop, $,12 < p < ,64$. Dans le GC, Les scores des participants diminuaient significativement entre T1 et T2 à la tâche de dénomination 3 (Mdn_{T1} = 48, Mdn_{T2} = 44) et au score d'interférence de Stroop (Mdn_{T1} = 26, Mdn_{T2} = 20), respectivement, $Z = -2,17, p = ,03$ et $Z = -3,52, p < ,001$. Les scores des participants du GC augmentaient significativement entre T1 et T2 à la tâche d'interférence 4 (Mdn_{T1} = 22, Mdn_{T2} = 24), $Z = 2,73, p = ,006$.

A la tâche de dénomination 3 du test de Stroop, nous n'avons pas observé d'effet principal, ni du temps, ni du groupe, respectivement, $F(1,80) = ,94, p = ,33$ et $F(1,80) = ,02, p = ,88$. A la tâche d'interférence 4, nous avons observé un effet principal du temps de mesure, $F(1,80) = 24,89, p < ,001$. Les participants donnaient significativement plus de bonnes réponses à T2 (M = 24,58, ET = 6,44) qu'à T1 (M = 21,55, ET = 6,03). Nous n'avons pas retrouvé d'effet principal du groupe, ni d'effet

d'interaction, respectivement, $F(1,80) = ,08, p = ,78$ et $F(1,80) = ,57, p = ,42$. Au score d'interférence de Stroop calculé à partir de la différence des scores des tâches d'interférence 4 et de dénomination 3, nous observons un effet principal du temps de mesure, $F(1,80) = 18,41, p < ,001$. Le score d'interférence de Stroop diminue significativement entre T1 (M = 24,35, ET = 8,54) et T2 (M = 20,77, ET = 7,00) ; mais nous n'avons pas pu observer d'effet principal du groupe $F(1,80) = ,17, p = ,68$. Enfin, nous observons un effet d'interaction $F(1,80) = 5,16, p = ,03$. L'interaction était croisée (voir figure 45) et la diminution du score d'interférence de Stroop du GC est bien plus importante que celle du GA, si bien que la moyenne des participants du GC qui se situait initialement au-dessus de celle du GA est devenue inférieure à celle du GA à T2.

Figure 45

Score moyen d'interférence de Stroop en fonction du temps de mesure et du groupe



Tâche des blocs de Corsi. Les analyses intra-groupes ont révélé que les participants du GA avaient eu des performances similaires aux deux temps de mesure T1 et T2 en tâche d'empan endroit (Mdn = 5) et en tâche d'empan envers (Mdn = 4), respectivement $p = ,36$ et $p = ,53$. Le même pattern de résultats était observé pour le GC : la distribution des performances du GC était statistiquement identique entre T1 et T2 en empan endroit (Mdn = 5) et en empan envers (Mdn = 4). Nous n'avons pas retrouvé d'effet principal du temps de mesure, ni du groupe, respectivement, $F(1,83) = 1,05, p = ,31$ et $F(1,83) = ,02, p = ,89$.

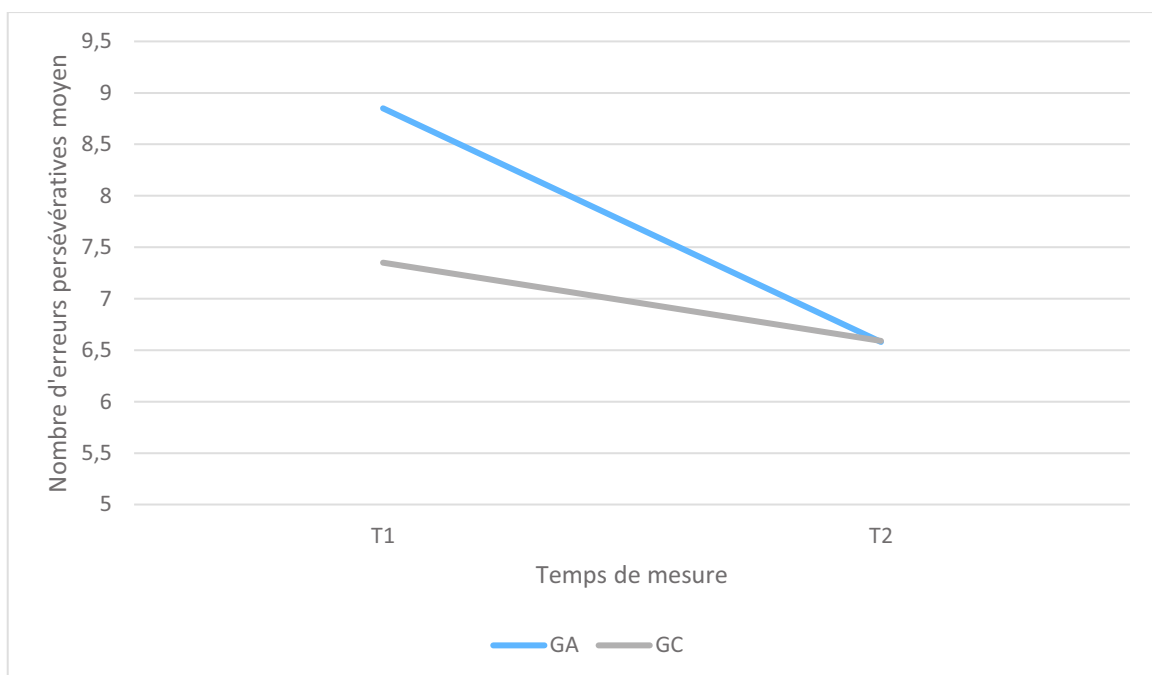
WCST. Les analyses intra-groupes ont montré que les scores des participants du GA au WCST avaient augmenté significativement entre T1 et T2 pour le nombre de réponses conceptuelles (Mdn T1

= 44, Mdn T_2 = 50), $Z = 3,93$, $p < ,001$. Les scores des participants du GA au WCST avaient diminué significativement entre T1 et T2 pour le nombre d'erreurs persévératives (Mdn T_1 = 8, Mdn T_2 = 6), $Z = -3,93$, $p < ,001$. Pour le GC, les performances des participants au WCST n'avaient globalement pas changé entre T1 et T2. Le nombre d'erreurs persévératives avait eu tendance à diminuer, $p = ,06$ et le nombre de réponses conceptuelles avait augmenté de façon tendancielle, $p = ,06$.

Pour le nombre d'erreurs persévératives, nous avons observé un effet principal du temps de mesure, $F(1,83) = 17,31$, $p < ,001$. Le nombre d'erreurs persévératives diminuait significativement entre T1 (M = 8,20, ET = 3,40) et T2 (M = 6,59, ET = 2,19), nous avons observé un effet tendanciel du groupe $F(1,83) = 2,22$, $p < ,14$ et nous observons un effet d'interaction entre ces variables, $F(1,83) = 4,33$, $p = ,04$. L'interaction (voir figure 46) a révélé que les participants du GA qui faisaient plus d'erreurs que le GC à T1 et rejoignaient les performances du GA à T2. La réduction des erreurs était plus importante pour le GA que le GC.

Figure 46

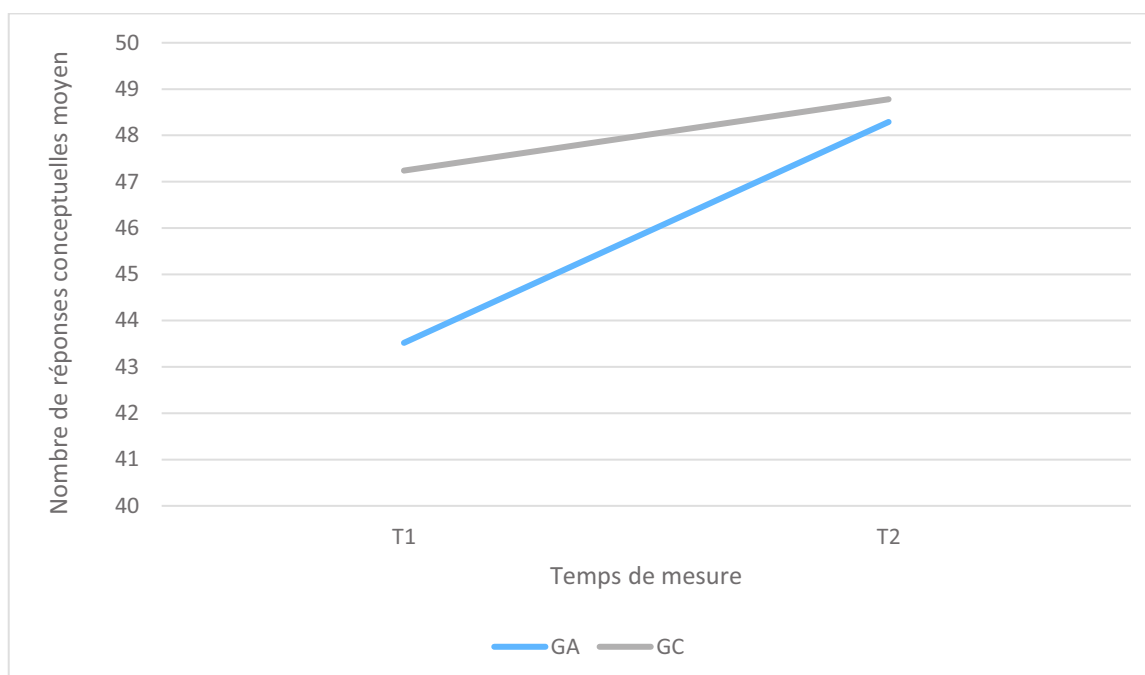
Nombre d'erreurs persévératives moyen au WCST en fonction du temps de mesure et du groupe



Pour le nombre de réponses conceptuelles, nous avons observé un effet principal du temps de mesure, $F(1,83) = 17,50$, $p < ,001$, un effet principal du groupe, $F(1,83) = 4,79$, $p < ,03$ et un effet d'interaction entre ces variables, $F(1,83) = 4,58$, $p < ,04$. L'interaction (voir figure 47) a révélé que les participants du GA avaient connu une augmentation du nombre de réponses conceptuelles entre T1 et T2 par rapport au GC.

Figure 47

Nombre de réponses conceptuelles moyen au WCST en fonction du temps de mesure et du groupe



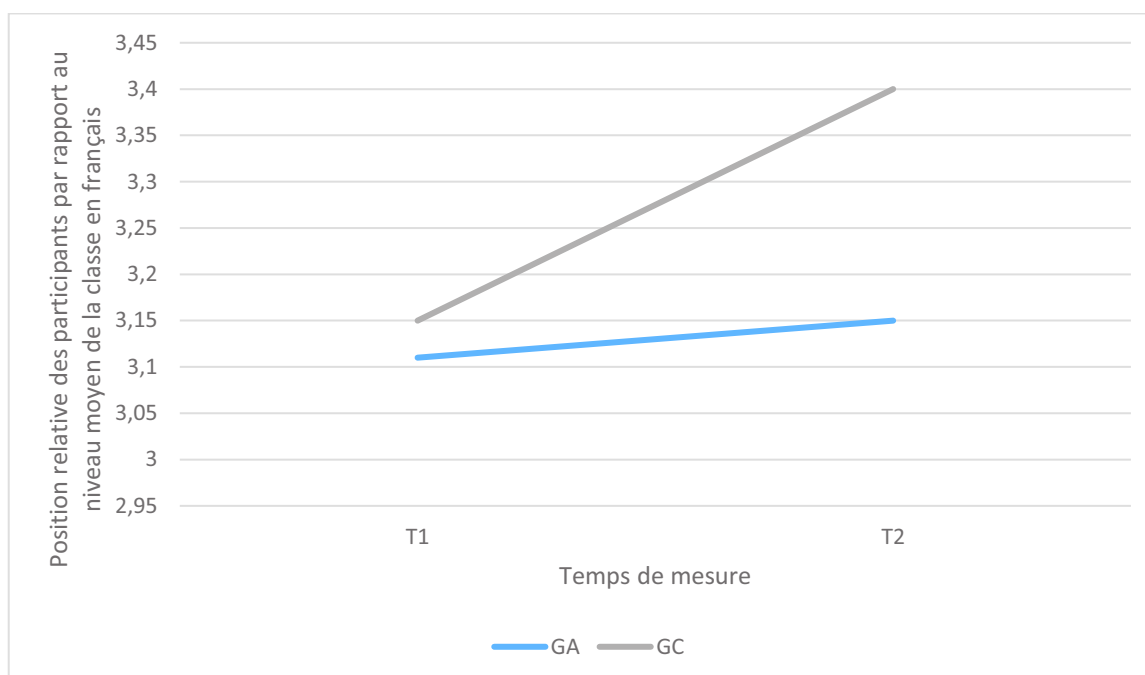
3.2.4.1.2 Effets des pauses actives sur les variables secondaires

Performance académique. Les analyses intra-groupes ont révélé que les participants du GA avaient eu des performances similaires aux deux temps de mesure T1 et T2 quant à la position de leur performance en français et en mathématiques par rapport au niveau moyen de leur classe, $p > ,18$; ainsi que quant à la position de leur performance en français et en mathématiques par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de l'année nationalement, $p > ,36$. Pour le GC, les participants avaient connu une augmentation significative de la position de leur performance académique en français entre T1 et T2 par rapport au niveau moyen de leur classe, $Z = 2,71$, $p = ,007$; et par rapport au niveau attendu nationalement, $Z = 2,50$, $p = ,01$. Aucune différence entre T1 et T2 n'a pu être observée en mathématiques pour le GC, $p > ,16$.

Nous retrouvons un effet principal du temps de mesure pour la position relative des élèves par rapport à leur classe en français et en mathématiques, respectivement, $F(1,91) = 7,33$, $p = ,008$ et $F(1,91) = 3,95$, $p = ,05$. La position relative des élèves a augmenté significativement entre T1 ($M = 3,13$, $ET=1,13$) et T2 ($M = 3,26$, $ET= 1,19$). Nous n'avons pas retrouvé d'effet principal du groupe, mais un effet d'interaction entre le temps de mesure et le groupe pour la performance académique en français par rapport à la classe en faveur d'une progression plus importante pour le GC que pour le GA $F(1,91) = 3,99$, $p = ,05$ (voir figure 48). Nous n'avons pas retrouvé d'autres effets significatifs. Nous ne retrouvons aucun effet principal du temps de mesure ou du groupe pour la performance académique des élèves par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de la scolarité ($p > ,27$).

Figure 48

Position relative des participants par rapport au niveau moyen de la classe en français



Activité physique. Les analyses intra-groupes ont révélé que les participants du GA n'avaient pas présenté de différence significative dans leur durée de pratique entre T1 et T2, $p = ,27$. Alors que celle des participants du GC avait augmenté significativement entre T1 et T2, $Z = 2,75$, $p = ,006$. Nous retrouvons un effet principal du temps de mesure, $F(1,83) = 9,70$, $p = ,003$. L'AP des participants a augmenté significativement entre T1 ($M = 303,92$, $ET = 204,23$) et T2 ($M = 399,83$, $ET = 259,01$). Nous ne retrouvons aucun effet principal du groupe, $F(1,83) = ,11$, $p = ,75$. Toutefois, nous retrouvons un effet d'interaction tendanciel (en faveur d'une augmentation plus importante pour le GC), $F(1,83) = 2,60$, $p = ,11$.

Qualité de vie à l'école. Les résultats aux tests de comparaison pour échantillons appariés n'ont pas révélé de différence dans les dimensions de la QDV à l'école entre T1 et T2 pour le GA, $p > ,25$. Les participants du GC n'ont pas non plus présenté de différence entre T1 et T2 aux variables de QDV à l'école globale, de relation aux pairs et d'environnement scolaire, $p > ,75$. Toutefois, dans le GC, le score de relation à l'enseignant ($Mdn_{T1} = 24$, $Mdn_{T2} = 22$) ainsi que celui de la satisfaction à l'école ($Mdn_{T1} = 28$, $Mdn_{T2} = 24$) ont réduit significativement entre T1 et T2, respectivement, $Z = -2,62$, $p = ,009$ et $Z = -2,07$, $p = ,04$. Nous observons un effet principal du temps de mesure pour la relation à l'enseignant et pour la satisfaction à l'école et un effet tendanciel pour la QDV globale, respectivement, $F(1,84) = 6,26$, $p = ,01$, $F(1,84) = 5,45$, $p = ,02$ et $F(1,84) = 3,06$, $p = ,08$. La qualité de vie à l'école baissait au cours de l'année scolaire dans les dimensions de relation à l'enseignant ($M_{T1} = 23,60$, $ET_{T1} = 4,13$, $M_{T2} = 22,50$, $ET_{T2} = 4,67$) et de satisfaction à l'école ($M_{T1} = 26,21$, $ET_{T1} = 5,10$, $M_{T2} = 24,81$, $ET_{T2} = 5,19$)

et baissait tendanciellement avec le temps pour le QDV à l'école globale. Nous n'avons pas retrouvé d'effet principal du temps de mesure pour la relation aux pairs et l'environnement scolaire ($p > ,31$). Nous n'avons observé aucun effet principal du groupe pour aucune des dimensions de la QDV à l'école ($p > ,34$), ni d'effet d'interaction ($p > ,47$).

3.2.4.2 Représentations du programme d'inclusion de pauses actives en classe

Objectif 3 : Etudier les représentations des participants (élèves et enseignants) sur leur vécu vis-à-vis du programme d'AP mis en place

- ❖ Hypothèse théorique 9 : Nous nous attendons à ce que les élèves aient pu intégrer les différentes dimensions qui définissent les pauses actives en classe et qu'ils aient apprécié le programme
 - *Hypothèse opérationnelle 9a* : Nous nous attendons à retrouver dans les dessins des élèves des marqueurs graphiques définissant les pauses actives : des marqueurs d'AP, de présence de l'enseignant et des autres élèves, de la salle de classe, des bulles de texte et des indices métaphoriques liés aux activités du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 9b* : Nous nous attendons à ce que les élèves déclarent des avis positifs envers le programme et les activités proposées.
- ❖ Hypothèse théorique 10 : Nous nous attendons à ce que les enseignants aient une représentation positive du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 10a* : Nous nous attendons à ce que les enseignants aient des représentations positives envers le programme dans lequel ils se sont engagés.
 - *Hypothèse opérationnelle 10b* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive les livrables.
 - *Hypothèse opérationnelle 10c* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive la faisabilité du programme.
 - *Hypothèse opérationnelle 10d* : Nous nous attendons à ce que les enseignants rapportent des effets bénéfiques du programme pour leur classe et pas d'effet négatif pour leur classe.
 - *Hypothèse opérationnelle 10e* : Nous nous attendons à ce que les enseignants évaluent de manière positive la possibilité du déploiement du programme tel qu'il a été initialement construit.

3.2.4.2.1 Difficultés rencontrées dans la mise en œuvre du programme

Lors du développement du programme Mouv'enclasse, il était envisagé que le temps des pauses actives compte pour partie du temps alloué aux enseignements en classe. Cette décision avait été prise compte-tenu du fait qu'allouer du temps de classe à de l'activité physique et réduire légèrement la durée effective des enseignements académiques n'avait pas eu d'effet délétère sur les performances académiques des élèves (Trudeau & Shephard, 2008). Cependant, les enseignants ont déclaré les temps de pauses actives comme des temps d'EPS.

Les classes qui ont participé au programme Mouv'enclasse étaient situées dans d'écoles d'architecture typique de la massification des constructions scolaires du milieu des années 60 de type « barre linéaire » (Barthelemy & Jeannin, 2019). Toutes les classes étaient situées au premier étage et deux des trois classes se situaient au-dessus d'une autre classe. Les enseignants ont rencontré des obstacles qui ont nécessité quelques ajustements :

- Deux classes ont rencontré des problèmes d'ordre acoustique et les pauses actives ont pu gêner d'autres classes. Une des classes s'est résolue à faire sa pause active au moment où la classe de l'étage inférieur était en cours d'EPS et une autre classe a décidé de mener les pauses actives dans le préau de l'école.

Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « La première pause active était attendue avec beaucoup d'enthousiasme par les élèves, et par moi-même. Ils ont de suite été dans l'activité et dans le respect des règles nécessaires à son bon déroulement. Le seul obstacle a été la vétusté des locaux (tremblements des murs et du sol, gênant les collègues alentours), nous avons donc décidé de faire les pauses actives à la fin de la récréation dans la cour de l'école et avons renommé l'activité « mov'en cour » ! »

- Une classe a rencontré des gênes d'ordre thermique et les pauses actives au mois de juin ont dû être menées dans la cour de l'école car il faisait trop chaud dans la salle de classe.
- Un enseignant a dû être remplacé durant plusieurs semaines. L'enseignant remplaçant a accepté de poursuivre les pauses actives, mais n'a pas pu bénéficier de la formation. Nous avons pallié à ce manque par un suivi et un soutien régulier.

3.2.4.2.2 Représentations des élèves

Représentation des pauses actives. Nous avons pu recueillir 41 dessins répondant à la consigne « dessine-moi une pause active », soit les dessins de 76% des participants de l'échantillon du GA à T1. Les dessins comprenaient en moyenne 3,41 (ET = 1,34) indices graphiques en lien avec les pauses actives (Mdn = 3, EI = 1,5) et le nombre d'indices graphiques utilisés était similaire dans les dessins des filles et des garçons (voir tableau 12). Un échantillon de dessins est présenté en annexe 12.

Tableau 12

Nombre d'indices graphique en fonction du genre des participants

Genre	N	Nombre d'indices graphiques				Test de comparaison
		Min	Max	Mdn (EI)	M (ET)	
Filles	18	2	6	3 (2)	3,5 (1,20)	U = 189,5, Z = - ,48
Garçons	23	1	7	3 (2)	3,35 (1,5)	$p = ,63$

La présence d'indicateurs graphiques a été évaluée dans les dessins recueillis (voir tableau 13). Tous les dessins évalués contenaient des personnages, sauf un qui était une représentation métaphorique de l'activité « saut de fusée ». 90% des dessins comprenaient un personnage dans une posture active physiquement et 71% comprenaient la présence de plusieurs personnages. L'école était représentée dans 54% des dessins, soit via la représentation de la salle de classe ou la cour de l'école. La configuration particulière des pauses actives a pu être identifiée dans 43% des dessins et la présence de l'enseignant dans 37% des dessins.

Tableau 13

Occurrence des indices graphiques en lien avec les pauses actives en classe dans les dessins

Indicateur graphique	Nombre de dessins dans lequel l'indicateur est retrouvé	Pourcentage de dessins dans lequel l'indicateur est retrouvé
Posture active	37	90
Dynamique de mouvement	11	27
Tenue de sport	5	12
Groupe	29	71
Enseignant	15	37
Arrangement	18	43
Classe	5	12
Cour	17	41
Métaphore	4	10
Discours	9	22

Appréciation des pauses actives. Nous avons pu recueillir les appréciations de 41 participants du GA sur les 54 participants inclus initialement. 88% des enfants ont déclaré avoir aimé voire adoré avoir effectué des pauses actives tout au long de l'année. Cet avis majoritaire était motivé par l'appréciation de la possibilité de se mouvoir en classe (n = 22 occurrences) : « j'adore bouger », « on peut bouger en classe » ; par une attitude affective positive d'amusement lors des activités proposées (n = 8 occurrences) : « c'est rigolo », « c'est cool » ; et par une attitude instrumentale des pauses actives comme bénéfiques pour la santé (n = 6 occurrences) : « ça me met en forme », « ça m'aide pour ma santé ». 5% (n = 2) des participants avaient des avis plus mitigés et 5% n'avaient pas apprécié faire des pauses actives. Ces avis minoritaires étaient motivés par des impressions de pauses trop courtes et des sensations désagréables de douleurs ou d'essoufflement (pour les avis négatifs uniquement). Les activités préférées par les participants étaient les squats (n = 10 occurrences), les simulations de course (course à pied et sprint sur place) (n = 9 occurrences), les sauts (n = 7 occurrences), la relaxation (mouvements lents empruntés au yoga des enfants) (n = 5 occurrences) et les mouvements d'esquive empruntés à la Capoeira (n = 4 occurrences). De plus, 4 participants ont déclaré avoir « tout aimé » sans distinction de préférence entre les activités. Les activités que les enfants ont le moins appréciées sont similaires à celles que d'autres ont le plus apprécié : les simulations de course (course à pied et sprint sur place) (n = 9 occurrences), les squats (n = 7 occurrences), les sauts (n = 5 occurrences), la relaxation (n = 5 occurrences). De plus, n = 10 participants ont déclaré n'avoir rien non apprécié.

3.2.4.2.3 Représentations des enseignants

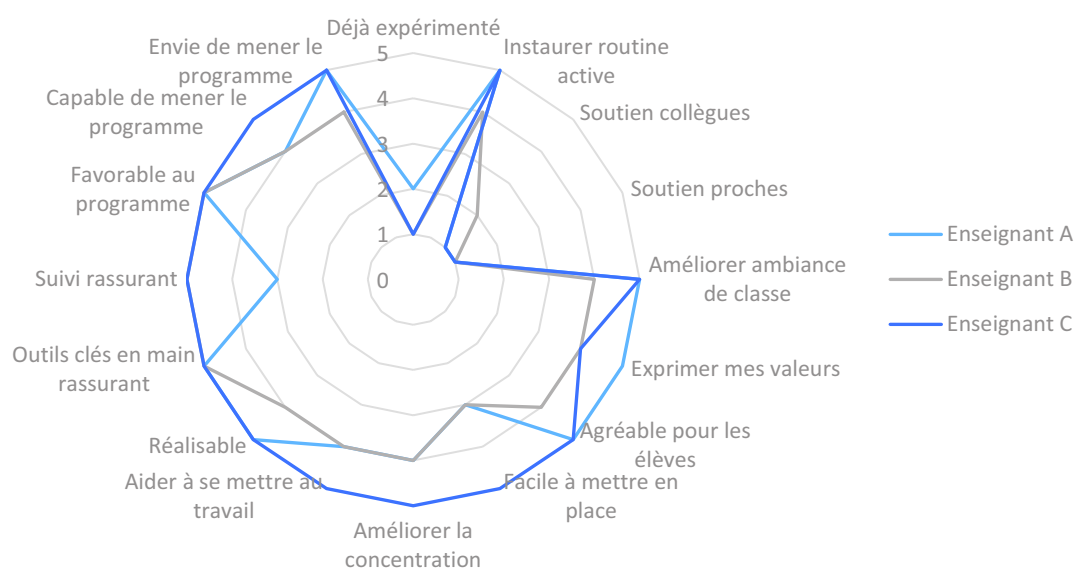
Nous avons étudié les représentations des enseignants vis-à-vis de Mouv'enclasse en amont du programme, leur évaluation des livrables (formation, suivi, guide pratique), la faisabilité de Mouv'enclasse, ses effets perçus sur la classe et son potentiel de déploiement perçu dans les écoles françaises. Le questionnaire a été renseigné par les trois enseignants du GA. Les réponses des enseignants ont été rapportées sur des diagrammes de Kiviat pour favoriser leur lisibilité et permettre leur comparaison.

Représentations en amont. Les réponses aux questions évaluant les représentations en amont du programme sont représentées sur la figure 49. Les trois enseignants étaient tout à fait favorables à mettre en œuvre le programme, le pensaient réalisable, avaient envie de le faire, et s'en sentaient capables (cotation 4 et 5 sur l'échelle de Likert). Ils n'avaient pas connu d'expérience similaire par le passé. Toutefois, ils voyaient dans ce programme une occasion d'instaurer une routine de vie active en classe en accord avec leurs valeurs et agréable pour les élèves. Ils pensaient que cette routine active pouvait avoir un impact positif sur l'ambiance de classe, la mise au travail et la concentration des élèves. Leurs avis n'étaient pas les mêmes quant à la facilité de mise en place du programme au cours

de l'année scolaire (cotation de 3 à 5 sur l'échelle de Likert). Disposer d'outils clés en main pour effectuer le programme les rassurait et disposer d'un suivi était aussi plutôt rassurant dans l'ensemble. Les enseignants n'ont pas disposé de soutien ou d'encouragement à s'engager dans cette entreprise de la part de leurs collègues ou de leurs proches.

Figure 49

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation des représentations en amont de l'application du programme Mouv'enclasse



Evaluation des livrables. Les réponses aux questions d'évaluation des livrables sont représentées sur les figures 50, 51 et 52. Tous les livrables ont été évalués de manière très positive en termes de clarté, de pédagogie, de facilité d'utilisation et de format. La formation et le guide pratique se sont révélés particulièrement utiles à la mise en place du programme. Les enseignants ont évalué le suivi comme adapté et nécessaire, mais n'ont pas souvent ressenti le besoin de s'en saisir.

Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « Parfait ce guide ! S'il fallait l'améliorer ce serait en rajoutant des pages d'activités (surtout pour la rubrique « se préparer » et la rubrique « se relaxer ») »

¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

Figure 50

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation de la formation à l'application du programme Mouv'enclasse

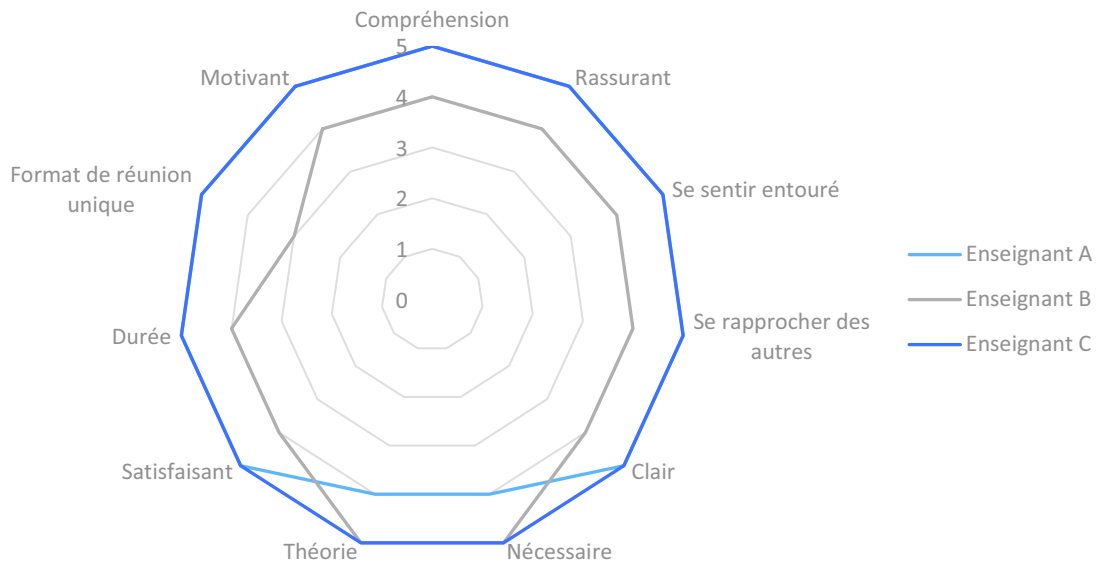
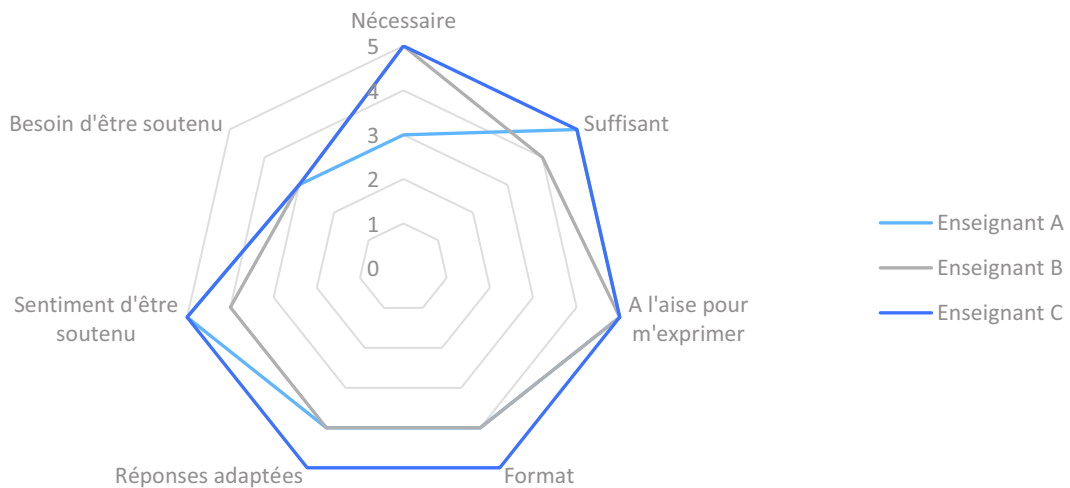


Figure 51

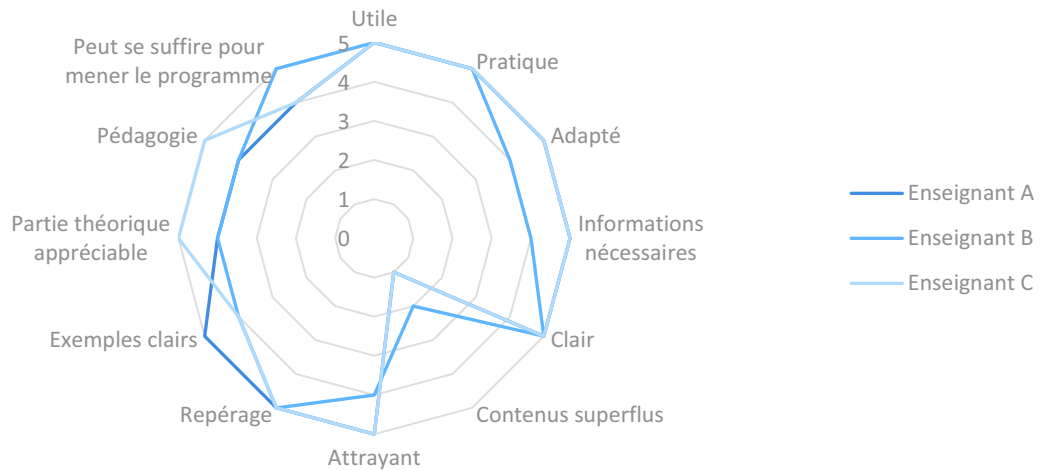
Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation du suivi et du soutien à l'application du programme Mouv'enclasse



¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

Figure 52

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation du guide pratique du programme *Mouv'enclasse*

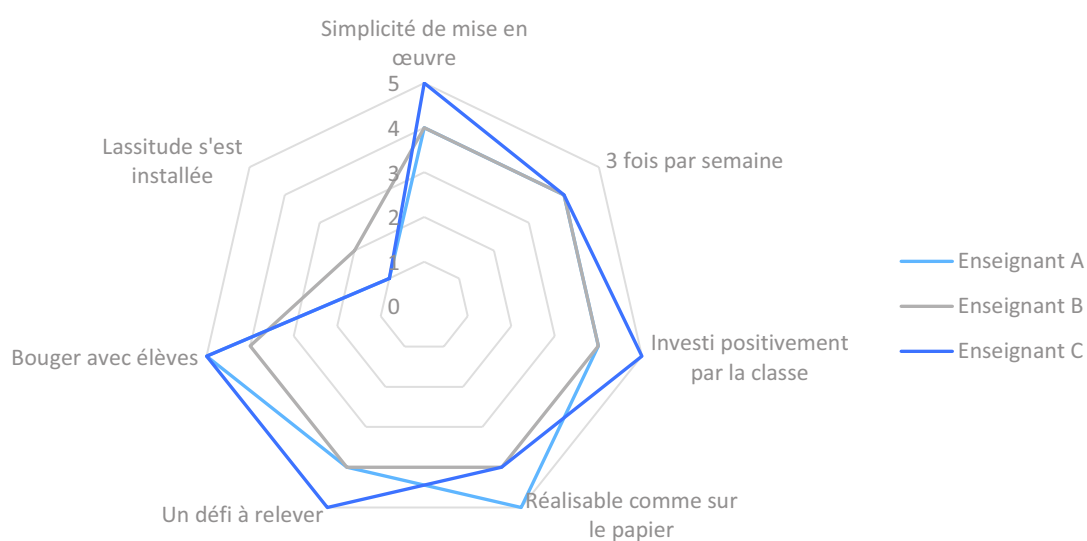


Faisabilité du programme. Les réponses aux questions de faisabilité sont représentées sur la figure 53. Les enseignants ont déclaré avoir globalement pu effectuer trois pauses actives par semaine comme nous l'avions envisagé en amont lors de la réunion de formation. Les pauses actives ont été envisagées comme des défis que la classe avait l'intention de relever de manière enthousiaste et les enseignants ont pu bouger avec leurs élèves. La mise en place s'est révélée relativement simple, comme sur le papier et les enseignants n'ont pas relevé, ou très peu, de lassitude à effectuer des pauses actives chez leurs élèves.

¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

Figure 53

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation de la faisabilité de Mouv'enclasse



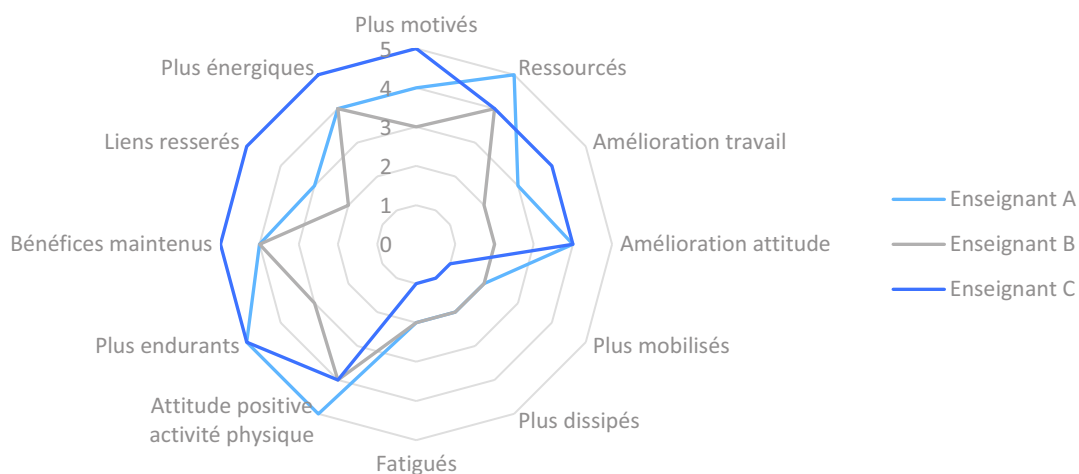
Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « J'ai fait participer les élèves aux deux premières phases une fois que le déroulement et les éléments demandés avaient été intégrés. Un ou deux élèves étaient au centre et proposaient les mouvements pour « se préparer » et 3 ou 4 autres faisaient la même chose pour la partie « bouger ». Cela a permis de maintenir leur attention et de les motiver encore plus pour rendre ce moment vivant et s'en sentir acteur. »

Effets perçus. Les réponses aux questions sur les effets perçus sont représentées sur la figure 54. Les trois enseignants ont perçu que les pauses actives ont permis aux élèves de se ressourcer, d'être plus énergiques, plus motivés, plus endurants et d'avoir une attitude plus positive envers la pratique d'AP. Toutefois, certains bénéfices n'ont pas été observés unanimement : certains enseignants ont observé des bénéfices en termes d'attitude en classe, de qualité du travail des élèves et de lien social entre les élèves et l'enseignant avec les pauses actives et d'autres pas. Aussi, les enseignants n'ont pas perçu d'effets négatifs liés aux pauses actives en termes de fatigue et de comportement en classe.

¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

Figure 54

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation des effets perçus du programme Mouv'enclasse



Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « Les enfants ont gagné en endurance et étaient plus disposés à se remettre au travail, bien plus bénéfique qu'une récréation qui aurait pris à la fois plus de temps et qui les aurait fait remonter en classe excités et/ou énervés. »

Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « A la suite des pauses actives, les élèves étaient plus concentrés sur les tâches demandées, plus persévérants face aux difficultés et se mettaient au travail plus rapidement. »

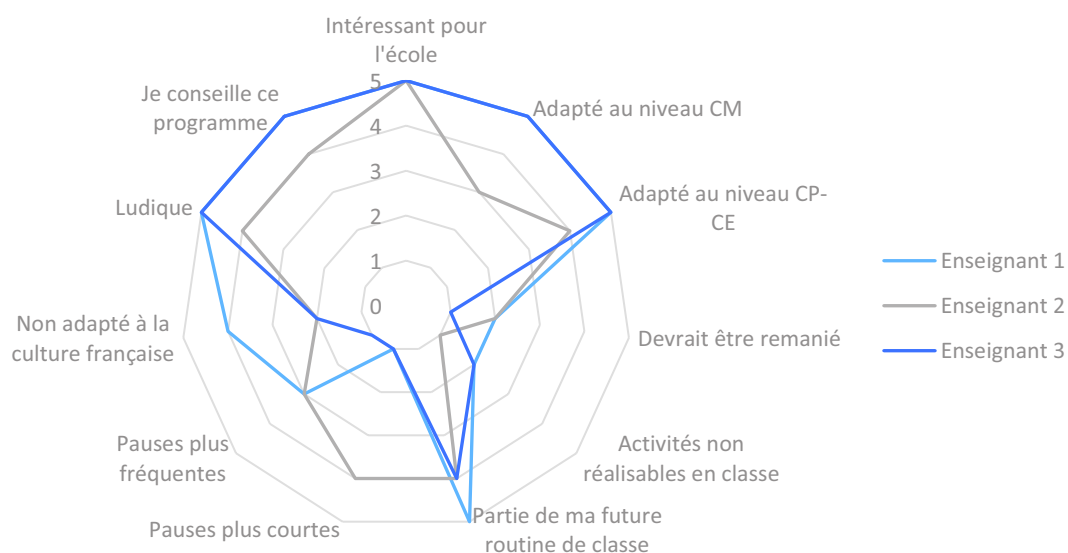
Déploiement. Les réponses aux questions sur le potentiel de déploiement dans les écoles françaises sont représentées sur la figure 55. Les enseignants qui ont expérimenté Mouv'enclasse comptent continuer à intégrer une routine de vie active en classe dans les années à venir. Ils ont trouvé le programme intéressant pour l'Education Nationale, ludique et le conseillent à leurs collègues. Ils ont trouvé le programme particulièrement adapté pour les enfants de niveau scolaire, mais leurs avis sont plus divergents pour les élèves de cours moyen. Le programme leur paraît applicable en l'état sans

¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

remaniements majeurs en termes de format (activités proposées, durée et de fréquence). Un des enseignants a témoigné une réserve quant à l'applicabilité du programme en l'état dans notre culture.

Figure 55

Réponses¹ des enseignants aux items d'évaluation du potentiel de déploiement du programme *Mouv'enclasse*



Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « Je pense que Mouv'en Classe, c'est la révélation, que c'est adaptable à tout âge, qu'il renforce la cohésion dans le groupe classe et le lien avec l'enseignant, il suffit d'avoir des collègues de pallier conciliants... »

Témoignage d'enseignant ayant participé à Mouv'enclasse : « Comme toute étude, comme tout projet, je pense qu'il faut être convaincu et volontaire pour que ça marche, c'est toujours plus compliqué quand ça nous est imposé [...] »

¹ Réponse selon le degré d'accord aux affirmations en 5 paliers de 1 = « jamais » à 5 = « toujours »

3.3 Discussion

Cette deuxième étude répond aux deux derniers objectifs généraux de cette thèse. Pour répondre au deuxième objectif général sur la place des FE dans l'explication du lien entre la pratique d'AP et la performance académique, nous avons testé un modèle de médiation du lien AP-performance académique par l'efficacité des FE. Pour répondre au troisième objectif général de cette thèse sur l'étude de l'effet de l'inclusion d'une pratique d'AP en milieu scolaire sur le développement des FE de base d'enfants scolarisés dans des écoles REP, leur AP et leur QDV à l'école, nous avons (1) étudié l'évolution de ces variables au cours de l'année scolaire pour l'ensemble des participants ; puis nous avons (2) étudié l'effet de l'inclusion de pauses actives sur les variables d'intérêt ; enfin, nous avons (3) étudié les représentations des participants au programme (élèves et enseignants) vis-à-vis de ce dernier.

3.3.1 Axe 1 : rôle médiateur des fonctions exécutives dans le lien entre la pratique d'activité physique et la performance académique

Nous avons étudié la nature des liens que pouvaient entretenir l'AP habituelle d'enfants de 9 ans avec l'efficacité de leurs FE de base et leur performance académique. Nous avons notamment testé si les FE pouvaient constituer un processus explicatif du lien entre l'AP habituelle et la performance académique. Cette étude est, à notre connaissance, la première à avoir investigué ces liens en prenant en compte la dimension de durée de pratique d'AP et la première à les avoir étudiés auprès d'une population d'enfants scolarisés dans des écoles REP/+ qui accueillent une part importante d'enfants issus de milieux défavorisés, i.e., plus de 60% et jusqu'à 75% en REP+ (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2017).

Le modèle de médiation du lien entre la pratique d'AP habituelle et la performance académique présente des indices d'ajustement acceptables et le modèle explique 84% de la variance de la performance académique des élèves de CE2. Les variables observées sont toutes significativement liées au construit latent, ce qui confirme nos hypothèses. La force des liens entre les variables observées et leur construit latent de FE ou de performance académique et la force des liens entre les variables étudiées s'inscrivent dans la lignée des travaux précédents qu'ils aient été menés sur le plan transversal comme longitudinal auprès de populations pédiatriques typiques (Aadland et al., 2017; Schmidt et al., 2017; van der Niet et al., 2014).

Conformément aux études et méta-analyses antérieures, nous observons isolément un lien significatif positif direct entre l'AP et la performance académique et un lien significatif positif direct entre les FE et la performance académique (Donnelly et al., 2016; Fuhs et al., 2014). De plus dans la lignée des travaux récents faisant l'hypothèse de l'existence d'un lien entre l'AP et les FE, nous

observons un lien significatif positif direct entre la durée de pratique d'AP hebdomadaire et l'efficacité des FE (de Greeff et al., 2018). Lorsque nous avons testé le modèle de médiation en intégrant les FE au modèle comme lien indirect entre l'AP et la performance académique, le lien direct significatif positif entre l'AP et la performance académique ($\beta = ,40^{***}$) devenait non significatif au profit du lien indirect par les FE. Nous observons donc une médiation complète du lien AP-performance académique par les FE (Shrout & Bolger, 2002), résultat similaire aux études antérieures menées sur d'autres aspects de l'AP (Schmidt et al., 2017; van der Niet et al., 2014).

Les constats relatifs au modèle d'analyse par équations structurelles permettent de confirmer les liens supposés entre l'AP, les FE et la performance académique. Ils nous permettent d'étendre nos connaissances sur la force des liens qu'entretiennent la durée de pratique habituelle d'AP avec les FE de base ($\beta = ,38^*$) et les FE de base avec la performance académique ($\beta = ,89^*$) chez les élèves de CE2 d'écoles REP. Le lien entre l'AP et les performances académiques est négligeable lorsque les FE sont prises en compte. Ce serait donc en agissant sur les FE que l'AP pourrait favoriser la performance académique. Les FE constitueraient alors un processus explicatif du lien que l'on peut observer entre l'AP et la performance académique. La réussite académique d'enfants issus de milieux défavorisés pourrait alors être favorisée par des actions visant l'amélioration des FE des enfants, ces dernières pouvant être stimulées par l'engagement dans des pratiques d'AP.

Ces résultats soutiennent l'idée que la cognition émerge de l'interaction entre un organisme et son environnement comme résultat de son activité sensori-motrice que l'on retrouve dans la théorie de la cognition incarnée (Smith, 2005) ou dans la perspective piagétienne dans laquelle l'adaptation de l'organisme à son milieu (Jean Piaget envisage l'intelligence comme la capacité d'adaptation de l'organisme) se fait par l'interaction entre le sujet et son environnement par succession de phases d'assimilation et d'accommodation (Piaget, 1937). L'étude de Diamond (2000) a montré que le développement moteur et le développement cognitif étaient fondamentalement reliés. En effet, le CPF et le cervelet suivent des calendriers développementaux similaires et entretiennent des relations étroites tant pour les tâches impliquant les FE que pour les tâches motrices.

Le fait que la dimension de durée de la pratique d'AP habituelle soit liée aux FE mène à considérer l'hypothèse selon laquelle les variations métaboliques consécutives à l'engagement répété dans des pratiques d'AP entraîneraient des adaptations physiologiques pour favoriser la circulation sanguine et la neurotransmission qui profiteraient aux FE (Best, 2010). Des patterns de résultats similaires pour d'autres dimensions de l'AP ont pu être retrouvés e.g., la coordination motrice (Schmidt et al., 2017), ce qui mène à penser que différentes dimensions de l'AP peuvent impacter les FE et la performance académique, donc qu'« au moins plusieurs routes mènent à Rome » (Vazou et al., 2019).

Pour ce qui est du lien entre les FE et la performance académique, le sens de nos résultats est dans la lignée du consensus scientifique actuel. Les FE sont liées à la performance académique des enfants et l'expliquent même mieux que le QI (Blair & Razza, 2007). Les FE permettraient aux enfants d'adopter une attitude propice aux comportements d'apprentissage (Anthony & Ogg, 2019) et seraient en jeu lors des activités scolaires comme la compréhension des mathématiques (Toll et al., 2011). En effet, il semble difficile de réussir à l'école si l'on n'est pas en mesure d'être agent de nos apprentissages. Il serait au combien difficile d'apprendre si l'on n'était pas en capacité d'écouter activement une leçon, de repérer les informations importantes et ignorer les autres, de suivre une démarche étape par étape ou d'envisager un autre raisonnement en cas d'erreur (Marulis et al., 2020).

3.3.2 Axe 2 : Inclusion de pauses actives en classe

3.3.2.1 *Interprétabilité des résultats*

3.3.2.1.1 Adéquation des données aux normes disponibles

La distribution des résultats aux mesures des FE est conforme aux normes existantes (Albaret & Migliore, 1999; Fournier & Albaret, 2013). Nous notons cependant que les participants semblent faire moins d'erreurs de persévération au WCST-64 que ceux de 7 à 9 ans et de 10 à 12 ans de l'étude de Smith-Seemiller et al. (2001), mais les écarts-type sont relativement importants. L'établissement d'une norme française au WCST-64 est requis. La distribution des scores de QDV à l'école est conforme, pour chacune des dimensions observées aux normes françaises des enfants de CE2 que nous avons produites pour cette échelle (voir annexe 14). La pratique d'AP se montre hétérogène d'un enfant à l'autre et seulement 23% des enfants interrogés déclarent avoir une pratique d'AP conforme aux recommandations d'AP pour la santé de l'OMS (2010). Ces résultats sont comparables à ceux déjà observés dans la population pédiatrique française (Esen, 2017; Godeau et al., 2012).

3.3.2.1.2 Comparabilité inter-groupes initiale

Il est nécessaire de vérifier que les groupes étudiés sont équivalents en amont de l'intervention afin d'étudier les effets de l'inclusion des pauses actives dans le GA par rapport au GC qui a suivi une scolarité classique. Les distributions des mesures relatives aux FE ne différaient pas statistiquement entre le GA et le GC à T1. Nous avons seulement remarqué quelques différences sur certains scores obtenus au WCST-64 en faveur du GC, mais pas sur l'indice lié à la flexibilité mentale qui nous intéresse plus particulièrement (i.e., nombre d'erreurs persévératives). Concernant les variables secondaires, nous observons que l'AP pratiquée par le GA ne différait pas statistiquement de celle du GC à T1, de même que la performance académique et la QDV à l'école. Les deux groupes étudiés étaient équivalents à T1 pour l'ensemble des variables étudiées, il est donc possible d'étudier l'effet de l'intervention en comparant l'évolution des deux groupes au cours de l'année scolaire.

Nous avons pu noter que la position relative des élèves par rapport au niveau moyen de la classe était supérieure à la position relative des élèves par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de la scolarité au niveau national. Ce résultat confirme que les élèves scolarisés dans les écoles REP rencontrent des difficultés scolaires et réaffirme la nécessité de s'intéresser à cette population pour trouver des moyens de favoriser l'expression du potentiel de ces élèves (Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse, 2017).

Nous avons pu remarquer des différences liées au genre sur les mesures faites à T1 : les garçons ont lu davantage de mots que les filles à la tâche de lecture 1 du test de Stroop et ont fait davantage d'erreurs non persévératives que les filles au WCST. Nous n'avons pas d'explication quant à l'observation de ces différences que nous ne nous attendions pas à observer. En effet, nous avons suivi les protocoles de passations habituels et de telles différences ne sont pas mentionnées dans les normes : les filles ont tendance à présenter des performances supérieures à celles des garçons au test de Stroop et les normes que nous avons pour le WCST-64 ne proposent pas de différence liée au genre (Albaret & Migliore, 1999; Smith-Seemiller et al., 2001). D'autres différences liées au genre apparaissent : les garçons étaient plus actifs physiquement que les filles et avaient des positions relatives supérieures à celles des filles en mathématiques. Le dysmorphisme sexuel de l'AP est aujourd'hui bien documenté. En France, dès l'âge de 6 ans, les filles apparaissent comme moins actives physiquement que les garçons (Esen, 2017). En ce qui concerne la performance académique en mathématiques, la littérature est partagée sur les différences liées au genre. En effet, certains travaux recensent des différences de performances et d'autres pas. Toutefois, les stéréotypes de genre opèrent relativement tôt dans la scolarité et les filles ont rapidement tendance à se penser moins performantes que les garçons en mathématiques, même lorsqu'elles sont meilleures qu'eux (Cvencek et al., 2011; Moè, 2018; Parker et al., 2018). Les filles de CE2 scolarisées en école REP sont-elles moins performantes que les garçons en mathématiques ? Se sont-elles conformées aux stéréotypes de genre en se désinvestissant dans cette matière ? Les enseignants seraient-ils eux-mêmes soumis à ces stéréotypes et auraient tendance à sous-estimer les performances des filles ? Des travaux complémentaires sont nécessaires pour répondre à ces questions qui pourraient remettre en question l'évaluation de la performance académique que nous avons faite.

3.3.2.2 Objectif 2 : effets de l'inclusion de pauses actives

Les analyses des changements au cours de l'année scolaire entre le GA et le GC confirment en partie de nos hypothèses mais des résultats rendent les conclusions difficiles et ne permettent pas, en l'état, de confirmer ou d'infirmer certaines de nos hypothèses. Des indices laissent entrevoir que les pauses actives pourraient, dans une certaine mesure, contribuer au développement des FE sans avoir d'effet délétère sur la performance académique ou la QDV à l'école des élèves.

3.3.2.2.1 Effets de l'inclusion de pauses actives sur les fonctions exécutives de base

Avec l'avancement de l'année scolaire, les élèves se sont montrés capables de donner davantage de bonnes réponses en tâche d'interférence 4, mais n'ont pas montré de progression en dénomination 3. Ces scores n'ont pas pu montrer d'effet d'interaction en fonction du temps de mesure et du groupe. Toutefois, nous en retrouvons un pour le score d'interférence de Stroop où nous remarquons une interaction croisée dans laquelle le GC connaît une diminution relativement importante de son score par rapport au GA. Ce résultat est à première vue surprenant et semble pointer que le programme pourrait ralentir le développement de l'inhibition des élèves. Toutefois, en décomposant ce score d'interférence en score de dénomination 3 et score d'interférence 4, nous observons que seul le GA a progressé entre T1 et T2 sur ces scores – ce qui est conforme aux normes du test (Albaret & Migliore, 1999) ; alors que le GC a connu une diminution des performances en dénomination 3 et une augmentation en interférence 4. Cette diminution des performances en dénomination 3, surprenante et inattendue, a contaminé le score d'interférence de Stroop du GC, ce qui explique la pente descendante importante observée par rapport à celle du GA. Dès lors, l'évolution du GC au test de Stroop ne peut pas constituer une base de comparaison fiable. Bien que nous observions une progression des élèves du GA en inhibition, nous ne pouvons pas raisonnablement conclure sur l'effet du programme dans cette progression dans ces conditions. Nous devons aussi pointer que la version du test de Stroop utilisée voit dans ses normes une augmentation du score d'interférence de Stroop avec l'avancée en âge, résultat contre intuitif et contraire aux observations faites par ailleurs (Roy et al., 2018). Ceci vient nous questionner sur la pertinence de la version française du test de Stroop validé chez l'enfant et sur la nécessité d'utiliser d'autres outils d'appréciation de l'inhibition chez l'enfant en France (Roy et al., 2020).

Contrairement à nos attentes, nous n'avons observé aucune évolution de la MDT visuo-spatiale chez les participants et ni dans aucun des groupes. L'intervention ne semble pas avoir eu d'effet sur cette composante des FE de base. Au WCST, les participants faisaient moins d'erreurs persévératives et donnaient davantage de réponses conceptuelles avec l'avancée en âge. De plus, les participants du GA ont davantage progressé que ceux du GC. Les participants du GA ont même rattrapé le GC sur le nombre de réponses conceptuelles alors qu'ils présentaient des résultats inférieurs à T1. L'inclusion de pauses actives aurait alors pu favoriser le développement de la capacité à élaborer des concepts et à répondre suivant un concept particulier et à pouvoir en changer de manière flexible.

Devant le manque de qualité méthodologique et le manque de travaux longitudinaux, la méta-analyse de Watson et al. (2017) n'a pas pu conclure sur les effets de l'AP pratiquée en classe sur la cognition. Parmi les travaux recensés, seulement sept études se sont penchées sur les effets de l'inclusion de pauses actives sur les fonctions cognitives, surtout sur l'efficacité attentionnelle.

Seulement trois se sont intéressées aux FE de base, mais leur design n'était pas similaire au nôtre (design transversal et design croisé sur deux semaines d'étude). Nous resterons donc prudents en comparant nos résultats à ceux de ces travaux relativement proches. L'étude interventionnelle de Howie et al. (2015) a comparé l'effet de pauses actives d'intensité modérée à vigoureuse selon leur durée (i.e., 5/10/20 minutes) et à un groupe contrôle sédentaire (assistant à une leçon de 10 minutes sur l'AP). Cette étude n'a pas montré d'effet sur la flexibilité mentale ni la MDT après l'intervention. Nos résultats concordent en partie avec ceux de cette étude, du moins pour ce qui est de la MDT. Toutefois, cette étude n'utilisait pas un design longitudinal et comparer ces résultats aux nôtres peu adéquat. Les travaux menés par Hill et ses collaborateurs (Hill et al., 2010; Hill et al., 2011) ont étudié l'effet de l'inclusion de sessions de 15 minutes de pratique d'AP en classe dirigés par l'enseignant sur des enfants âgés de 8 à 11 ans sur les fonctions cognitives, dont l'attention et la MDT. L'intervention durait deux semaines : une moitié des enfants bénéficiait des pauses lors de la première semaine et pas durant la seconde et l'autre moitié ne bénéficiait pas des pauses durant la première semaine, uniquement durant la seconde. Les résultats de ces deux études ont montré que l'intervention avait eu des effets sur les fonctions cognitives uniquement pour le groupe ayant bénéficié de pauses durant la deuxième semaine. Ainsi, un temps d'habituation serait nécessaire pour que les effets de pauses actives puissent être observés. En effet, la perturbation du rythme scolaire habituel aurait pu entraîner une augmentation du niveau d'éveil des participants et les pauses ne pourraient avoir d'effet sur le niveau d'éveil que lorsqu'il est relativement bas (Hill et al., 2010; Hill et al., 2011). Les résultats que nous obtenons en MDT ne s'inscrivent pas dans la lignée de ces résultats puisqu'après plusieurs mois d'implémentation du programme d'AP, nous n'avons pas retrouvé d'évolution de la MDT. A notre connaissance, aucune étude ayant implémenté des pauses actives ne s'est intéressée à leur effet sur l'inhibition.

Si nous nous intéressons plus généralement aux effets d'interventions d'AP sur les FE d'enfants d'âge scolaire, les interventions d'AP menées plusieurs mois durant montrent majoritairement des effets positifs sur les FE, parfois pas d'effet, mais jamais d'effet négatif (de Greeff et al., 2018). Nos résultats longitudinaux s'inscrivent tout à fait dans cette perspective générale. Il reste à noter que les résultats restent mitigés d'une étude à l'autre. En effet, deux études interventionnelles ayant intégré des AP aérobies modérées à vigoureuses pendant plus d'une heure le soir après l'école durant plus de 9 mois retrouvent des effets positifs sur l'inhibition et la flexibilité mentale (Chaddock-Heyman et al., 2013; Scudder et al., 2014) quand une intervention ayant implanté des AP d'intensité vigoureuse ne retrouve d'effet positif que sur la flexibilité mentale et pas sur l'inhibition ni la MDT (Schmidt et al., 2015). Nos résultats semblent donc, au moins en partie, se rapprocher de ceux des travaux longitudinaux ayant implémenté des programmes d'AP après l'école. Les effets rapportés des

interventions d'AP sur la MDT sont très largement positifs (de Greeff et al., 2018; Kamijo et al., 2011; Koutsandréou et al., 2016). Le fait que nous ne retrouvons pas d'effet pour la MDT est donc surprenant. Toutefois, nous ne retrouvons pas non plus de différence dans le GC et notre étude, parmi les études interventionnelles d'AP chez l'enfant d'âge scolaire, est, à notre connaissance, la seule à avoir utilisé un outil d'évaluation de la MDT visuo-spatiale. Aussi, les tâches de MDT dynamiques (e.g., les blocs de Corsi qui nécessitent de se souvenir de séquences de mouvements) impliqueraient davantage de contrôle exécutif que les tâches non-dynamiques (e.g., empan de lettres ou de chiffres) (Alloway et al., 2006). Dès lors, les patterns développementaux à ces tâches pourraient être différents des tâches plus classiques d'empan envers de lettres ou de chiffres. Davantage de travaux sont nécessaires pour vérifier les résultats que nous obtenons et en savoir davantage sur l'effet de la pratique d'AP sur la MDT visuo-spatiale.

Bien que la taille d'échantillon de cette étude soit relativement modeste pour rendre compte d'effets potentiels de faible à moyenne ampleur, nous retrouvons que les pauses actives ont pu impacter favorablement les FE de base. Les effets des pauses actives sur les FE peuvent, à notre connaissance, s'expliquer de différentes manières :

- ❖ L'engagement régulier dans les pauses actives aurait pu entraîner des changements physiologiques. En effet, l'engagement dans des AP aérobies d'intensité modérée (comme les pauses actives de ce programme) amène une augmentation de débit sanguin et des exercices répétés entraînent des adaptations physiologiques pour optimiser les échanges (e.g., angiogenèse). Les FE et la motricité suivent des calendriers développementaux relativement similaires et le CPF et le cervelet entretiennent des liens particulièrement étroits (Diamond, 2000). Dès lors, en pratiquant régulièrement de l'AP les circuits en jeu se renforceraient (i.e., optimisation du transfert d'informations par myélinisation, neurogénèse, synaptogénèse), et, du fait du chevauchement des zones mises en jeu, ce renforcement profiterait au développement des FE (Best, 2010; Stimpson et al., 2018).
- ❖ L'engagement régulier dans les pauses actives qui nécessitent de s'engager durant 10 minutes consécutives, sans faire de pause, dans une série d'activités d'intensité modérée requiert un effort volontaire pour se maintenir en activité. L'AP habituelle des enfants se définit davantage par des activités transitoires que par des efforts continus et prolongés. Dès lors, l'engagement répété dans les pauses actives aurait pu nécessiter, en plus d'un effort physique, un effort mental pour être actif jusqu'au bout de chaque pause active. L'autorégulation et le contrôle volontaire sont en lien avec les FE et passent par des circuits sensiblement similaires (Audiffren & André, 2019; Best, 2010; Seeley et al., 2007). L'engagement régulier dans les pauses actives aurait pu stimuler le contrôle volontaire et

le renforcer ; et ainsi favoriser le développement des FE de base des participants. Toutefois, cette hypothèse de l'effort est récente et davantage de travaux sont nécessaires pour valider cette piste causale.

- ❖ Les pauses actives, en plus de compter des AP d'intensité modérée, comprenaient des activités nécessitant aussi des efforts de coordination motrice (e.g., mouvements d'esquives issus de la capoeira ou, en équilibre sur le pied droit, le talon gauche de la main droite puis inversement). Or, la coordination motrice et les FE entretiennent des liens étroits (Diamond, 2000; Serrien et al., 2007) et l'exercice des fonctions de coordination motrice pourrait favoriser le développement des FE (Geertsen et al., 2016; Pesce et al., 2016; Schmidt et al., 2017; van der Fels et al., 2015). Les mouvements qui nécessitaient davantage de coordination motrice ont pu, au fil des pauses actives, renforcer les circuits entre le cervelet et le cortex frontal et ainsi favoriser le développement des FE.
- ❖ L'adoption d'une routine active physiquement en classe par le biais des pauses actives aurait pu être une activité plaisante pour les élèves. Les pauses actives auraient également pu être une occasion de favoriser l'émergence de liens sociaux positifs et forts entre les élèves et entre les élèves et l'enseignant (Howie et al., 2015). Or, les états affectifs peuvent impacter l'efficacité attentionnelle (Vazou & Smiley-Oyen, 2014) et les travaux de Schmidt et al. (2016) ont montré que la satisfaction et le plaisir pouvaient constituer un médiateur du lien entre les pauses actives et l'attention. Les pauses actives auraient alors pu favoriser l'émergence d'une certaine satisfaction chez les élèves qui aurait pu favoriser l'efficacité de l'attention des élève, processus de base nécessaire au fonctionnement et au développement des FE.

Le contrôle expérimental de cette étude ne permet pas d'identifier clairement les processus en jeu dans l'effet de l'intervention sur les FE et il est tout à fait possible que certains de ces processus, et même tous, aient pu jouer un rôle (Vazou et al., 2019). Davantage d'études sont nécessaires, dont des études incluant des techniques de neuro-imagerie (Brydges et al., 2014), pour identifier comment les pauses actives peuvent favoriser le développement des FE et repérer le poids relatif des différents « chemins » afin de développer des interventions plus à même de répondre à leurs objectifs.

[3.3.2.2.2 Effets de l'inclusion de pauses actives sur les variables secondaires](#)

[3.3.2.2.2.1 Effets de l'intervention sur la performance académique](#)

Conformément à nos hypothèses, la position relative des élèves par rapport au niveau moyen attendu au stade de la scolarité envisagé n'a pas évolué. Cependant, nous remarquons un effet principal du temps de mesure dans le sens d'une augmentation des positions des participants par

rapport au niveau moyen de la classe ; et un effet d'interaction montrant une augmentation plus importante en français par rapport au niveau moyen de la classe pour le GC. Ces résultats sont surprenants, en effet, les élèves tendent à conserver des rangs similaires tout au long de l'année scolaire (Anderman, 2003; Ladd & Dinella, 2009). La mesure de rang relatif à la moyenne de la classe pourrait s'avérer sensible à des biais de subjectivité ou impactée par la perception des progrès annuels des élèves. Questionner les enseignants par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de la scolarité montre des résultats plus plausibles et, par précaution, nous discuterons de ceux-ci. Comme aucun effet principal n'a pu être mis en avant, l'intervention ne semble pas avoir eu d'effet sur les performances académiques des élèves par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de la scolarité.

Nos résultats s'inscrivent dans la lignée des nombreux travaux qui ont échoué à retrouver des effets positifs des pauses actives sur les performances académiques (Ahamed et al., 2007; Katz et al., 2010; Lisahunter et al., 2014; Mead & Scibora, 2016). L'absence d'effet de ces travaux pourraient être expliquée par la courte durée des interventions, mais nous ne pouvons pas raisonnablement invoquer cette explication compte-tenu de la période relativement longue d'inclusion des pauses actives dans notre étude. Watson et al. (2017), dans leur méta-analyse ont remarqué que les travaux qui trouvaient des effets de l'AP pratiquée en classe utilisaient des outils de mesure des acquis et que celles qui ne parvenaient pas à retrouver de résultats concluants des tests annuels. Dès lors, il serait pertinent d'utiliser des outils de mesure des progrès des élèves plutôt que des rangs relatifs pour conclure sur l'effet des pauses actives sur la performance académique.

Il reste à pointer que si les interventions menées n'ont souvent pas pu mener à des progressions académiques notables en comparaison à des GC, elles n'ont pas non plus montré d'effet négatif. Il s'agit là d'un point important puisque, bien que les pauses actives en classe réduisent le temps alloué aux enseignements académiques, les élèves et les enseignants parviennent à poursuivre le programme et à progresser, au moins autant que dans les GC (Ahamed et al., 2007; Lisahunter et al., 2014). Les pauses actives pourraient agir sur l'attitude des élèves en classe et les rendre plus disponibles aux apprentissages et ainsi optimiser les temps d'apprentissages (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017).

3.3.2.2.2 Effets de l'intervention sur la qualité de vie à l'école

Conformément à nos hypothèses, certaines dimensions de la QDV à l'école diminuent avec l'avancée en âge des participants. En effet, nous observons un effet principal du temps de mesure qui diminue significativement entre T1 et T2 pour les dimensions de relation à l'enseignant et de satisfaction à l'école et tendancielle pour la QDV globale ($p < ,10$). Ces résultats sont en accord

avec les observations que nous avons pu faire des effets de l'âge sur la QDV à l'école dans notre étude de validation de l'échelle QoLS (voir annexe 14).

Contrairement à nos hypothèses, aucun effet d'interaction n'a été observé pour aucune des variables de la QDV à l'école. L'inclusion de pauses actives n'aurait donc pas permis de prévenir la baisse du niveau perçu de QDV à l'école des participants, mais n'a pas non plus eu d'effet délétère sur la QDV à l'école. Toutefois, compte-tenu de la taille relativement modeste de notre échantillon pour déceler des effets de taille faible à modérée, ces conclusions sont à considérer avec prudence. De plus, lors de l'étude des trajectoires propres à chaque groupe, le GA conservait son niveau de QDV à l'école dans toutes les dimensions de la QDV à l'école ; alors que le GC présentait une baisse significative des dimensions de qualité de relation à l'enseignant et de satisfaction à l'école.

Nos résultats vont dans le sens des travaux de Hartmann et al. (2010). Les auteurs ont trouvé que l'AP pratiquée en milieu scolaire pouvait être bénéfique à la QDV avec des effets de faible ampleur uniquement sur les composantes psychosociales ; et uniquement sur les enfants les plus jeunes (6-7 ans et aucun effet à 10-11ans). Les études ayant retrouvé des effets significatifs des interventions d'AP à l'école sur les variables affectives se sont davantage intéressées à la satisfaction et aux affects positifs, pas à la QDV à l'école (Audiffren & André, 2015; Diamond & Ling, 2016; Schmidt et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014).

L'engagement régulier de la classe dans des pauses actives aurait pu permettre d'investir différemment la salle de classe. En effet, cette activité permettait aux élèves d'être tous engagés dans une activité de manière synchrone et bénéficier d'une attention particulière et d'encouragements tout au long de l'activité. Les pauses actives ont pu se révéler plaisantes et améliorer le climat de la classe (Diamond, 2012; Hartmann et al., 2010), ce qui pourrait expliquer que la satisfaction à l'école n'ait pas diminuer dans le GA. Aussi, la participation active des enseignants aux activités pourrait constituer une motivation à l'adhésion des élèves (Howie et al., 2015), participer au sentiment d'appartenance à la classe (Diamond, 2012) et des liens plus étroits et positifs auraient pu se créer entre les élèves et leur enseignant, ce qui pourrait expliquer le maintien des relations positives vis-à-vis de l'enseignant.

Nos résultats sont fragiles et nous manquons de puissance pour les interpréter, mais l'exploration de la piste de la QDV à l'école est novatrice et pourrait s'avérer prometteuse. En effet, les variables telles que la QDV sont en liens avec les FE (Diamond, 2013) et l'AP peut toucher les variables affectives (Audiffren & André, 2015; Diamond & Ling, 2016; Schmidt et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014). Dès lors, elles sont à considérer dans travaux interventionnels dans lesquels elles peuvent jouer un rôle non-négligeable (Huebner & Gilman, 2004).

3.3.2.2.3 Effets de l'intervention sur les habitudes de pratique d'activité physique

Conformément à nos attentes, nous observons une hausse de la durée de pratique d'AP entre T1 et T2 qui peut être imputable à un effet de saison : les enfants sont plus actifs par beau temps au printemps qu'en hiver (Remmers et al., 2017; Tucker & Gilliland, 2007). Contrairement à nos attentes, l'intervention ne semble pas avoir eu d'effet sur la pratique d'AP des participants. En effet, les analyses n'ont pas révélé d'effet d'interaction significatif entre le temps de mesure et le groupe. Néanmoins, l'effet d'interaction est tendanciel et les analyses d'évolution au sein de chaque groupe ont révélé une augmentation significative de la pratique d'AP dans le GC mais l'augmentation d'AP n'était pas significative dans le GA. Il serait alors possible que l'intervention ait entravé l'engagement des participants dans des AP, ce qui ne serait pas souhaitable, ne serait-ce que pour l'atteinte des recommandations d'AP pour la santé.

Nous disposons de peu d'éléments de comparaison. En effet, nous n'avons pu recenser que trois études ayant implanté des pauses actives en classe durant plusieurs semaines et ayant étudié les variables d'AP des participants. Une des études a montré que la participation à des pauses actives journalières de 10 minutes permettait aux élèves d'avoir trois fois plus de chance de rejoindre une AP de 30 minutes par jour à l'école (Carlson et al., 2015). Comme cette étude ne prenait pas en compte l'AP en dehors de l'école, elle ne permet pas d'établir de comparaison fiable. Une autre a observé une légère augmentation de la pratique d'AP dans les groupes ayant bénéficié de pauses actives (Ahamed et al., 2007). La troisième n'a pas rapporté d'effet de l'inclusion de pauses actives sur la pratique d'AP des participants et les participants du groupe action et du groupe contrôle présentaient une diminution significative du nombre de pas journaliers qu'ils faisaient au cours de l'année scolaire (Iisahunter et al., 2014). Enfin, la méta-analyse de Watson et al. (2017) sur les effets des interventions d'inclusion d'AP en classe conclue à une absence d'effet des interventions sur l'AP des élèves.

Plus largement, certaines études interventionnelles d'inclusion de programmes d'AP après l'école ont étudié l'effet de leurs programmes sur la forme physique aérobie/cardiovasculaire des participants. Elles ont pu rapporter des effets positifs des interventions : les participants du GA avaient une meilleure forme physique par rapport aux participants du GC (Chaddock-Heyman et al., 2013; Hillman et al., 2014; Kamijo et al., 2011; Koutsandréou et al., 2016). Compte-tenu des résultats contradictoires et parcellaires, il est nécessaire de conduire davantage de travaux interventionnels d'inclusion d'AP en milieu scolaire et d'étudier plus en avant leurs effets sur l'AP des enfants par le biais d'outils objectifs et fiables (e.g., VO₂max, accéléromètre). Ceci permettrait aussi de nourrir la réflexion sur l'explication du lien AP-FE via des changements physiologiques imputables à l'effort aérobie.

3.3.2.3 Objectif 3 : représentations vis-à-vis du programme

3.3.2.3.1 Représentations des élèves

Les participants du GA se sont montrés capables de se représenter les pauses actives comme une pratique d'AP en classe animée par l'enseignant. En effet, 90% des dessins représentaient des postures actives des personnages, 71% le groupe de classe et 54% l'école. Les dessins comprenaient en moyenne 3 indices graphiques et le nombre d'indices ne variait pas selon le genre. Le dessin est donc un outil adapté à l'étude des représentations des enfants en classe de CE2 (Brooks, 2005; Einarsdottir et al., 2009).

La majorité des participants (88%) ont apprécié (i.e., « aimé » voire « adoré ») le programme *Mouv'enclasse*. La raison la plus évoquée par les enfants est l'appréciation de pouvoir bénéficier d'une routine active en classe. Cette raison rejoint les observations faites par ailleurs du besoin de bouger en classe des enfants et des bénéfices attentionnels qu'apporterait une telle opportunité (Dinkel et al., 2017; Foran et al., 2017). Les autres raisons principales évoquées sont d'ordre attitudinal : les enfants invoquent l'appréciation de la pratique d'AP et l'importance d'être actif pour rester en bonne santé ; ces raisons sont respectivement en lien avec les concepts d'attitude affective et d'attitude instrumentale postulés dans le modèle explicatif des comportements de santé largement usité de la TCP (Ajzen, 2011). Les pauses actives pourraient alors constituer un moyen de promouvoir un style de vie actif en favorisant des attitudes positives envers l'AP. Les raisons invoquées traduisent aussi que les messages de santé à travers la promotion de l'AP véhiculés en France ont été entendus et intégrés par les enfants d'âge scolaire des écoles REP. La prévention primaire et les actions menées ont donc tout à fait leur place et doivent continuer pour favoriser l'AP et réduire la sédentarité (World Health Organisation, 2018).

Une minorité d'enfants ont rapporté des points négatifs. Ceux-ci ont parlé de sensations désagréables e.g., douleur et sensation d'essoufflement. Il apparaît donc que les pauses actives ne puissent pas convenir à tous les élèves et que des ajustements sont nécessaires dans le futur. Nous remarquons que les activités du programme les plus appréciées et les moins appréciées étaient les mêmes. L'inclusion des activités dans de futurs programmes devrait donc faire l'objet d'évaluations rigoureuses auprès du public visé.

3.3.2.3.2 Représentations des enseignants

Les trois enseignants qui ont participé au programme *Mouv'enclasse* l'ont fait volontairement. Les résultats montrent qu'ils étaient favorables à s'engager dans le programme et s'en sentaient capables. Ils n'avaient pas reçu d'incitation à participer de la part de leur entourage personnel comme professionnel, ce qui porte à penser qu'ils étaient intrinsèquement motivés (Deci & Ryan, 2008) à

participer et que les croyances positives envers l'inclusion d'une routine active en classe relevées pourraient en être une raison. Cette hypothèse peut être soutenue par les résultats d'une étude récente sur les attributs communs des enseignants qui s'engagent volontairement dans une démarche d'inclusion de pauses actives en classe. En effet, les enseignants qui implémentent volontairement des pauses actives ont en commun un mode de vie actif physiquement, ils valorisaient les pédagogies priorisant l'AP et avaient eu par le passé des expériences professionnelles avec de l'AP (Foran et al., 2017).

Les enseignants de notre étude n'avaient jamais vécu d'expérience similaire aux pauses actives et étaient rassurés à l'idée de bénéficier d'une formation, d'outils et d'un suivi. Ces observations vont dans le sens des besoins témoignés par les enseignants dans d'autres études : ils se sentaient inégaux dans l'implémentation de pauses actives et manifestaient la nécessité de bénéficier de ressources et d'accompagnement (Dinkel et al., 2017; Dinkel et al., 2016). Les enseignants qui ont participé au programme Mouv'enclasse ont évalué très positivement les livrables et les ont perçus comme utiles et adaptés. Le programme était à leurs yeux faisable et relativement facile à mettre en œuvre comme cela avait été envisagé de commun accord avec eux lors de la réunion de formation. Nous pensons qu'avoir pu établir des objectifs (3 pauses actives de 10 minutes chaque semaine en classe) d'un commun accord en tenant compte des forces et des difficultés perçues de chacun a constitué un levier à l'adhésion et au maintien du programme dans les classes.

Les trois enseignants ont pu observer certains bénéfices sur le climat de leur classe qu'ils ont imputés aux pauses actives. Ils ont notamment pu remarquer que les pauses actives permettaient à leurs élèves de se ressourcer, se motiver et d'avoir des attitudes plus positives envers l'AP ; les enseignants n'ont pas remarqué d'effet délétère des pauses actives en termes de fatigue ou de comportement en classe, même plutôt des effets positifs sur cette dernière variable chez certains. Ces résultats sont en accord avec les observations faites dans les autres études ayant implémenté des pauses actives et d'autres AP en classe (Carlson et al., 2015; Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017).

Les enseignants ayant participé au programme ont témoigné qu'ils envisageaient de continuer à inclure des pauses actives dans leur classe et qu'ils conseillaient à leurs collègues d'utiliser cet outil pédagogique. Ils n'ont pas estimé que Mouv'enclasse avait besoin de remaniement, qu'il était utilisable en l'état, du moins avant l'âge de 10 ans. Les avis sont plus mitigés en ce qui concerne les niveaux supérieurs et l'adhésion possible des élèves à un tel programme. Il serait intéressant de se questionner plus en avant sur l'usage d'un tel programme chez des élèves plus âgés qui ont tendance

à désinvestir l'AP : les pauses actives pourraient-elles être un moyen de favoriser l'AP ou l'adhésion des élèves serait-elle à redouter ?

Cette étude est, à notre connaissance, la première à avoir implémenté des pauses actives en classe ayant pour objectif de favoriser le développement des FE des élèves en France. Nous avons dû faire face à plusieurs défis, mais l'implémentation a pu se faire avec des adaptations. Dans l'idée d'un déploiement de plus grande ampleur, il est déterminant de se questionner sur la faisabilité. En effet, l'adhésion des enseignants est déterminante et nous avons pu remarquer que le remplacement d'un enseignant avait pu être une barrière de taille. Bien que l'enseignant remplaçant avait librement accepté de continuer le programme ; ce dernier a rencontré de nombreuses barrières qui n'ont pas été observées auprès des enseignants volontaires. Nous pensons que l'usage des pauses actives ne peut pas constituer un outil adapté pour toutes les classes et que la motivation des enseignants, leur satisfaction et leur participation active des composantes de la réussite de l'intervention (Davis et al., 2007; Dinkel et al., 2017; Donnelly & Lambourne, 2011; Foran et al., 2017). De plus, les pauses actives ont pu s'avérer bruyantes dans certains bâtiments scolaires, des ajustements des activités sont nécessaires.

3.3.3 Implication des résultats

3.3.3.1 *Axe 1 : étude du modèle de médiation*

L'analyse de médiation conduite sur les données recueillies à T1 pour l'ensemble des participants a révélé que la durée d'AP habituelle était liée à la performance académique des participants, mais que ce lien direct disparaissait au profit d'un lien indirect passant par les FE. L'AP pourrait alors favoriser les FE qui, à leur tour, favoriseraient la performance académique. Ces résultats montrent que les interventions d'AP qui visent l'amélioration des performances académiques des élèves devraient considérer en premier lieu les effets de telles interventions sur les FE, en ce que ce sont les FE qui devraient permettre l'amélioration des performances académiques (van der Niet et al., 2014). Ainsi, les effets des interventions pourraient d'abord avoir des répercussions sur les FE avant d'avoir un effet sur les performances des élèves en français et en mathématiques.

Si nous avons retrouvé des résultats probants concernant la durée de pratique d'AP habituelle, il n'en reste pas moins que d'autres auteurs ont pu retrouver des résultats similaires avec d'autres dimensions de l'AP e.g., la coordination motrice (Schmidt et al., 2017). Ainsi différentes dimensions de l'AP pourraient toucher les FE et la performance académique (Vazou et al., 2019). Il serait alors pertinent d'étudier les effets des différentes dimensions de l'AP ainsi que leur poids relatif dans l'explication de l'efficacité des FE de base et de la performance académique afin d'optimiser les interventions futures. Plus généralement, de tels résultats invitent à considérer la perspective

holistique du fonctionnement humain comme une approche pertinente ; qu'il est tout aussi capital de considérer et d'étudier les processus qui participent à l'organisation du sujet en un tout cohérent, unitaire et dynamique que d'en étudier isolément les mécanismes singuliers (Bidzan-Bluma & Lipowska, 2018; Buschmann, 2014).

3.3.3.2 *Axe 2 : étude interventionnelle*

Cette étude s'est interrogée sur les effets de l'implémentation de pauses actives sur les FE, la performance académique et la QDV à l'école d'enfants scolarisés dans des écoles REP et a pu montrer certains effets probants. Dès lors, les pauses actives pourraient constituer un moyen pratique, efficace et à moindre coût (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017) de permettre aux enfants issus de milieux défavorisés d'exprimer leur potentiel. De plus, comme les enfants ont particulièrement apprécié les pauses actives et les enseignants n'ont pas noté d'effet délétère sur le climat de classe et les résultats (Ahamed et al., 2007; lisahunter et al., 2014), plutôt des effets positifs. De plus, comme les pauses actives ont permis aux élèves de conserver une bonne satisfaction à l'école et un bon rapport à leur enseignant, elles constituent une pratique pédagogique innovante et prometteuse à inclure dans les classes françaises qui seraient intéressées (Dinkel et al., 2017; Foran et al., 2017).

L'approche interventionnelle que nous avons choisie i.e., développer une intervention en croisant les regards de la recherche, du terrain et du public, est un facteur de réussite de l'implémentation de l'intervention (Lamboy & Cotton, 2018) et une manière de minimiser les barrières (e.g., contrainte de temps, d'espace et de moyens) et de favoriser l'adhésion à l'intervention (Ma et al., 2014; Watson, Timperio, Brown, & Hesketh, 2017). De plus, les enseignants qui ont participé à l'étude ont montré un vif intérêt pour la théorie derrière l'intervention. Les enseignants sont intéressés par les résultats de la recherche et souhaiteraient pouvoir y avoir davantage accès pour améliorer leur pratique. Il serait pertinent que des liens plus étroits se dessinent entre la recherche et l'enseignement (Sato & Loewen, 2019). L'Education Nationale et la recherche devraient collaborer étroitement au développement d'interventions faisables, ajustées au terrain et capables de répondre aux enjeux éducatifs actuels (Gentaz, 2017). Malgré une taille d'échantillon relativement modeste, nous avons retrouvé des patterns de résultats favorables à l'implémentation de pauses actives en classe. Il serait intéressant de continuer l'exploration avec des études de plus grande ampleur afin de pouvoir conclure sur l'effet des pauses actives sur les FE, la performance académique, la QDV à l'école et les habitudes d'AP.

3.3.4 *Forces et limites*

3.3.4.1 *Axe 1 : étude du modèle de médiation*

Le modèle de médiation que nous avons testé est, à notre connaissance, le premier à s'intéresser spécifiquement à l'effet direct de la durée de pratique d'AP habituelle sur les FE et indirect sur la

performance académique auprès d'enfants issus de milieux défavorisés, ce qui constitue une force et participe à l'originalité de cette étude. Les liens que nous avons retrouvés avec cette dimension de l'AP sont tout aussi forts que ceux retrouvés par ailleurs avec d'autres dimensions de l'AP plus coûteuses à mesurer e.g., coordination motrice, forme physique aérobie (Schmidt et al., 2017; van der Niet et al., 2014). L'usage d'un modèle d'équations structurelles avec construits latents a permis au modèle de médiation de se baser sur des facteurs de FE et de performance académique affranchis d'erreur de mesure et ainsi favoriser des facteurs fidèles et valides (Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000). Cependant, la variable d'AP n'a pas été envisagée comme un construit latent et il serait pertinent de la mesurer en tant que telle afin d'évaluer le poids relatif de ses différentes facettes.

Bien que cette étude permette d'en savoir davantage sur les liens entretenus entre l'AP, les FE et la performance académique, le modèle de médiation n'a pu être envisagé qu'avec les données recueillies à T1 compte tenu de la taille relativement modeste de notre échantillon. Ce modèle bien que prenant en compte l'AP habituelle pratiquée une semaine avant les mesures des FE et quelques semaines avant l'appréciation des performances académiques relève d'un design transversal, or, un tel design ne permet pas d'envisager de piste causale. Il serait donc intéressant de vérifier si nos résultats peuvent être répliqués sous un design longitudinal, notamment par des pistes autorégressives qui permettraient de contrôler de potentielles valeurs exagérées par des mesures uniques. Enfin, nous n'avons pas pris en compte certaines variables qui pourraient expliquer une partie de la variance des variables mesurées comme l'âge, le genre, la qualité de l'environnement familial, le sommeil (Tomporowski et al., 2011) et la QDV à l'école qui semble ici avoir été touchée par l'intervention.

3.3.4.2 Axe 2 : étude interventionnelle

Une force de cette étude réside dans son originalité. En effet, à notre connaissance, elle est la première étude à s'intéresser à l'effet de l'inclusion de pauses actives sur les FE de base et les performances académiques chez une population d'enfants issus de milieux défavorisés. Elle est aussi à notre connaissance la première étude de ce type à prendre en compte la QDV à l'école des enfants, en plus d'interroger l'impact de l'intervention sur la pratique d'AP et les représentations des participants enseignants comme élèves, elle permet alors de dépasser les limites évoquées dans les études antérieures (Hillman et al., 2014; Huebner & Gilman, 2004). Aussi, nous n'avons pas identifié d'étude interventionnelle d'inclusion de pauses actives pour favoriser le développement des FE menée en France. Cette étude permet donc d'en savoir davantage sur la faisabilité de tels projets en France et présente des résultats encourageants en ce sens. De plus, malgré une taille d'échantillon relativement modeste, nous avons pu repérer des résultats encourageants pour mener des investigations à plus grande échelle.

Toutefois, l'implémentation de pauses actives en milieu écologique animées par des figures habituelles représente un challenge méthodologique de taille puisque de nombreuses variables ne peuvent pas être contrôlées (e.g., durée et fréquence des pauses actives, implémentation conforme au guide, gestion de l'effort physique des participants, motivation, changements de l'environnement...) et qu'il est difficile d'apprécier la fidélité par des mesures auto-rapportées. Les classes ayant implémenté les pauses actives ont connu des difficultés d'implémentation qui ont nécessité des aménagements pour continuer le programme : deux classes ont connu des difficultés liées à des nuisances acoustiques et une classe a connu des difficultés liées aux fortes chaleurs en fin d'année scolaire si bien que certaines classes ont parfois dû faire les pauses actives en dehors de la classe et d'autres modifier les créneaux envisagés initialement.

Aussi, notre étude, en l'état, ne permet pas de conclure sur les processus explicatifs des effets de l'intervention observés puisque plusieurs variables se confondent. Les résultats sont-ils imputables à une hypothèse aérobie ou plutôt à une hypothèse d'effort, une hypothèse de coordination motrice ou encore à une hypothèse de satisfaction ou d'interaction sociale ? Pour répondre, il serait raisonnable de conduire des travaux interventionnels plus structurés et comprenant plusieurs GC afin de tester les différentes conditions possibles (e.g., pauses actives vs. pauses passives, pauses cognitivement engageantes, pauses vigoureuses, pauses actives sans interaction sociale, pauses avec des activités connues pour impacter les FE comme la pleine conscience ou la remédiation cognitive (Diamond & Ling, 2016)) et interroger plus en avant les effets dose-réponse encore peu connus. De futurs travaux devraient utiliser des ERC pour pallier aux biais que nous avons pu rencontrer et rejoindre gold-standard actuel dans la mesure des effets des interventions (Hariton & Locascio, 2018).

Nous n'avons pas pu repérer de différence entre le GA et le GC en termes d'évolution de la QDV à l'école. Toutefois, comme nous manquons de puissance statistique et que nous avons repéré de la stabilité de la QDV dans le GA et pas de la GC, il n'est pas raisonnable de conclure définitivement au non-effet de l'intervention sur la QDV à l'école. Si les interventions menées en milieu scolaire peuvent affecter la QDV à l'école qui, à son tour, pourrait impacter des variables liées directement ou indirectement à la réussite à l'école, il est crucial de les prendre en compte et de manière systématique (Huebner & Gilman, 2004). De plus, comme la nature des effets des variables affectives sur la cognition sont encore discutés, il serait intéressant de considérer la QDV à l'école dans de futurs modèles explicatifs de la performance académique par l'AP et les FE (Schmidt et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014). En effet, certains auteurs ont envisagé que les affects positifs pouvaient constituer un médiateur (Schmidt et al., 2016) ou un modérateur facilitant le lien AP-FE (Audiffren & André, 2015; Diamond, 2012; Diamond & Ling, 2016).

Nous devons émettre quelques réserves quant aux outils que nous avons utilisés. La durée de pratique d'AP a été mesurée à l'aide d'un journal que les élèves ont rempli chaque jour pendant une semaine sous la direction de l'enseignant à chacun des deux temps de mesure. Nous avons choisi ce format car il permettait de pallier à d'éventuelles difficultés de récupération en mémoire des AP pratiquées que l'on peut rencontrer dans les questionnaires questionnant sur l'AP pratiquée lors des 7 derniers jours (Baranowski, 1988; Guinhouya, 2013; Telama et al., 1985). Le remplissage du journal en classe avec l'enseignant a permis de favoriser l'administration et la compréhension de l'outil et l'assiduité au remplissage hebdomadaire, limite connue de ce type d'outils. Cependant, nous devons rester prudents quant à l'interprétation de nos résultats puisque cette mesure est subjective, donc nécessairement soumise à des biais (e.g., désirabilité sociale) et reste une tâche difficile pour les enfants âgés de moins de 10 ans (Trost, 2005, cité dans Guinhouya, 2013). Des répliques de l'étude à l'aide de mesures objectives sont nécessaires pour conclure. Dans la même veine, nous avons utilisé des mesures de la performance académique des élèves via des échelles de type Likert renseignées par les enseignants. Compte-tenu des résultats obtenus et de certains effets inattendus et surprenants, il est raisonnable de se pencher sur des mesures plus objectives et plus fines pour rendre compte des progrès des élèves, d'autant plus auprès de populations à risque de présenter des difficultés scolaires. Des mesures de validation des acquis ou de progrès par rapport au programme paraissent plus pertinentes et devraient être considérées dans de futurs travaux (Watson, Timperio, Brown, & Hesketh, 2017). Concernant les mesures des FE, comme elles sont communes aux deux études principales de cette thèse, nous traiterons de ce point dans la discussion générale.

L'usage du dessin pour rendre compte des représentations des élèves à propos des pauses actives s'est avéré un média pertinent sur lequel les participants pouvaient s'exprimer librement sans être influencé par la formulation de questions lors de questionnaires ou d'entretiens. Cet outil devrait être davantage utilisé pour investiguer les représentations des enfants. Les mesures des représentations des enseignants ont permis de montrer que l'implication de ces derniers dans ce type de projets devrait être tout à fait volontaire et que les enseignants susceptibles d'y adhérer avaient déjà des attitudes positives vis-à-vis de l'AP en classe. Toutefois, les questions à posteriori sur la fréquence d'implémentation des pauses actives ne peuvent pas suffire à attester du suivi fidèle du protocole. Des questionnaires hebdomadaires ou un système de calendrier à compléter permettraient d'apprécier plus rigoureusement la fidélité. Enfin, Lors du développement de *Mouv'enclasse*, une attention particulière a été allouée aux freins et aux leviers liés à l'implémentation du programme. Cette réflexion menée par la croisée des regards entre nos objectifs, le terrain et le public a permis le design d'une intervention sur-mesure et est une force de cette étude et nous pensons que l'appréciation du programme fut un point clé à l'adhésion et l'observance du programme.

3.3.5 Conclusion

Cette étude a permis de mettre en lumière que les FE constituent un mécanisme explicatif de l'effet de l'AP sur les performances académiques et la dimension de durée de pratique d'AP habituelle était positivement lié aux FE et à la performance académique des enfants d'âge scolaire. Les résultats ont révélé que l'implémentation de pauses actives en classe dirigées par l'enseignant, à une dose de 10 minutes d'AP d'intensité modérée trois fois par semaine, tout au long de l'année scolaire pouvait favoriser le développement de la capacité à catégoriser de manière flexible. Nous constatons une amélioration de l'inhibition, mais nos résultats ne permettent pas conclure définitivement sur l'efficacité de l'intervention sur cette variable. Nous n'avons pas mesuré de progrès en MDT visuo-spatiale durant l'année scolaire pour aucun des deux groupes. Les participants ayant bénéficié de pauses actives ne se distinguaient pas de ceux du GC quant à leur position relative par rapport au niveau de performance académique moyen selon le moment de l'année scolaire, ni quant à leur QDV à l'école, ni leur patterns d'AP. Toutefois, nous manquions de puissance statistique et des indices d'évolution internes propres à chacun des groupes semblaient évoquer la possibilité que les pauses actives aient pu maintenir un niveau de relation à l'enseignant et de satisfaction à l'école relativement haut ; et que les pauses actives aient pu impacter négativement l'AP habituelle des participants.

Les pauses actives peuvent donc constituer un moyen pratique, relativement efficace et peu coûteux pour favoriser le développement de la flexibilité mentale et peut-être de l'inhibition des élèves issus de milieux défavorisés. Elles apparaissent comme un pratique « indiquée » pour des enseignants volontaires. Toutefois, ces résultats doivent être envisagés avec prudence puisque l'analyse de médiation a été conduite sur des données transversales et que les processus explicatifs des effets de l'intervention n'ont pas pu être identifiées rigoureusement. Cette étude a été conduite en milieu écologique et plusieurs mesures étaient auto-rapportées, elle comporte des biais qui mettent à mal sa validité interne et rendent la généralisation des résultats difficile.

Partie 3 : Discussion générale

« Soudain des millions d'aiguilles argentées trouèrent le toit de la forêt en éclairant intensément les points où elles tombaient. Il se trouvait juste sous une éclaircie dans les nuages, pris dans les reflets des rayons du soleil qui frappaient la végétation humide. Il se frotta les yeux en jurant et, environné de cent arcs-en-ciel éphémères, se hâta de s'éloigner avant que ne commence l'évaporation redoutée »

Luis Sepúlveda, *Le vieux qui lisait des romans d'amour*, 1989

1 Chapitre 1 : Atteinte des objectifs de thèse

Cette thèse de doctorat propose d'investiguer les liens entre AP et FE chez l'enfant d'âge scolaire à travers trois objectifs généraux investigués par le biais de deux études (voir figure 56) :

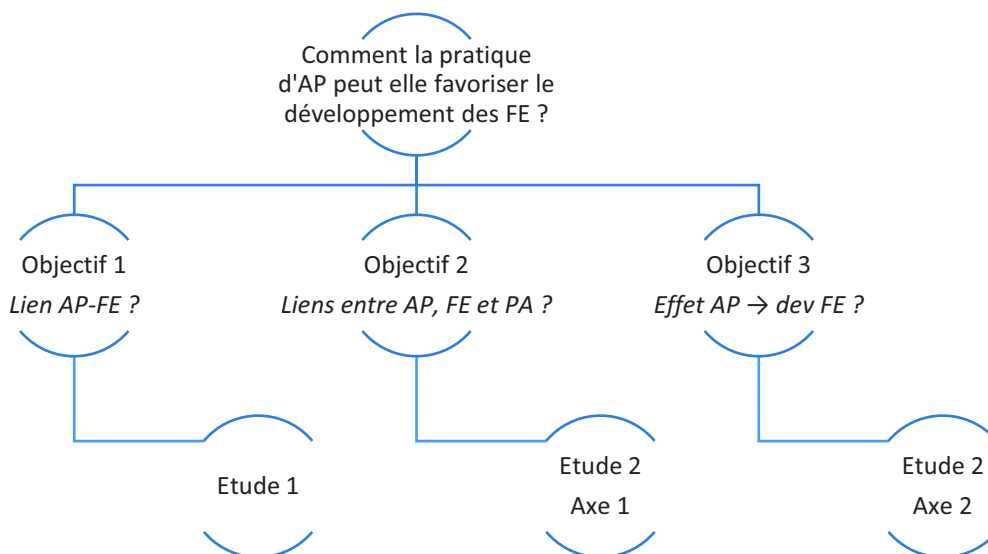
- ❖ Objectif 1 : étude du lien entre l'AP habituelle et l'efficacité des FE de base
- ❖ Objectif 2 : étude des liens entre l'AP, les FE et la performance académique
- ❖ Objectif 3 : étude de l'effet d'une intervention d'inclusion de pauses actives en classe sur le développement des FE d'enfants issus de milieux défavorisés

L'étude 1 est une réponse à l'objectif général 1 de cette thèse. Elle questionne le lien entre l'AP et les FE à travers un design transversal chez des enfants d'âge scolaire âgés de 9 à 11 ans.

L'étude 2 est divisée en deux axes pour répondre respectivement aux objectifs généraux 2 et 3 de cette thèse. Elle questionne le lien entre l'AP, les FE et la performance académique à travers un design longitudinal interventionnel contrôlé auprès d'enfants de 9 ans scolarisés dans des écoles REP. L'axe 1 de l'étude 2 se centre sur les données transversales récoltées avant l'intervention pour l'ensemble des participants afin d'étudier la nature des liens entre l'AP, les FE et la performance académique. L'axe 2 de l'étude 2 se concentre sur les effets de l'inclusion de pauses actives en classe sur le développement des FE des enfants.

Figure 56

Résumé du plan d'investigation de nos contributions



AP : activité physique, FE : fonctions exécutives, PA : performances académiques

1.1 Liens entre les dimensions de l'activité physique habituelle et l'efficacité des fonctions exécutives de base

L'étude 1 a pour objectif d'étudier le lien entre l'AP habituelle et les FE chez des enfants d'âge scolaire âgés de 9 à 11 ans via un design transversal. Nous avons testé les liens entre les dimensions de l'AP et les FE de bases, chacune prise isolément puis en tant que construit latent. Nos résultats montrent que l'âge impacte l'efficacité des FE et que l'âge et le genre impactent les dimensions de la pratique d'AP habituelle. Ces variables sont prises en compte dans les modèles testés à des fins de contrôle de leur poids explicatif.

Les résultats montrent que certaines dimensions de l'AP peuvent contribuer à expliquer l'efficacité de l'inhibition et de la MDT visuo-spatiale. Les modèles testés avec prise en compte de variables de contrôle expliquaient 29% de la variance de l'inhibition et 15% de la variance de la MDT visuo-spatiale. La fréquence d'engagement dans des AP de la vie quotidienne et la durée d'AP de loisir contribuent respectivement, positivement et négativement à l'efficacité de l'inhibition ; et l'intensité des AP sportives contribue négativement à l'efficacité de la MDT. Nos mesures des FE de bases ont pu contribuer significativement au construit latent envisagé ; mais le modèle n'a pas montré de lien significatif entre l'AP et les FE. Ces explorations montrent peu de liens significatifs entre l'AP et les FE de base chez l'enfant d'âge scolaire. Cependant, ces résultats ne sont pas surprenants, les autres études ayant investigué les liens entre l'AP habituelle et les FE de base chez l'enfant dans une perspective transversale ont également retrouvé peu ou pas de résultats significatifs ; et ce, même avec l'usage d'outils de mesure plus objectifs que les nôtres (e.g., accéléromètres portés durant une semaine) (Aadland et al., 2017; Syväoja et al., 2014; van der Niet et al., 2015).

Cependant, nous remarquons que les résultats significatifs rapportés dans des travaux similaires aux nôtres concernaient le temps de réaction, la vitesse de traitement dans des tâches attentionnelles (Syväoja et al., 2014) ou la vitesse d'exécution dans des tâches impliquant les FE (van der Niet et al., 2015). Les outils que nous avons utilisés ne font pas appel (du moins pas directement) aux indices temporels liés à l'exécution des tâches. Si la nature quantitative discrète des mesures est adaptée au repérage de troubles dans l'usage clinique de ces outils, il est possible qu'elle ne soit pas suffisamment sensible pour discriminer entre eux des sujets typiques. Il serait alors prudent de mesurer plus finement le fonctionnement en multipliant les mesures d'un même construit (Miyake et al., 2000), en alliant les scores aux tests neuropsychologiques à des temps de réponse ou d'exécution de tâche (Best & Miller, 2010) ou d'enregistrement de potentiels évoqués (Brydges et al., 2014).

Les effets négatifs retrouvés pour les AP sportives les plus vigoureuses, de la durée de pratique d'AP de loisir et l'effet positif de la fréquence d'engagement dans des AP de la vie quotidienne relativement

courtes et d'intensité modérée laissent supposer que les liens entre AP et FE ne sont peut-être pas aussi linéaires que nous l'avions envisagé (McMorris & Hale, 2012) et qu'il faut encore les étudier pour pouvoir tirer des conclusions définitives. Nous demeurons toutefois surpris d'observer des liens négatifs entre l'AP et les FE. D'autant plus que les travaux interventionnels d'inclusion d'AP présentent des perspectives encourageantes en termes d'effets positifs sur les FE (Álvarez-Bueno et al., 2017; de Greeff et al., 2018; Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Toutefois, comme nous l'avons mentionné en discussion partielle, de nombreuses limites inhérentes à nos mesures doivent être considérées. De plus, nous devons tenir compte du fait que les participants qui n'ont pas renseigné de pratique d'AP : ici 40% de l'échantillon n'a pas pratiqué d'AP sportive et 30% de l'échantillon n'a pas pratiqué d'AP de loisir. Dès lors il existe un plancher à zéro non-négligeable et ce n'est pas parce que les enfants ne sont pas actifs physiquement que leurs FE ne sont pas efficaces. Nous pensons que de prochains travaux devraient considérer et confronter différents aspects de la pratique d'AP mais aussi de la sédentarité. En effet, certaines activités sédentaires peuvent stimuler favorablement les FE et sont à prendre en compte pour modérer notre propos (e.g., jeux vidéo, activités de pleine conscience) (Best, 2014; Diamond & Ling, 2016).

Le modèle des FE de base comme construit latent présente des résultats similaires aux travaux précédents (Aadland et al., 2017; Lee et al., 2013; Lehto et al., 2003). Les FE peuvent donc être envisagées comme un construit latent chez les enfants de 9 à 11 ans, ce qui permet de s'affranchir des erreurs de mesure (Friedman & Miyake, 2017; Miyake et al., 2000). Nous avons été surpris de ne pas observer de lien significatif entre l'AP et les FE considérées comme un construit latent dans cette première étude. Toutefois, notre étude n'est pas la seule à avoir rencontré cet étonnement puisque Aadland et al. (2017) ont retrouvé un lien négatif entre la forme physique aérobie et les FE de base envisagées comme construit latent. Les auteurs se questionnent sur la possibilité de biais de publication favorisant la publication de résultats positifs. La multiplication des mesures de chaque variable envisagée avec des outils valides permettrait d'éclaircir la nature des liens entre AP et FE.

Nous avons testé le modèle d'équations structurelles à travers la méthode du maximum de vraisemblance. Bien que le modèle présente de bons indices d'adéquation et que cette méthode d'extraction permette de dépasser la limite de la présence de données manquantes, nous remarquons que l'usage de la méthode GLS pourrait s'avérer plus adaptée à la distribution de nos données et plus généralement des données en sciences humaines et sociales qui remplissent rarement les conditions de normalité et dont la nature des variables peut affecter l'estimation des paramètres (Gana & Broc, 2018). De plus, comme nous n'avions pas de données manquantes pour l'axe 1 de l'étude 2 de la thèse, nous avons pu appliquer la méthode GLS qui s'est montrée efficace et nous a permis de retrouver des résultats cohérents avec ceux retrouvés par ailleurs dans la littérature (Schmidt et al., 2017). Nous

devrions considérer cette méthode pour de futurs travaux et veiller à n'avoir aucune donnée manquante pour pouvoir l'utiliser – sinon peu de données manquantes pour avoir recours à des techniques d'imputation de données multiples.

Cette étude nous a permis d'observer les effets de l'âge et/ou du genre sur l'AP et les FE de base chez l'enfant d'âge scolaire. Toutefois, cette étude n'a été que partiellement en mesure d'atteindre l'objectif d'étude du lien entre l'AP et les FE. Nous pensons que l'utilisation d'outils plus objectifs de mesure de l'AP habituelle pourrait améliorer la qualité de l'étude et que la multiplication des mesures de chacune des FE permettrait d'obtenir des mesures plus fiables et rigoureuses.

De l'étude 1 à l'étude 2. Les résultats de l'étude 1 nous ont permis de considérer que nos outils étaient plus à même d'observer des différences de développement des FE de base entre le CE2 et le CM1. Les liens positifs entre l'AP de la vie quotidienne et les FE de base soutiennent que des AP d'intensité modérées de durée relativement courte et fréquentes pourraient favoriser le développement. Nous avons donc poursuivi nos investigations dans une deuxième étude longitudinale interventionnelle contrôlée d'inclusion d'AP d'intensité modérées de relativement courte durée et fréquentes à travers des pauses actives menées en classe auprès d'élèves de CE2. Plus précisément, nous nous intéresserons à des enfants issus de milieux défavorisés puisque ces enfants présentent davantage de risque de présenter des FE relativement moins efficaces et des difficultés scolaires par rapport à des élèves issus de milieux plus favorisés.

1.2 Eclaircir les liens qu'entretiennent la pratique d'activité physique habituelle, les fonctions exécutives et la performance académique

L'axe 1 de l'étude 2 a pour objectif d'étudier les liens qu'entretiennent l'AP habituelle, les FE et les performances académiques d'enfants de CE2 scolarisés dans des écoles REP. Plus précisément, nous avons testé l'hypothèse que les FE constituaient un médiateur du lien entre l'AP habituelle et les performances académiques. Pour ce faire, nous avons mesuré l'AP habituelle des enfants au cours des sept jours ayant précédé la mesure des FE de base puis nous avons recueilli les mesures de performances académiques à la fin du premier trimestre, soit quelques semaines plus tard.

Les résultats de l'axe 1 ont confirmé l'existence de liens significatifs positifs directs entre la durée de pratique d'AP hebdomadaire et la performance académique et les FE de bases envisagées comme un construit latent ; et d'un lien significatif positif direct entre les FE et la performance académique. L'inclusion des FE de base au modèle initial comprenant uniquement l'AP et la performance académique a rendu le lien direct entre ces deux variables négligeables au regard du lien indirect via les FE de base. Nous avons ici une médiation totale du lien entre la durée d'AP habituelle et la

performance académique par les FE de base envisagées comme un construit latent (Shrout & Bolger, 2002). Le modèle de médiation expliquait 84% de la variance de la performance académique et la force des liens observés sont dans la lignés des travaux qui ont précédé les nôtres (Aadland et al., 2017; Schmidt et al., 2017; van der Niet et al., 2014).

Nos résultats soutiennent que si l'AP habituelle peut permettre aux élèves d'obtenir de meilleurs résultats scolaires, ce serait parce qu'elle favoriserait le développement des FE qui permettraient aux élèves d'être plus performants académiquement. Ainsi, plus la durée de pratique d'AP des enfants est importante, plus l'organisme serait sollicité et devrait s'adapter pour répondre au style de vie de l'individu. Les adaptations liées aux exercices physiques dans la durée renvoient notamment à l'hypothèse aérobie d'explication du lien AP-FE. La pratique régulière d'AP entraîne une augmentation du débit sanguin et pas seulement dans les muscles, mais aussi au niveau cérébral. L'organisme s'adapte à ce débit plus important par angiogenèse. La circulation et l'oxygénation cérébrale s'en retrouvent favorisée si bien qu'elle favorise la libération de neurotrophines (e.g., BDNF) qui vont entraîner des phénomènes de neurogénèse, de synaptogénèse et de myélinisation et ainsi permettre au cerveau de s'adapter aux niveaux structurel et fonctionnel (Stimpson et al., 2018). De plus, comme la motricité et les FE empruntent, dans une certaine mesure, des chemins relativement similaires, les gains neuronaux liés à l'AP peuvent bénéficier aux FE (Diamond, 2000).

Cette étude a permis de répondre au deuxième objectif de la thèse et a montré que les FE étaient un médiateur du lien AP-performance académique. Toutefois, le lapse de temps entre chacune des mesures était relativement court pour apprécier un développement alors cette étude pourraient être qualifiée de transversale et parler de causalité ne serait pas approprié. Alors, il serait judicieux de reconduire cette étude avec une approche longitudinale avec un modèle autorégressif qui serait plus à même de considérer la médiation compte-tenu de l'évolution des variables. Analyse que nous n'avons pas pu conduire compte-tenu de la taille de notre échantillon et le fait que ce dernier ait été divisé en deux groupes.

1.3 Mouv'enclasse, un programme d'inclusion de pauses actives en classe pour favoriser le développement des fonctions exécutives de base d'élèves issus de milieux défavorisés ?

L'axe 2 de l'étude 2 a pour objectif d'étudier l'effet de l'inclusion de pauses actives en classe sur le développement des FE d'enfants de CE2 scolarisés dans des écoles REP. Les effets de l'intervention ont aussi été appréciés pour des variables secondaires afin de discuter plus largement de l'impact de l'intervention sur : les habitudes d'AP, la performance académique et la QDV à l'école. Pour ce faire, nous avons mesuré les variables énoncées en début d'année scolaire, avant l'inclusion des pauses

actives en classe, puis une nouvelle fois en fin d'année scolaire. Les trajectoires prises pour chaque variable ont été comparées à celles de participants d'un groupe contrôle qui n'a pas bénéficié de pauses actives et a suivi une scolarité classique. Nous avons étudié les représentations des participants vis-à-vis du programme Mouv'enclasse. Les représentations des enseignants ayant animé les pauses actives ont été étudiées à l'aide d'un questionnaire et les représentations des élèves ayant participé aux pauses actives à l'aide de dessins et de trois questions sur l'appréciation du programme et des activités.

1.3.1 Effets des pauses actives sur le développement des fonctions exécutives

Les résultats ont montré que les participants du GA connaissaient une évolution plus importante au cours de l'année scolaire que le GC dans l'efficacité de leur flexibilité mentale. Bien qu'une évolution soit observée pour l'inhibition, la distribution des résultats somme toute inattendue du GC rendent les conclusions difficiles. Nous n'avons pas pu relever d'évolution de la MDT visuo-spatiale au cours de l'année scolaire dans aucun des deux groupes de l'étude. Le programme Mouv'enclasse aurait alors pu favoriser le développement des FE de base des participants du GA, du moins pour la flexibilité mentale. Nous manquons de comparaison puisque nous n'avons pu recenser aucune étude d'implémentation de pauses actives en classe de manière longitudinale qui se soit intéressée aux FE de base. Toutefois, parmi les travaux relativement comparables, les résultats divergent. Une étude transversale n'a pas retrouvé d'effet des pauses actives sur l'efficacité de la MDT ni de la flexibilité mentale (Howie et al., 2015) et deux études ont montré des effets des pauses actives lors de la deuxième semaine d'implémentation (l'étude durait deux semaines) des pauses actives sur la MDT, mais pas lors de la première et aucun effet sur la flexibilité mentale (Hill et al., 2010; Hill et al., 2011).

Les interventions d'inclusion d'AP en classe peuvent aussi se faire par l'inclusion de pauses en lien avec des contenus académiques ou par des leçons actives physiquement. Dans cette littérature, nous avons pu repérer une étude à laquelle il est pertinent de comparer nos résultats. Il s'agit d'une étude longitudinale d'implémentation de leçons de mathématiques et de langue (langage) actives physiquement pendant deux années scolaires (22 semaines de leçons actives par an) et, comme nos pauses actives, les leçons duraient une dizaine de minutes et étaient dispensées trois fois par semaine (de Greeff et al., 2016). Cette étude avait un design robuste, en effet, il s'agissait d'un ERC avec $N = 499$ participants de $M = 8,1$ ans ($ET = ,07$ ans) issus de 12 écoles différentes. Cette étude s'est intéressée aux effets des leçons actives sur les FE de base et a utilisé des outils similaires aux nôtres. Seule la version du WCST était différente puisque les auteurs ont privilégié une version en 46 cartes à ranger avec changement de stratégie de rangement des cartes au bout de 6 cartes correctement rangées et avec une demande explicite de changement de stratégie de rangement (Modified Card Sorting Test (MCST)). Cette version serait davantage adaptée pour l'étude de la flexibilité mentale chez

l'enfant (Cianchetti et al., 2007). L'étude n'a pas montré d'efficacité de l'inclusion de leçons actives physiquement sur les capacités d'inhibition des enfants (prise en compte du score d'interférence de Stroop), ni de MDT verbale (empan envers de chiffres) ou visuo-spatiale (tâche des blocs de Corsi), ni de flexibilité mentale. L'inclusion de leçons actives n'a pas non plus permis d'améliorer la forme cardiovasculaire des participants. Les auteurs de cette étude ont pensé que l'absence d'amélioration de la forme cardiovasculaire des participants était due à une fréquence d'implémentation trop faible des leçons actives puisque des études d'implémentations d'une dizaine de minutes par jour d'AP d'intensité modérée avait réussi à améliorer cette variable. Les auteurs avancent que la forme cardiovasculaire constituerait un médiateur pour que l'intervention touche les FE de base et que c'était pour cette raison que d'autres programmes comme FITKID (implémentation de 70 minutes d'AP modérée à intense tous les jours après l'école pendant 9 mois (Hillman et al., 2014)) ont pu améliorer les FE de base.

Nos résultats vont à l'encontre de ces interprétations puisque Mouv'enclasse a pu retrouver des effets sur le développement des FE de base avec l'implémentation de pauses actives à une fréquence similaire et durant seulement une année scolaire d'inclusion. Nos analyses intra groupe ont montré que le GA n'avait pas été plus actif au printemps, alors que le GC l'a été et que nous avons retrouvé un effet d'interaction tendanciel. Dès lors, il est possible que l'implémentation d'AP en classe ait pu avoir un impact négatif sur l'engagement dans des AP en dehors de l'école. Ceci pourrait être une raison de la non-évolution de la forme cardiovasculaire des participants du GA de l'étude de de Greff et al. (2016) ; et, dans ce cas, la forme cardiovasculaire de nos participants n'aurait pas connu de différence entre le GA et le GC (variable que nous n'avons pas mesurée) ; pourtant, nous avons des effets de l'intervention sur certaines FE de base. Mouv'enclasse aurait donc pu suivre un autre chemin que la piste aérobie pour favoriser les FE ; mais un chemin qui n'aurait pas pu être emprunté par les participants de l'étude de Greff et ses collaborateurs. La différence majeure entre nos deux études réside dans la nature de l'implémentation d'AP en classe. Puisque l'étude de Greff et al. (2016) a implémenté des leçons actives, le contenu était cognitivement plus engageant que celui de nos pauses actives. Il est possible que le couplage de l'effort physique et de l'effort cognitif devienne contre-productif. C'est ce qu'a montré une étude récente qui a observé un effet délétère du couplage de l'AP cognitivement engageante et de l'AP avec effort physique important sur la flexibilité mentale (Egger et al., 2018).

Toutefois, les auteurs ont reconduit la même étude dans une approche longitudinale via l'implémentation de pauses actives pendant 20 semaines (Egger et al., 2019). Ils ont retrouvé que la condition de « combo » entre effort physique et cognitif importants permettait un meilleur développement de la flexibilité mentale alors que les autres conditions (condition effort physique haut

& effort cognitif bas (= condition aérobie) et effort physique bas & effort cognitif haut (= condition cognitive)) n'avaient aucun effet sur les FE. Dans la perspective des effets chroniques de l'AP sur les FE, les AP nécessitant des efforts physiques et cognitifs importants pourraient s'avérer plus favorables au développement de la flexibilité mentale. Les pauses actives que nous proposons dans Mouv'enclasse ne sont pas aussi cognitivement exigeantes que celles de l'étude de Egger et al. (2019) et nous retrouvons des résultats tout aussi intéressants, et ce, même sur l'inhibition ; la dose optimale pour favoriser le développement des FE ne se situerait donc pas nécessairement aux extrêmes du continuum, mais peut-être à la croisée des chemins menant à favoriser le développement des FE (Vazou et al., 2019). Aussi, les activités de Mouv'enclasse apparaissent comme plus nombreuses et variées ; il semblerait donc que des variables liées à la satisfaction puissent être en jeu et qu'elles pourraient favoriser ou non les bénéfices liés à l'AP (Howie et al., 2014; Schmidt et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014). Nous devons envisager des pistes explicatives psychologiques du lien entre l'AP et les FE. Question que nous traiterons dans le chapitre suivant.

1.3.2 Effets des pauses actives sur les variables secondaires

Envisageons à présent les effets des pauses actives sur les variables secondaires : la performance académique, l'AP habituelle et la QDV à l'école. Nous avons obtenu des résultats surprenants quant à la performance académique des élèves par rapport à la performance moyenne de la classe. Les positions relatives des élèves par rapport au niveau moyen de la classe augmentaient significativement, or elles devraient rester inchangées (Anderman, 2003; Ladd & Dinella, 2009). Nous pensons que ces résultats ont pu être affectés par les progrès que les enfants ont pu faire avec l'avancée de l'année scolaire et que notre mesure n'était donc pas adaptée. Les positions relatives des élèves par rapport au niveau moyen national à ce stade de la scolarité sont plus vraisemblables et nous n'observons aucune évolution significative dans les groupes. Ces résultats ne sont pas surprenants et la littérature est encore particulièrement inconsistante sur les effets des interventions d'AP sur les performances académiques (Ahamed et al., 2007; de Greeff et al., 2016; Donnelly et al., 2016). La revue de littérature de Singh et al. (2019), même si elle s'abstient de donner de conclusion compte tenu du nombre d'étude de faible qualité, a pu rapporter des résultats positifs des interventions d'AP sur les performances académiques en mathématiques notamment pour des AP dispensées à une fréquence de 3 fois par semaine sur des durées relativement courtes et sur une durée de deux années scolaires. De plus, dans leur méta-analyse, Watson et al. (2017) mettent en cause les outils de mesure de la performance académique dans l'inconsistance des résultats. Les auteurs appellent à l'usage d'outils de mesure des progrès plutôt que des mesures annuelles largement répandues, mais pas suffisamment sensibles. Compte-tenu des résultats de ces travaux de revue récents, notre programme pourrait avoir un effet positif sur la performance académique des élèves, mais, pour le tester, il serait judicieux de

conduire l'implémentation du programme sur une année scolaire supplémentaire et de faire appel à des outils valides et objectifs de mesure des progrès.

Les résultats de l'étude ont montré que l'AP habituelle augmentait entre T1 et T2. Nous nous attendions à observer cette augmentation déjà largement documentée et imputable à un effet de saison : les enfants sont globalement plus actifs physiquement durant les beaux jours (Remmers et al., 2017; Tucker & Gilliland, 2007). Cependant, nous n'avons pas pu observer d'augmentation plus importante de la pratique d'AP habituelle dans le GA. Les pauses actives n'auraient donc pas favorisé l'engagement dans des pratiques d'AP en dehors de l'école. Il semblerait même qu'il se soit passé le contraire. En effet, les observations intra-groupes n'ont montré d'augmentation significative de l'AP que dans le GC et pas dans le GA. De plus, l'analyse de variance montre un effet d'interaction tendanciel, en faveur d'une augmentation plus importante dans le GC que dans le GA. L'augmentation d'AP lors des temps scolaires aurait alors conduit les participants du GA à réduire leur AP par ailleurs, comme pour équilibrer leur dépense énergétique. Dans la lignée d'autres travaux d'inclusion de pauses actives, nous nous attendions à observer une augmentation de pratique d'AP (Ahamed et al., 2007; Iisahunter et al., 2014). Toutefois, la récente méta-analyse de Watson et al. (2017) n'a pas pu trouver de différence et il a pu être montré que l'augmentation de l'AP habituellement pratiquée à un moment donné pouvait entraîner un phénomène de compensation par réduction de la pratique d'AP habituelle à un autre moment (Ridgers et al., 2014; Rowland, 1998). Ce qui expliquerait pourquoi les participants du GA ont été moins actifs en dehors de l'école ; alors même qu'ils présentaient des représentations positives de la pratique d'AP et que leurs enseignants estimaient que le programme avait favorisé des croyances positives envers l'AP. Aussi, si l'AP des participants a diminué, cela vient mettre en difficulté l'hypothèse aérobie d'explication de l'impact des pauses actives sur les FE et d'autres pistes explicatives doivent être envisagées.

Les résultats montrent que la QDV à l'école diminue avec l'avancée de l'année scolaire pour les dimensions de relation à l'enseignant et de satisfaction à l'école et de manière tendancielle pour le score de QDV globale. Cependant, la relation aux pairs et la perception de l'environnement restent inchangées. Ces résultats sont conformes à nos attentes et aux résultats de notre étude de validation de l'échelle QoLS-fr (voir annexe 14). Contrairement à nos attentes, nous n'avons pas pu observer d'effet d'interaction entre le temps de mesure et le groupe. Toutefois, nous ne devons pas ignorer que les analyses intra-groupes non-paramétriques ont relevé une diminution significative de la QDV à l'école sur les dimensions de la relation à l'enseignant et de la satisfaction à l'école dans le GC et pas dans le GA. Alors, les pauses actives auraient pu contribuer au maintien de la relation à l'enseignant et à celui de la satisfaction des élèves. A notre connaissance, la littérature ne présente pas encore d'étude qui nous permette de confronter nos résultats. Toutefois, d'autres travaux ont pu montrer des effets

positifs faibles des interventions d'AP sur les variables psychosociales de la QDV chez des enfants de 6 à 7 ans (Hartmann et al., 2010) et sur la satisfaction et les affects positifs (Audiffren & André, 2015; Diamond & Ling, 2016; Schmidt et al., 2016; Vazou & Smiley-Oyen, 2014). Les variables affectives semblent des composantes pertinentes à prendre en compte (Huebner & Gilman, 2004) dans les modèles explicatifs des effets de l'inclusion d'AP en classe sur les FE.

1.3.3 Représentations vis-à-vis du programme

Conformément à nos attentes, les participants du GA ont été capables de rendre compte de leurs représentations sur les pauses actives à l'aide du média de dessin, ce qui confirme la pertinence de ce média pour l'étude des représentations des enfants (Brechet, 2015; Brooks, 2005; Einarsdottir et al., 2009). Les enfants ont majoritairement utilisé les indices de posture active de personnage, la représentation des autres élèves et de l'espace de classe et utilisaient en moyenne trois marqueurs distincts par dessin. Près de 90% des participants ont eu des avis favorables sur l'usage des pauses actives dans leur routine de classe et invoquaient des raisons d'appréciation en lien avec le besoin de bouger (Dinkel et al., 2017; Foran et al., 2017) et des attitudes positives envers la pratique d'AP (Ajzen, 2011). Ces représentations montrent que les messages de prévention primaire de santé et de promotion de la pratique d'AP sont connus et ont intégré le système de croyance des enfants dès le CE2. Une minorité d'élèves n'ont pas apprécié les pauses actives et ont rapporté avoir connu des sensations de douleur et d'inconfort. Les pauses actives ne sont donc pas adaptées à tous les élèves et des ajustements sont à opérer pour les rendre plus accessibles à ces élèves, de sorte qu'ils puissent vivre positivement cette expérience. Nous pensons qu'il serait intéressant d'insister sur la notion que l'effort approprié durant la pause active est de bouger suffisamment, mais pas au point de ne plus être capable de parler : la bonne dose d'effort pour être en aérobie est un effort dans lequel on parvient à parler, mais pas à chanter (U.S. Department of Health and Human Services, 2018). Faire des pauses actives un événement d'AP de valence affective négative n'est pas souhaitable, d'autant plus que les expériences d'AP passées sont déterminantes dans l'engagement futur dans des AP (Dishman & Gettman, 1980; Sallis et al., 1992). Peut-être que des mesures du rythme cardiaque durant les premières séances pourrait aider chacun à mieux gérer l'effort pour que l'activité soit un défi sans être menace, e.g., prendre son pouls avec le doigt (on pourrait par exemple donner une valeur seuil à ne pas excéder d'environ 180 pulsations par minutes chez les enfants de moins de 10 ans).

Les résultats ont montré des représentations particulièrement positives vis-à-vis du programme de la part des trois enseignants qui ont animé les pauses actives. Avant même de débiter le programme, ils étaient intrinsèquement motivés à participer et avaient des croyances particulièrement positives sur les bénéfices de l'inclusion de pauses actives en classe. Des caractéristiques proches ont été retrouvées chez un panel d'enseignant volontaires pour appliquer des programmes d'AP en classe

similaires (Foran et al., 2017). Les enseignants ont apprécié et ont trouvé adapté et utile la formation, le guide pratique et le suivi mensuel dont ils ont bénéficié. Ainsi, fournir des outils clé en main et un soutien peut faciliter le changement de routine de classe (Dinkel et al., 2017; Dinkel et al., 2016). L'adhésion au programme s'est faite sans difficulté puisque les objectifs ont été décidés en commun selon les contraintes de l'école et de la recherche. Il est crucial de minimiser les barrières pour favoriser la réussite de l'implémentation du programme (Ajzen, 2011; Schwarzer, 2008). Les enseignants ont relevé que les pauses actives favorisaient les attitudes positives en classe et n'entraînaient pas de d'effet délétère comme de la fatigue ou de l'énerverment. Ces indices comportementaux sont cohérents avec les observations faites (Carlson et al., 2015; Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Enfin, les enseignants comptaient continuer à utiliser Mouv'enclasse après l'étude et conseillaient à leurs collègues de l'utiliser. Toutefois, les avis étaient mitigés quant à l'adaptabilité du programme pour des niveaux scolaires supérieurs.

Les pauses actives ont partiellement atteint l'objectif de favoriser le développement des FE de base chez des élèves de CE2 d'écoles REP. En effet, l'intervention a montré des pentes de progression plus positives dans le GA que dans le GC. Ces résultats doivent être envisagés avec précaution puisque nos travaux présentent des limites. Les pauses actives n'ont pas eu d'impact significatif sur les variables secondaires. Les pauses actives ne présentent pas d'effet défavorable sur la performance académique des élèves malgré la réduction du temps alloué aux enseignement académique. De plus, les pauses actives pourraient favoriser la QDV à l'école puisque seuls les participants du GC ont connu une réduction de la qualité de la relation à leur enseignant et une réduction de leur satisfaction à l'école. Toutefois, il semblerait que les participants du GA aient connu une trajectoire d'AP de moindre ampleur par rapport au GC. L'engagement dans les pauses actives pourrait réduire l'AP habituelle en dehors de l'école. Concernant les représentations, nous pouvons dire que l'implémentation des pauses actives à la routine de classe fut un succès tant du côté des élèves que des enseignants.

2 Chapitre 2 : Activité physique, fonctions exécutives, performance académique, comment modéliser ces liens ?

Un nombre grandissant de travaux s'intéressent aux liens entre l'AP et les FE chez l'enfant. Ces travaux tentent de déterminer quelles dimensions de l'AP peuvent favoriser l'efficacité des FE ou encore de définir la dose d'AP optimale qui permettrait de favoriser leur développement. Les résultats observés dans la littérature sont prometteurs, aussi, plusieurs modèles explicatifs sont proposés dont des modèles mettant en jeu des mécanismes biologiques et d'autres, plus émergents, des pistes psychologiques. Dans ce chapitre, nous considérerons les enjeux liés à la mesure des FE, nous étudierons un modèle de médiation du lien AP-performance académique par les FE dans une perspective cross-lagged hypothétique puis nous nous questionnerons sur les variables psychologiques en jeu dans le lien entre l'AP et les FE.

2.1 La mesure des fonctions exécutives

L'étude des FE est un défi pour diverses raisons. D'abord, les tests neuropsychologiques disponibles ne permettent pas de mesurer purement ces fonctions cognitives. En effet, les FE sont des fonctions de haut niveau qui nécessitent la mise en jeu d'autres processus cognitifs de contrôle pour fonctionner en plus de processus inhérents à la tâche (e.g., encodage visuel, attention). La recherche en psychométrie a donc veillé à produire les tests les plus simples possible pour se rapprocher au plus près des FE sans pour autant pouvoir les mesurer purement. Ensuite, on peut observer des variabilités de performance à des tâches se réclamant mesurer un même construit ; viennent alors se poser les questions de compétence vs. performance et de difficulté inhérente à la tâche. De plus, un même construit peut refléter différentes facettes et rendre les mesures difficilement comparables, e.g., l'inhibition peut être envisagée sous trois angles différents : l'inhibition de réponses prédominantes, l'inhibition d'informations devenues non pertinentes ou encore l'inhibition de réponses non-pertinentes et la flexibilité mentale peut être appréciée sous son versant spontané ou réactif (Miyake et al., 2000). La composante développementale ajoute un défi supplémentaire puisque, à notre connaissance, il n'existe pas de tâche qui permette d'évaluation life-span des FE et des effets plancher et/ou plafond peuvent être observés lorsque l'on sort du groupe d'âge pour lequel la tâche a été développée. Les recherches en psychométries continuent et des outils informatisés présentent des résultats encourageants en directions d'outils valides sur des panels d'âge de plus en plus importants comme pour les batteries CANTAB qui peuvent être utilisées en pratique clinique comme en recherche (Sylväoja et al., 2015).

Afin de rendre compte le plus justement possible des FE, un même concept peut être mesuré à l'aide de plusieurs outils (adaptés en fonction des objectifs de la mesure) qui nécessitent, au maximum,

la mise en jeu de processus sous-jacents différents (différentes modalités d'entrée, différentes modalités de réponse, stimuli nécessitant des traitements différents). Ainsi, à partir de différentes mesures d'une même FE, un construit latent pourra être dégagé et celui-ci pourra être envisagé sans la contrainte des erreurs de mesure que l'on rencontre avec le traitement des variables observées. Par exemple, une variable latente de l'inhibition pourrait être envisagée chez l'enfant d'âge scolaire à l'aide du test de Stroop qui nécessite l'inhibition et le contrôle de l'interférence (entrée visuelle, réponse verbale) et la tâche marche-arrête de la batterie TEA-ch d'inhibition de la réponse automatique (entrée auditive, réponse motrice) (Seguin et al., 2015).

Les FE sont des fonctions cognitives de haut niveau et elles peuvent présenter une hiérarchie entre elles puisque le fonctionnement de certaines repose sur la mise en jeu d'autres FE de plus bas niveau (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Le modèle des FE de base de Miyake et al. (2000) corroboré chez l'enfant d'âge scolaire (Brydges et al., 2014; Demetriou & Spanoudis, 2015; Lehto et al., 2003) n'est pas un modèle explicatif et les FE dites de base sont des FE qui peuvent être envisagées à un niveau moyen et étudiées à partir de tâches de complexité moyenne (Miyake et al., 2000). Dès lors, d'autres modèles sont possibles. De plus, chez l'enfant, les FE semblent initialement se distribuer de manière unitaire et se différencieraient au cours du développement. Le lien entre l'AP et les FE de base devrait être étudié chez l'enfant en envisageant des construits latents de chaque FE de base et des modèles en un, deux ou trois facteurs en fonction de l'âge.

2.2 Vers un modèle de médiation en processus autorégressif

L'axe 1 de l'étude 2 portait sur un modèle de médiation du lien entre la pratique d'AP et la performance académique par les FE. Ce modèle de médiation correspondait à nos attentes et a permis d'envisager les FE comme un processus explicatif par lequel passe l'AP pour impacter les performances académiques. Toutefois, comme nous avons besoin de l'intégralité des participants pour tester le modèle, il n'a pas été possible de le tester dans le temps. En effet, une partie des participants a rejoint le programme Mouv'enclasse, ce qui aurait biaisé le modèle et la taille d'échantillon était trop modeste pour tester le modèle avec le GC uniquement. Or, pour tirer des conclusions sur le plan développemental, il est crucial d'investiguer les liens entre les variables dans le temps.

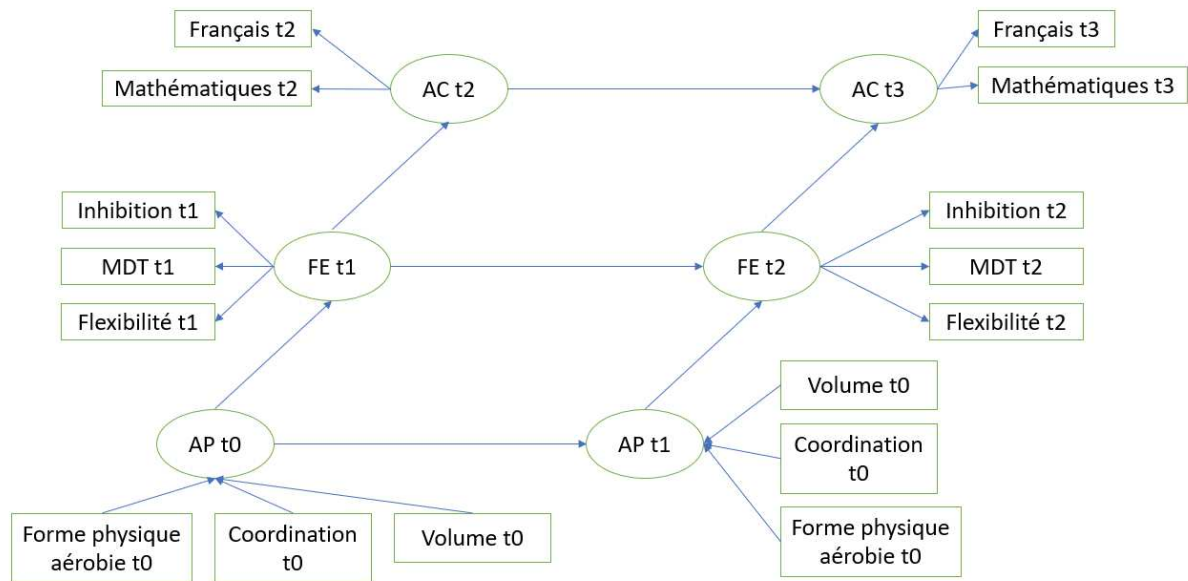
Si les FE jouent un rôle médiateur dans la perspective de l'effet chronique de l'AP sur les performances académiques, alors, nous devrions pouvoir observer que la mesure de l'AP prise à T0 devrait pouvoir expliquer l'effcience des FE à T1 et que l'effcience des FE devraient pouvoir expliquer la performance académique à T2 ; et les temps de mesures devraient être espacés de plusieurs semaines voire mois (Aadland et al., 2017; Schmidt et al., 2017). Parmi les facteurs explicatifs du comportement humain, le comportement passé peut constituer un prédicteur au poids relatif

considérable. Bien que cette proposition puisse paraître triviale, encore peu de modèles prennent en compte le comportement passé pour prédire le comportement futur. Pourtant, il permettrait d'estimer plus justement l'implication des variables explicatives d'un phénomène. En ce sens, il nous paraît judicieux de poursuivre les recherches sur la médiation du lien AP-performance académique par les FE par des pistes longitudinales et des processus autorégressifs. A notre connaissance, une seule étude a utilisé ce type d'analyses, du moins partiellement, pour tester l'effet de médiation des FE entre AP et performance académique (Aadland et al., 2017) ; mais elle n'a pas pu retrouver d'effet de médiation par les FE, d'autres études sont nécessaires pour conclure.

Dans la perspective de futurs travaux, nous pensons qu'il serait pertinent d'étudier dans le temps les construits latents des variables d'AP, de FE et de performance académique et de tester des liens indirects entre l'AP et la performance académique par les FE en tenant compte du passé par des processus autorégressifs. En ce sens, nous envisageons de tester dans le futur un modèle développemental en quatre temps de mesures, espacés de plusieurs mois (selon la sensibilité des outils de mesure) et selon un processus autorégressif (voir figure 57). Les variables d'intérêt seront considérées comme des construits latents à partir de dimensions pertinentes connues et le modèle devrait être comparé à différents âges. En effet, il serait pertinent de considérer si la force des liens de médiations restent stables ou évoluent en fonction de l'âge. Dès lors, il serait possible de repérer des périodes où l'AP à davantage de chance de favoriser le développement des FE et la performance académique chez l'enfant d'âge scolaire. Aussi, des modérateurs en lien avec les caractéristiques des enfants devraient être envisagés comme le genre, la qualité de l'environnement familial, la qualité du sommeil ou la QDV (Diamond & Ling, 2016; Lubans et al., 2016; Tomporowski et al., 2011).

Figure 57

Proposition de modèle de médiation du lien entre l'activité physique et la performance académique par les fonctions exécutives en cross-lagged



AP : activité physique, FE : fonctions exécutives, AC : performance académique, t0,t1,t2,t3 : temps de mesure

2.3 Favoriser le développement des fonctions exécutives via l'activité physique, des modèles psychologiques ?

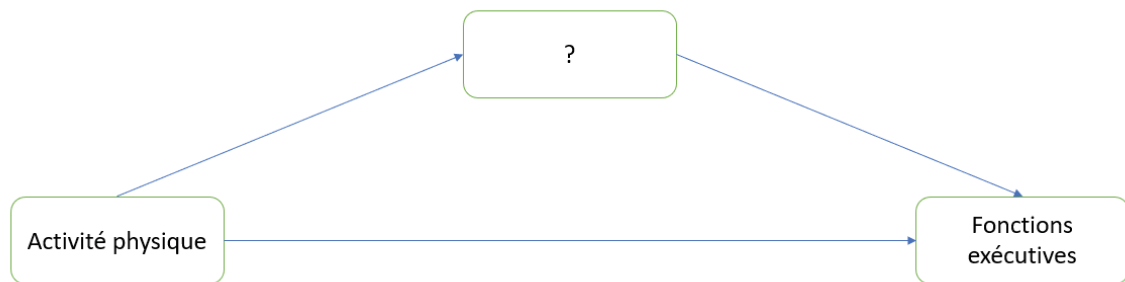
L'étude des effets chroniques de l'AP sur les FE présente des résultats particulièrement encourageants qui sont communément interprétés par l'hypothèse neurotrophique. Cependant, les pistes explicatives possibles sont nombreuses et variées (Audiffren & André, 2015; Best, 2010; Diamond, 2000; Stimpson et al., 2018) et loin d'être exclusives, elles pourraient interagir entre elles (Vazou et al., 2019). A ce jour, encore relativement peu d'études se sont intéressées aux éléments de preuve pour soutenir un mécanisme et/ou un autre (Singh et al., 2019). En ce sens, dans la perspective de futurs travaux dans notre discipline, intéressons-nous aux variables psychologiques qui pourraient participer, au moins en partie, à l'explication ou la modulation des effets de l'AP sur les FE.

2.3.1 Médiateurs possibles

Si des processus psychologiques peuvent expliquer le lien entre l'AP et les FE, nous pouvons faire l'hypothèse que ceux-ci puissent se situer en différents points de l'architecture cognitive. En d'autres termes, nous pourrions nous attendre à observer que l'AP favorise le développement des FE par la mise en jeu de processus qui sous-tendent l'activité des FE (processus bottom-up), de processus de régulation de l'activité exécutive (processus top-down) ou encore de processus partagés. Quels processus psychologiques pourraient médier le lien entre l'AP et les FE (voir figure 58) ?

Figure 58

Quel médiateur pour expliquer l'effet de l'activité physique sur le développement des fonctions exécutives ?



Les méta-analyses menées sur les effets de l'AP sur la cognition chez l'enfant ont rapporté des effets positifs de l'AP sur les capacités attentionnelles (de Greeff et al., 2018; Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017), notamment sur l'attention sélective. L'attention, dans une certaine mesure, pourrait être envisagée comme un ingrédient essentiel à la mise en jeu des FE. En effet, il serait difficile d'envisager de bonnes performances aux tâches de mesure des FE chez un sujet fatigué ou peu attentif aux stimuli présentés. Alors, nous pourrions envisager que l'AP chronique favorise par entraînement les capacités attentionnelles qui profiteraient au développement des FE. Toutefois, nous devons rester prudents quant à cette hypothèse tant le concept d'attention englobe des processus variés (e.g., attention sélective, attention soutenue, vigilance, ...) jusqu'à rencontrer une frontière particulièrement floue avec les FE, notamment dans sa composante de contrôle (Diamond, 2013; Norman & Shallice, 1986). Il ne s'agit pas de mesurer un même phénomène et de constater des liens évidents, mais de vérifier dans quelle mesure les bénéfices de l'AP sur les ressources attentionnelles pourraient servir le développement des FE dans une perspective bottom-up.

L'étude de van der Niet et al. (2015) a pu rapporter que plus les enfants avaient un volume d'AP important, plus court était leur temps d'exécution d'une tâche de planification (test de la tour de Londres). Alors, la pratique d'AP habituelle pourrait permettre une meilleure capacité de contrôle de la réalisation des actions planifiées en amont (Unterrainer et al., 2004). L'AP pourrait donc impacter positivement des systèmes de plus haut niveau liés à la gestion de l'effort qui pourraient favoriser l'efficacité des FE (processus top-down) (Best & Miller, 2010; Roebbers & Kauer, 2009). Ainsi, les stratégies métacognitives mises en place pour réussir à maintenir l'effort physique pourraient être transférées à la gestion de l'effort cognitif nécessaire pour réussir des tâches de FE. Dans la même veine, nous retrouvons le modèle de psychologie sociale de la force de la maîtrise de soi de Baumeister revisité dans le cadre de l'exercice physique (Audiffren et al., 2011; Audiffren & André, 2015). Dans ce modèle, l'engagement et l'effort de maintien répété dans une AP permettrait d'augmenter la quantité de ressources de contrôle de soi disponibles et ces bénéfices pourraient être transférés des situations

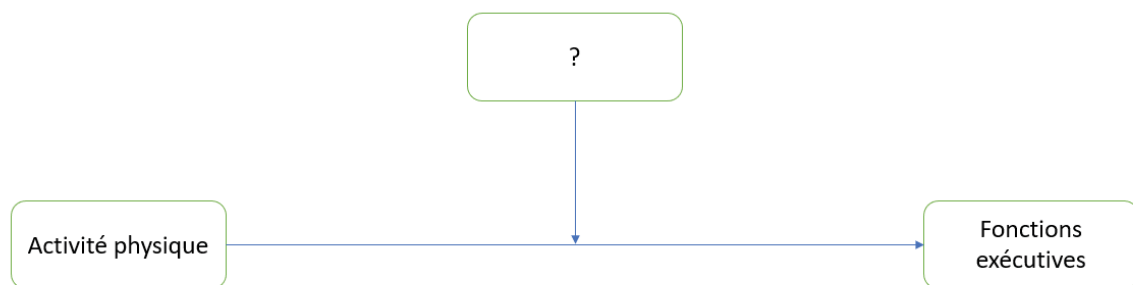
d'AP aux autres sphères de l'autorégulation, e.g., contrôle attentionnel (Hagger et al., 2010). Toutefois, à notre connaissance, ce modèle n'a pas été étudié chez l'enfant. Il s'agit d'une piste à explorer, tant pour la vérification des hypothèses de ce modèle théorique chez l'enfant que pour nous intéresser à une médiation du lien entre l'AP et les FE par le contrôle de soi (Egger et al., 2019).

2.3.2 Modérateurs possibles

Certaines variables qui pourraient moduler le lien entre l'AP et les FE sont à considérer. De telles variables pourraient agir comme autant de goulots d'étranglement pouvant faciliter ou entraver l'effet de l'AP chronique sur le développement des FE (voir figure 59). Cependant, nous n'établirons pas ici de liste exhaustive, tant les modérateurs peuvent être nombreux, mais proposerons des modérateurs clé qui devraient, faire l'objet d'investigations futures.

Figure 59

Quel modérateur pour expliquer les effets différentiels de l'activité physique sur le développement des fonctions exécutives ?



Parmi les modérateurs qui peuvent être envisagés, notre échec à trouver un lien entre l'AP et les FE comme construit latent dans l'étude 1 et notre réussite à retrouver ce lien dans l'étude 2 suggèrent une modulation possible par l'âge. En effet, dans l'étude 1, nous avons trois groupes d'âge (i.e., CE2, CM1 et CM2) alors que nous n'avons que des élèves de CE2 dans l'étude 2. Les enfants les plus jeunes pourraient alors être davantage sensibles aux effets de l'AP sur le développement des FE. Cette hypothèse pourrait aller dans le sens de travaux ayant retrouvé davantage d'effets de l'AP sur l'efficacité des FE durant les périodes de vie de changements développementaux (i.e., enfance, vieillissement) (Ludyga et al., 2016). Aussi, certains travaux suggèrent que les interventions d'AP ont des effets différentiels selon le niveau d'efficacité de base des FE : l'AP profiterait davantage aux enfants dont l'efficacité exécutive est la plus faible (Diamond, 2014; Pan et al., 2019; Xue et al., 2019). De plus, des variables affectives et des variables sociales pourraient moduler l'effet de l'AP sur les FE : des individus plus joyeux ou ayant un sentiment d'appartenance à un groupe et d'être soutenu pourraient être plus réceptifs aux effets de l'AP sur les FE (Diamond, 2012; Howie et al., 2014; Vazou & Smiley-Oyen, 2014).

Enfin, la revue de littérature de Lubans et al. (2016) montre que la prise en compte de la condition physique et de l'AP habituelle sont des modérateurs centraux à prendre en compte. Ce que vient appuyer l'hypothèse de l'effort de contrôle de soi dans l'AP qui diffère selon les habitudes et le vécu affectif des AP passées (Audiffren & André, 2015, 2019). Ceci vient aussi nous interroger sur d'éventuels modérateurs davantage dispositionnels. En effet, les travaux de Rothbart et al. (2006) montrent que des composantes innées sont en lien avec les futures capacités d'auto-régulation et les FE. Les facettes du tempérament comme la réactivité et l'auto-régulation pourraient être liées au futur contrôle de soi dans l'AP comme à l'efficacité des FE. Il est alors primordial d'évaluer dans quelle mesure les effets de l'AP peuvent être modulés par d'autres variables.

3 Chapitre 3 : Considérations sur les études interventionnelles

Les études interventionnelles qui ont implémenté de l'AP en classe sont encore peu nombreuses et les publications de protocoles encore relativement rares. Pourtant, le processus de réplication est essentiel à la construction des connaissances scientifiques et il s'en retrouve alors entravé. Aussi, la validité interne des études interventionnelles menées en milieu écologique est difficile à établir par manque de contrôle des variables. Alors, il serait intéressant que la recherche communique davantage sur les protocoles interventionnels et les freins et leviers à l'adhésion ainsi qu'au suivi des interventions. Ce chapitre est consacré à des pistes de réflexion sur la faisabilité des interventions d'inclusion d'AP en classe et pour favoriser la validité interne de ce type d'études.

3.1 Accompagner le changement

L'implémentation de programmes d'AP en classe peut être un défi. En effet, l'AP n'est pas une activité de classe classique et l'espace relativement restreint pour se mouvoir sont des freins à envisager qui ont pu faire défaut dans les études précédentes (Donnelly et al., 2009; Martin et al., 2010). Nous avons donc opté au développement d'un programme en croisant les regards de la recherche, du terrain et du public (Lambooy & Cotton, 2018). Nous pensons que le fait d'avoir soumis les activités à des enseignants pour traiter de leur faisabilité dans une salle de classe et les avoir fait évaluer par des enfants a permis d'ajuster au mieux le programme, ce qui a pu constituer un levier pour l'adhésion et le suivi dudit programme tout au long de l'année scolaire.

La participation des classes au programme s'est faite sur la base du volontariat des enseignants. Nous avons pensé que les enseignants qui répondraient à notre appel seraient déjà favorables à la pratique d'AP en classe et motivés à s'engager dans ce type de démarche. Le questionnaire a confirmé cette hypothèse qui s'inscrit dans les observations de travaux récents qui montrent que les enseignants qui s'engagent volontairement dans des programmes d'inclusion d'AP en classe ont des attitudes positives envers l'AP et les pédagogies actives physiquement (Foran et al., 2017). Un enseignant a dû être remplacé durant quelques semaines de Mouvement en classe. L'enseignant remplaçant a accepté de poursuivre le programme, nous lui avons alors fourni le guide pratique et une formation individuelle pour délivrer les pauses actives. Cet enseignant remplaçant a rencontré de nombreux obstacles à l'adhésion aux pauses actives qui n'ont pas été rapportées par les autres enseignants qui ont animé les pauses actives. Il est possible que les freins rencontrés aient été dus au fait que l'usage des pauses actives n'ait pas été délibérément choisi par cet enseignant, en effet, les enseignants moins intéressés par ce type de pratiques perçoivent davantage d'obstacles et ont besoin de plus de soutien et d'accompagnement pour initier et maintenir la pratique d'AP en classe (Dinkel et al., 2017; Dinkel et al., 2016; Foran et al., 2017). Dès lors, nous pensons que les pauses actives devraient être

implémentées uniquement si les enseignants y sont favorables et qu'ils choisissent volontairement cette pratique.

L'implémentation de pauses actives, même trois fois par semaine, entraîne des changements substantiels dans la routine de classe et les enseignants qui ont participé ont dû s'investir pour permettre ce changement. Ils ont assisté à la formation, ont lu le guide pratique et ont dû s'exercer pour la réalisation de certaines activités afin de pouvoir les animer en classe... Cet investissement était volontaire et non gratifié. Alors, il était nécessaire de veiller à ce que l'implémentation des pauses actives ait le moins de répercussions négatives sur leur temps de préparation des enseignements et le temps libre des enseignants. Nous avons donc appliqué des concepts issus des modèles du changement du comportement en vue de minimiser les barrières et renforcer les leviers d'adhésion et de suivi du programme, e.g., programme clé en main, formation, suivi mensuel et à la demande, choix dans les activités. Les enseignants ont évalué positivement et ont trouvé utiles la formation et les outils. Nous pensons qu'il est capital que les futurs programmes de pauses actives en classe veillent à minimiser les coûts d'investissement des enseignants dans l'implémentation des programmes et qu'ils actionnent les leviers motivationnels pour que cette pratique puisse devenir une routine de classe habituelle plutôt qu'une activité transitoire à supporter (Dinkel et al., 2016).

3.2 Contrôle des variables

Les études interventionnelles bénéficient d'une forte validité écologique, mais de nombreuses variables peuvent parasiter les résultats et amoindrir leur validité interne. Il est donc primordial de veiller, autant que faire se peut, au contrôle de variables clés et de repérer les biais qui pourraient aussi expliquer les résultats obtenus. Les études d'inclusion d'AP en classe restent encore parfois floues sur les doses d'AP administrées et la régularité du suivi des programmes (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Cette critique vaut également pour notre étude interventionnelle qui n'a évalué la qualité du suivi qu'à travers quelques items à un questionnaire passé en fin d'année.

Afin de pouvoir imputer les résultats aux variables manipulées, il est primordial, au minimum, de s'assurer de l'application du programme dans les conditions établies en amont. Il est difficile de conclure sur les effets d'un programme qui n'a pas pu être appliqué de la même manière dans les différentes classes. Comme il semble difficilement envisageable que des expérimentateurs observent chacune des pauses actives, nous pensons que l'envoi d'un questionnaire hebdomadaire court sur l'implémentation du programme aux enseignants peut être une méthode acceptable d'évaluation du suivi.

Aussi, relativement peu d'études ont pu évaluer l'exercice physique de l'AP implémentée en classe, notre étude n'a pas pu le faire non plus (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017). Pour pouvoir tirer des conclusions plus robustes, il faudrait que les programmes évaluent les efforts requis pour effectuer les activités et les recommandations de Pontifex et al. (2019) donnent des pistes : l'usage d'échelles psychologique d'appréciation de l'effort et une méthode de calcul pour adapter les activités. L'échelle de mesure OMNI-RPE de l'effort physique a été validée chez l'enfant (Robertson et al., 2005). Cette échelle demande à l'enfant d'évaluer sa fatigue après l'activité avec des pictogrammes intuitifs. Elle permet de prendre en compte à la fois des paramètres physiologiques et psychosociaux de l'effort physique, ce qui peut s'avérer particulièrement intéressant dans l'explication de l'effet de pauses actives sur les FE. Il est aussi possible de cibler l'intensité à partir du pourcentage de la capacité de réserve aérobie (%VO₂R¹), gold standard de la tolérance individuelle aux AP aérobies, des participants (Dalleck & Dalleck, 2008).

3.3 Vers le gold standard

L'ERC est un gold-standard des designs d'études interventionnelles (Hariton & Locascio, 2018). Dans les ERC, la répartition des participants entre le GA et le GC se fait de manière aléatoire, ce qui limite les biais de sélection et la répartition de variables parasites connues et inconnues. Toutefois, en milieu scolaire, la randomisation par sujet semble difficile, voire impossible et les randomisations sont faites en cluster (cluster par classe au minimum). Hillman et al., (2019) rappellent que la randomisation en cluster peut limiter l'inférence causale. En effet, les éventuels effets observés pourraient être imputables à des variables liées au groupe et non à l'intervention.

Pour conclure sur les effets d'une intervention, il est aussi nécessaire de comparer les différentes dimensions de l'intervention à plusieurs groupes contrôles (Hillman et al., 2019). Les pauses actives du programme Mouv'enclasse comptaient des pauses en mouvement de 10 minutes trois fois par semaine. Pour conclure sur les effets du programme, il est nécessaire les résultats du groupe ayant suivi le programme avec plusieurs groupes contrôle :

- ❖ Un groupe sans pause active suivant une scolarité classique pour contrôler si l'intervention apporte plus que la scolarité classique ;
- ❖ Des groupes bénéficiant des pauses actives de différentes durée, intensité et fréquence pour contrôler l'effet dose-réponse ;
- ❖ Des groupes bénéficiant de pauses sédentaires (e.g., coloriage, méditation) pour contrôler l'effet pause entre deux enseignements ;

¹ %VO₂R = [(VO₂ max – VO₂ rest) * % intensité cible] + VO₂ rest

- ❖ Des groupes bénéficiant de pause sans interaction avec l'enseignant pour contrôler l'effet de l'interaction sociale...

Il est aussi important que, dans la mesure du possible, les participants, les enseignants qui délivrent les pauses actives et les évaluateurs ne sachent de quel groupe il s'agit. Nous n'avons pas pu veiller à la mise en aveugle des procédures. En effet, cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat et les mêmes personnes étaient en charge de délivrer les formations, suivre les enseignants, faire les évaluations, saisir les données, analyser les résultats et les discuter. Bien que nous ayons travaillé dans la plus grande transparence possible, il est possible que des biais aient pu affecter l'étude. Toutefois, nous avons veillé à ce que les élèves du GA ne nous associent pas à la mise en place des pauses actives et à ce que les enseignants et les participants du GC ne connaissent pas le but initial de l'étude qui leur a été dévoilé à la fin des travaux. Davantage de travaux et l'usage de designs d'étude robustes sont nécessaires pour conclure sur les effets des pauses actives sur le développement des FE (Hillman et al., 2019; Pontifex et al., 2019; Singh et al., 2019).

4 Chapitre 4 : Limites et perspectives appliquées

Nous avons réalisé cette thèse avec attention et avons veillé à limiter le bruit dans nos mesures et à analyser les données de la manière la plus adaptée à leur nature. Toutefois, plusieurs limites doivent être évoquées et nous invitent à interpréter les résultats de cette thèse avec précaution. Ce chapitre présente les limites de nos travaux, tant celles liées aux outils qu'aux méthodes d'investigation que nous avons retenus. Par soucis de redondance, les limites propres à chaque étude ne seront évoquées que très brièvement puisqu'elles ont été traitées dans les discussions partielles respectives de chacune des deux études.

4.1 Limites liées aux outils

4.1.1 La mesure des fonctions exécutives

Comme nous l'avons abordé dans le chapitre 2 de la discussion générale de cette thèse, la mesure des FE est un défi. En deçà des questions abordées ci-avant, certaines limites doivent être adressées concernant les outils que nous avons utilisés pour mesurer les dimensions d'inhibition, de MDT et de flexibilité mentale. D'abord, nous avons évalué l'efficacité de l'inhibition à travers la version française du test de Stroop et ses normes en population pédiatrique (Albaret & Migliore, 1999). Dans l'étude 1, nous n'avons pas pu utiliser le score d'interférence de Stroop tant il était peu sensible à l'âge et, dans l'étude 2, il a montré un effet d'interaction difficile à interpréter. De plus, la distribution du score d'interférence dans les normes françaises est assez contre intuitive (score qui augmente avec l'avancée en âge) et ne s'inscrit pas dans la lignée des autres versions disponibles du test (Roy et al., 2018). Ces résultats peuvent être imputés au protocole utilisé qui diffère de celui utilisé par ailleurs (traiter le plus d'items possibles en 45 secondes vs. Chronométrage pour le traitement de 100 items). De nombreuses critiques ont été adressées à ce protocole, e.g., le fait de signaler les erreurs pourrait entraîner un effet d'apprentissage et la non prise en compte des erreurs dans le score d'interférence de Stroop rendrait difficile une conclusion en termes de capacités d'inhibition (Roy et al., 2018). Il serait pertinent d'investiguer l'inhibition des enfants français à l'aide de versions plus robustes du test de Stroop dont celle du protocole GREFEX français récemment étudié chez l'enfant et ayant montré des résultats encourageants (GREFEX (groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives), 2001; Roy et al., 2018).

Concernant la mesure de la MDT, la nature des processus impliqués dans cette tâche sont toujours en discussion (Best & Miller, 2010; Fournier & Albaret, 2013). Le fait que les empanns endroit et envers se rapprochent avec l'avancée en âge dans cette tâche et pas dans les épreuves verbales, la MDT visuo-spatiale ne peut pas être considérée comme équivalente à la MDT verbale. Dans les blocs de Corsi, les participants peuvent encoder l'information à restituer de deux manières différentes : de manière

séquentielle i.e., par mouvements de bloc en bloc ou de manière plus simultanée en envisageant une forme générale et ainsi délester en partie le système attentionnel (Gardner, 1981; Mammarella & Cornoldi, 2005). Dans la tâche d'empan envers des blocs de Corsi, le participant doit être attentif à la séquence de cubes présentés par l'administrateur, encoder et se souvenir de leur localisation, encoder et se souvenir de leur ordre de présentation, renverser mentalement l'ordre de présentation et répondre en montrant les cubes un à un dans l'ordre inverse (Luciana et al., 2005), ce sont donc de nombreuses capacités qui sont nécessaires à la réussite de cette tâche et pas uniquement des composantes exécutives. Multiplier les tâches de MDT serait judicieux pour rendre compte le plus justement possible de cette composante des FE.

Nous avons mesuré la flexibilité mentale à l'aide du premier set de cartes du WCST (i.e., 64 cartes sur 128). Il s'agit d'une version valide du WCST, mais qui n'a pas encore de normes françaises (Greve, 2001). Les comparaisons que nous avons faites entre les scores bruts de nos participants et ceux de travaux de comparaisons de différentes versions du WCST chez l'enfant ont montré que nos participants avaient de meilleurs scores médians que ceux des participants des autres travaux. Toutefois, les écart-types et les plages d'âge relativement larges (Smith-Seemiller et al., 2001). Des normes françaises devraient être envisagées. Aussi, la version modifiée du WCST (MCST) de (Nelson, 1976) apparaît comme une épreuve peut-être plus appropriée chez la population pédiatrique (Cianchetti et al., 2007). Dans cette version, Nelson a retiré du set les cartes ambiguës qui partageaient plus d'un attribut avec les cartes de référence si bien que cette version contient deux sets de 24 cartes. Les consignes changent aussi : le premier appariement proposé par le participant est considéré comme correct et une catégorie est complétée au bout de 6 cartes correctement placées à la suite. Le changement de critère d'appariement est annoncé explicitement : « maintenant, il faut ranger les cartes d'une autre façon ». Cette version du test, en plus d'apporter des gains de temps et d'évaluation des réponses et une tâche plus simple et devrait donc davantage refléter la flexibilité mentale (Miyake et al., 2000) et élimine le stress relatif à la situation d'ambiguïté du test qui a peu à voir avec la flexibilité mentale (Cianchetti et al., 2007). D'autres tâches moins complexes sont pertinentes pour approcher la flexibilité mentale comme e.g., le Trail Making Test (TMT) (Reitan & Wolfson, 1985; Tombaugh, 2004), dans lequel les participants doivent relier alternativement sur une page des chiffres et des lettres en suivant l'ordre croissant pour les chiffres et l'ordre alphabétique pour les lettres (1-A-2-B-3-C-4-D...). Plusieurs tâches de flexibilité doivent être menées pour rendre compte de la flexibilité mentale.

4.1.2 Les mesures subjectives

Nous avons mesuré la pratique d'AP habituelle des participants à nos études à l'aide de techniques subjectives auto rapportées (i.e., questionnaire hebdomadaire dans l'étude 1 et journal hebdomadaire dans l'étude 2). Bien que nos résultats se retrouvaient dans la lignée de ceux retrouvés dans la

population pédiatrique française, ce type de mesure reste soumis à de nombreux biais et manque de validité (Guinhouya, 2013). Les résultats obtenus ont pu être affectés par ces biais et l'usage d'outils objectifs devrait être privilégié dans de futures études. L'accéléromètre apparaît comme un outil fiable et valide pour rendre compte de la pratique d'AP chez l'enfant d'âge scolaire (Aadland et al., 2017; Guinhouya, 2013; van der Niet et al., 2015; Verloigne et al., 2012).

La mesure des performances académiques que nous avons utilisée a rapporté des résultats surprenants qui montrent un manque de stabilité dans le temps pour une variable censée conserver une bonne stabilité (Anderman, 2003; Ladd & Dinella, 2009). Les échelles de type Likert de positionnement des élèves par rapport au niveau moyen de la classe ne sont pas appropriées et des outils plus fiables devraient être utilisés. Des mesures de progrès et de validation d'acquis sont plus pertinentes pour rendre compte de différences fines de manière objective (Watson, Timperio, Brown, Best, et al., 2017).

Nous devons aussi signaler que l'échelle QoLS-fr n'a pas encore fait l'objet de réplication pour sa validation en français et qu'aucune étude sur aucune des trois versions de l'échelle ne s'est intéressée à sa stabilité test-retest (Ghotra et al., 2016; Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009). Davantage d'études sont nécessaires pour tester la fiabilité de l'échelle dans notre contexte culturel dont la validation de l'échelle auprès d'autres échantillons, des mesures répétées ou l'étude de modérateurs supplémentaires.

4.2 Limites liées aux designs d'investigation

L'étude 1 a utilisé une perspective transversale, si ce design permet de donner des indications de développement, il n'est pas suffisant pour rendre compte de patterns développementaux. De plus, nous n'avons pas pu étudier les effets différentiels de l'âge dans le lien entre l'AP et les FE puisque la taille de notre échantillon était trop modeste pour rechercher des effets de faible ampleur. Le test de médiation de l'axe 1 de l'étude 2 a été fait sur un seul temps de mesure, ce qui est une limite majeure pour envisager des relations causales entre AP, FE et performances académiques. Une réplication avec des données longitudinales et un modèle autorégressif sont nécessaires pour conclure.

Dans l'étude 2, l'allocation des sujets aux GA et au GC s'est faite sur la base du volontariat des enseignants à implémenter le programme Mouv'enclasse. Dès lors, bien que cette étude soit un essai contrôlé, la non-randomisation est une limite importante et nous ne pouvons pas conclure sur l'efficacité de l'intervention qui pourrait notamment être en lien avec la relation particulière à l'enseignant (Diamond et al., 2007; Hughes & Cao, 2018; Spilt et al., 2012). De futurs travaux devraient envisager de ERC avec de multiples groupes contrôle pour conclure sur l'effet des pauses actives sur

les FE (Hillman et al., 2019; Pontifex et al., 2019; Singh et al., 2019). Enfin, nous n'avons pas pu avoir accès à de nombreuses variables socio-démographiques qui ont pu avoir un impact sur nos résultats et qu'il faudrait prendre en compte dans de futurs travaux comme la qualité de l'environnement du foyer, la qualité du sommeil, la sédentarité (activités et niveau de sédentarité), la classe socio-économique des parents.

4.3 Perspectives appliquées

Les résultats de cette thèse encouragent à poursuivre les investigations du lien entre l'AP et le développement des FE et à considérer l'AP comme un moyen potentiel pour favoriser le développement des FE. L'usage de l'AP comme un moyen de favoriser le développement des FE pourrait s'avérer particulièrement intéressant auprès d'enfants qui risquent de présenter des FE moins efficaces que celles d'enfants du même âge (Pan et al., 2019) mais dont la situation pourrait ne pas relever du champ de la prise en charge neuropsychologique. Nous avons pu identifier des groupes d'enfants qui pourraient tirer bénéfice d'interventions d'AP pour les FE dont les enfants issus de milieux de vie carencés, les enfants atteints de cancer et traités par chimiothérapie et les enfants porteurs de troubles neurodéveloppementaux.

Les FE sont sensibles aux expériences de vie précoces et à l'environnement. Des conditions de vie difficiles comme la vie en orphelinat ou la précarité peuvent affecter le développement des FE (Hodel, 2018; Mackes et al., 2020; Wretham & Woolgar, 2017). Dès lors, le déploiement d'interventions de promotion de pratique d'AP ou d'inclusion de pratique d'AP capables de favoriser le développement des FE pourrait être pertinent auprès d'enfants vivant dans les conditions de vie difficiles susmentionnées.

Le traitement du cancer par chimiothérapie peut affecter le développement des FE de l'enfant et avoir des répercussions à long terme (Moore, 2005; Robison & Hudson, 2014). Depuis quelques années, l'activité physique adaptée se répand en tant que soin de support dans les services d'oncologie pédiatrique et, bien qu'encore marginale, présente des résultats encourageants sur la santé physique, psychologique et sociale des enfants (Ducassou et al., 2016; Götte et al., 2014). Des travaux sur les effets de l'AP sur le développement des FE d'enfants atteints de cancer et traités par chimiothérapie ont d'ores et déjà été envisagés et présentent des perspectives encourageantes (Benzing et al., 2018). Davantage d'études sont nécessaires pour déterminer dans quelle mesure l'AP peut bénéficier au développement des FE d'enfants traités par chimiothérapie.

Les écoles ordinaires accueillent des élèves qui peuvent rencontrer des difficultés attentionnelles, e.g., enfants porteurs de troubles dits « dys » (dyslexie, trouble d'acquisition des coordinations...) pour

lesquels les activités de classe sont particulièrement coûteuses cognitivement ou les enfants porteurs de TDA-H. Les déclarations des enseignants ayant participé à Mouv'enclasse et les résultats de la récente méta-analyse de Watson et al. (2017) montrent que les pauses actives en classe ont des effets positifs sur l'attitude en classe et les conduites d'apprentissage. Les pauses actives pourraient alors permettre aux élèves de remobiliser leur attention. Elles constitueraient alors une stratégie intéressante à utiliser pour pallier aux difficultés attentionnelles des élèves qui en ont besoin et favoriser les apprentissages.

5 Conclusion

Cette thèse avait pour objectif d'étudier le lien entre la pratique d'AP et le développement des FE chez l'enfant d'âge scolaire. Pour ce faire, nous avons décliné cet objectif en trois objectifs généraux auxquels nous avons tenté de répondre à travers deux études. L'étude 1 avait pour but de répondre à l'objectif (1) de cette thèse : étude de la relation entre l'efficacité des FE de base et la pratique d'AP habituelle chez l'enfant d'âge scolaire. L'étude 2 se découpait en deux axes. L'axe 1 de l'étude avait pour objectif (2) d'étudier les liens entre l'AP, les FE et la performance académique et l'axe 2 de l'étude 2 avait pour objectif (3) d'étudier les effets de l'inclusion d'une pratique d'AP en milieu scolaire sur le développement des FE de base d'enfants scolarisés dans des écoles REP, leur AP et leur QDV à l'école.

Les résultats de nos travaux transversaux de l'étude 1 ont révélé des liens transversaux entre la pratique d'AP habituelle et l'efficacité des FE de base chez l'enfant d'âge scolaire : plus les enfants s'engageaient fréquemment dans des AP de la vie quotidienne (e.g., transports actifs, participation aux tâches ménagères) et moins ils s'engageaient sur de longues durées dans des AP de loisir, meilleure était leur efficacité d'inhibition ; et plus les enfants s'engageaient dans des AP sportives d'intensité modérée plutôt que vigoureuse, meilleure était l'efficacité de leur MDT. Nous n'avons pas retrouvé de lien entre les dimensions de l'AP habituelle et l'efficacité de la flexibilité mentale et nous n'avons pas pu retrouver de lien significatif entre l'AP habituelle et les FE de base envisagées comme un construit latent.

Nous avons poursuivi nos investigations dans une deuxième étude auprès d'une population d'enfants scolarisés dans des classes de CE2 dans des écoles REP. Les résultats du premier axe de cette étude ont révélé que les FE de base jouaient un rôle de médiateur total du lien observé entre la durée de pratique d'AP habituelle et la performance académique des élèves. Le deuxième axe de l'étude alloué à l'étude des effets de l'inclusion de pauses actives sur le développement des FE et sur des variables secondaires (i.e., la performance académique, l'AP et la QDV à l'école). Les résultats ont révélé que les participants du GA ayant bénéficié des pauses actives présentaient une évolution plus importante en flexibilité mentale que ceux du GC ayant suivi une scolarité classique. Les résultats n'ont pas permis de conclure pour l'inhibition bien que des progrès soient observés. Nous n'avons pas retrouvé d'évolution significative de la MDT visuo-spatiale au cours de l'année scolaire dans aucun des deux groupes. Nous n'avons pas retrouvé d'interaction significative pour les variables secondaires. L'intervention n'a pas eu de répercussion et pas d'effet délétère sur les performances académiques des élèves quant à leur positionnement relatif au niveau moyen national attendu ; ni sur l'AP habituelle ou la QDV à l'école. Toutefois, nous avons noté une tendance du GA à être moins actif que le GC et nous avons remarqué que les participants du GC connaissaient une baisse significative de la qualité de

leur relation à leur enseignant et de leur satisfaction à l'école au cours de l'année scolaire et pas le GA. Il serait intéressant de répliquer ces travaux avec une taille d'échantillon plus importante pour vérifier ces tendances. Les pauses actives sont une pratique pertinente pour favoriser le développement de certaines FE de base et peut-être le maintien de relations de qualité à l'enseignant et d'une bonne satisfaction à l'école auprès d'élèves issus de milieux défavorisés. Nos résultats doivent être interprétés avec précaution du fait de la présence de biais inhérents à nos outils et aux méthodes d'investigation que nous avons utilisés.

Nos résultats encouragent la poursuite de l'investigation du lien entre l'AP et le développement des FE chez l'enfant d'âge scolaire et en particulier chez les enfants qui risquent de présenter des difficultés dans leur développement et leur réussite scolaire comme les enfants issus de milieux défavorisés. Si des interventions indirectes faisables et peu coûteuses comme l'implémentation d'AP peuvent en plus d'être favorables à la santé des enfants, favoriser le développement des FE ; et comme ces fonctions sont primordiales pour fonctionner dans toutes les sphères de vie et s'adapter efficacement au quotidien, les interventions d'AP devraient être sérieusement envisagées comme des moyens de lutte contre les inégalités sociales.

« He was going to learn about sheep, and the high pasturages, and look at a wider sky, and walk ever further and further towards the Mountains, always uphill. Beyond that I cannot guess what became of him. Even little Niggle in his old home could glimpse the Mountains far away, and they got into the borders of his picture; but what they are really like, and what lies beyond them, only those can say who have climbed them. »

J.R.R. Tolkien, Leaf by Neagle, 1964.

Bibliographie

- Aadland, K. N., Ommundsen, Y., Aadland, E., Brønneck, K. S., Lervåg, A., Resaland, G. K., & Moe, V. F. (2017). Executive functions do not mediate prospective relations between indices of physical activity and academic performance : The Active Smarter Kids (ASK) study. *Frontiers in Psychology, 8*, 1088. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01088>
- Aadland, K. N., Moe, V. F., Aadland, E., Anderssen, S. A., Resaland, G. K., & Ommundsen, Y. (2017). Relationships between physical activity, sedentary time, aerobic fitness, motor skills and executive function and academic performance in children. *Mental Health and Physical Activity, 12*, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2017.01.001>
- Adolph, K. E. (2008). Learning to move. *Current Directions in Psychological Science, 17*(3), 213-218. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00577.x>
- Agence Nationale de sécurité sanitaire alimentation environnement travail. (2017). *Etude individuelle nationale des consommations alimentaires (INCA 3) : Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective*.
- Ahamed, Y., Macdonald, H., Reed, K., Naylor, P.-J., Liu-Ambrose, T., & McKay, H. (2007). School-based physical activity does not compromise children's academic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 39*(2), 371-376. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241654.45500.8e>
- Ahn, S., & Fedewa, A. L. (2011). A Meta-analysis of the Relationship Between Children's Physical Activity and Mental Health. *Journal of Pediatric Psychology, 36*(4), 385-397. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsq107>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50*(2), 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Ajzen, I. (2011). The theory of planned behaviour : Reactions and reflections. *Psychology & Health, 26*(9), 1113-1127.
- Albaret, J.-M., & Migliore, L. (1999). *Test de Stroop [Instrument de mesure]*. Pearson. <https://www.pearsonclinical.fr/stroop-test-dattention-selective-de-stroop-1>
- Albessard-Ball, L., & Balzeau, A. (2018). Of tongues and men : A review of morphological evidence for the evolution of language. *Journal of Language Evolution, 3*(1), 79-89. <https://doi.org/10.1093/jole/lzy001>
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children : Are they separable? *Child Development, 77*(6), 1698-1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Caverro-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaíno, V. (2017). The effect of physical activity interventions on children's cognition and metacognition : A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 56*(9), 729-738. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>
- Amoros, F. (1839). *Nouveau manuel d'éducation physique, gymnastique et morale* (Librairie encyclopédique Roret, Vol. 1-3). BnF.
- Amunts, K., & Zilles, K. (2015). Architectonic Mapping of the Human Brain beyond Brodmann. *Neuron, 88*(6), 1086-1107. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.12.001>

- Anderman, L. H. (2003). Academic and social perceptions as predictors of change in middle school students' sense of school belonging. *The Journal of Experimental Education*, 72(1), 5-22. <https://doi.org/10.1080/00220970309600877>
- Anderson, D. I., Campos, J. J., Witherington, D. C., Dahl, A., Rivera, M., He, M., Uchiyama, I., & Barbu-Roth, M. (2013). The role of locomotion in psychological development. *Frontiers in Psychology*, 4.
- Anderson, V., Spencer-Smith, M., & Wood, A. (2011). Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. *Brain*, 134(8), 2197-2221. <https://doi.org/10.1093/brain/awr103>
- Andreelli, F., & Mosbah, H. (2014). IRM fonctionnelle cérébrale : Les principes. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 8(1), 13-19. [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(14\)70677-7](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(14)70677-7)
- Anthony, C. J., & Ogg, J. (2019). Executive function, learning-related behaviors, and science growth from kindergarten to fourth grade. *Journal of Educational Psychology*, No Pagination Specified-No Pagination Specified. <https://doi.org/10.1037/edu0000447>
- Ardila, A. (2013). There are Two Different Dysexecutive Syndromes. *Journal of Neurological Disorders*, 1(1). <https://doi.org/10.4172/2329-6895.1000114>
- Armengol, C. G. (2002). Stroop test in Spanish : Children's norms. *The Clinical Neuropsychologist*, 16(1), 67-80. <https://doi.org/10.1076/clin.16.1.67.8337>
- Armstrong, N., & McManus, A. (1994). Children's fitness and physical activity—A challenge for physical education. *British Journal of Physical Education*, 25(1), 20-26. CABDirect2.
- Arnaud, P. (1991). *Le militaire, l'écolier, le gymnaste : Naissance de l'éducation physique en France (1869-1889)*. Presses Univ.
- Arnsten, A., & Li, B. (2004). Neurobiology of executive functions : Catecholamine influences on prefrontal cortical functions. *Biological Psychiatry*. <https://doi.org/10.1016/j.bps.2004.08.019>
- Aron, A. R. (2007). The Neural Basis of Inhibition in Cognitive Control. *The Neuroscientist*, 13(3), 214-228. <https://doi.org/10.1177/1073858407299288>
- Assaiante, C., Barlaam, F., Cignetti, F., & Vaugoyeau, M. (2014). Body schema building during childhood and adolescence : A neurosensory approach. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44(1), 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2013.10.125>
- Atkin, A. J., van Sluijs, E. M. F., Dollman, J., Taylor, W. C., & Stanley, R. M. (2016). Identifying correlates and determinants of physical activity in youth : How can we advance the field? *Preventive Medicine*, 87, 167-169. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.02.040>
- Audiffren, M., & André, N. (2015). The strength model of self-control revisited : Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.002>
- Audiffren, M., & André, N. (2019). The exercise-cognition relationship : A virtuous circle. *Journal of Sport and Health Science*, S2095254619300298. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.03.001>
- Audiffren, M., André, N., & Albinet, C. (2011). Effets positifs de l'exercice physique chronique sur les fonctions cognitives des seniors : Bilan et perspectives. *Revue de neuropsychologie*, 3(4), 207-225. <https://doi.org/10.1684/nrp.2011.0191>
- Augustinova, M., Almeida, E., Clarys, D., Ferrand, L., Izaute, M., Jalenques, I., Juneau, C., Normand, A., & Silvert, L. (2016). Que mesure l'interférence Stroop ? Quand et comment ? Arguments méthodologiques et théoriques en faveur d'un changement de pratiques dans sa mesure. *L'Année psychologique*, Vol. 116(1), 45-66.

- Bacro, F., Rambaud, A., Florin, A., & Guimard, P. (2011). L'évaluation de la qualité de vie des enfants de 3 à 6 ans et son utilité dans le champ de l'éducation. [Assessment of quality of life of children 3 to 6 years of age and its usefulness in education.]. *A.N.A.E. Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 23(2[112-113]), 189-194.
- Bacro, F., Florin, A., & Guimard, P. (2014). *Le bien-être des élèves à l'école et au collège : Validation d'une échelle d'évaluation multidimensionnelle et analyses différentielles* (appel à projet « L'égalité des chances à l'École », MENESR-DEPP N° 2013-013). Commissariat général à l'égalité des territoires, et le Défenseur des droits. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjf0v38n67qAhXJzYUKHV4XBu8QFjADegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.education.gouv.fr%2Fmedia%2F19718%2Fdownload&usg=AOvVaw0GeXXDJ50K3aBBySL2awOS>
- Bacro, F., Guimard, P., Florin, A., Ferrière, S., & Gaudonville, T. (2017). Bien-être perçu, performances scolaires et qualité de vie des enfants à l'école et au collège : Étude longitudinale. *Enfance*, 2017(01), 61-80. <https://doi.org/10.4074/S0013754517001057>
- Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 362-365. <https://doi.org/10.1080/14640746608400055>
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory* (Oxford University Press).
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer : A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In *The psychology of learning and motivation* (G.Bower (Ed.), Vol. 8, p. 47-90). Academic Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6), 575-589. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80045-4)
- Bahrke, M. S., & Morgan, W. P. (1978). Anxiety reduction following exercise and meditation. *Cognitive Therapy and Research*, 2(4), 323-333. <https://doi.org/10.1007/BF01172650>
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141. <https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Bailey, D. A., McKay, H. A., Mirwald, R. L., Crocker, P. R., & Faulkner, R. A. (1999). A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children : The university of Saskatchewan bone mineral accrual study. *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 14(10), 1672-1679. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1999.14.10.1672>
- Baillargeon, R., Spelke, E. S., & Wasserman, S. (1985). Object permanence in five-month-old infants. *Cognition*, 20(3), 191-208. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(85\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(85)90008-3)
- Baldy, R. (2010). *Dessine-moi un bonhomme : Dessins d'enfants et développement cognitif*. Ed. In Press.
- Baldy, R. (2011). *Fais-moi un beau dessin : Regarder le dessin d'enfant, comprendre son évolution*. In Press.
- Balleine, B. W., Liljeholm, M., & Ostlund, S. B. (2009). The integrative function of the basal ganglia in instrumental conditioning. *Behavioural Brain Research*, 199(1), 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.10.034>
- Bancroft, C., Joshi, S., Rundle, A., Hutson, M., Chong, C., Weiss, C. C., Genkinger, J., Neckerman, K., & Lovasi, G. (2015). Association of proximity and density of parks and objectively measured

- physical activity in the United States : A systematic review. *Social Science & Medicine*, 138, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.05.034>
- Baranowski, T. (1988). Validity and reliability of self report measures of physical activity : An information-processing perspective. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59(4), 314-327. <https://doi.org/10.1080/02701367.1988.10609379>
- Barkley, R. A. (1997). Attention-deficit/hyperactivity disorder, self-regulation, and time : Toward a more comprehensive theory. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics: JDBP*, 18(4), 271-279.
- Barlow, S. E., & Expert Committee. (2007). Expert committee recommendations regarding the prevention, assessment, and treatment of child and adolescent overweight and obesity : Summary report. *Pediatrics*, 120 Suppl 4, S164-192. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-2329C>
- Barouillet, P., & Camos, V. (2008). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey, *Psychologie du développement et de l'éducation*. Presses Univ. de France.
- Barthelemy, S., & Jeannin, L. (2019). Histoire et courants architecturaux du bâtiment scolaire, une nouvelle ère à venir ? *Tréma*, 52, Article 52. <https://doi.org/10.4000/trema.5416>
- Battagliese, G., Caccetta, M., Luppino, O. I., Baglioni, C., Cardi, V., Mancini, F., & Buonanno, C. (2015). Cognitive-behavioral therapy for externalizing disorders : A meta-analysis of treatment effectiveness. *Behaviour Research and Therapy*, 75, 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2015.10.008>
- Bauer, K. W., Weeks, H. M., Lumeng, J. C., Miller, A. L., & Gearhardt, A. N. (2019). Maternal executive function and the family food environment. *Appetite*, 137, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.02.004>
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current Directions in Psychological Science*, 16(6), 351-355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00534.x>
- Beaton, D. E., Bombardier, C., Guillemin, F., & Ferraz, M. (2000). Guidelines for the process of cross cultural adaptation of self-report measures. *Spine*, 25(24), 3186-3191.
- Beattie, H. L., Schutte, A. R., & Cortesa, C. S. (2018). The relationship between spatial working memory precision and attention and inhibitory control in young children. *Cognitive Development*, 47, 32-45. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2018.02.002>
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science (New York, N.Y.)*, 275(5304), 1293-1295.
- Beckett, C., Maughan, B., Rutter, M., Castle, J., Colvert, E., Groothues, C., Kreppner, J., Stevens, S., O'Connor, T. G., & Sonuga-Barke, E. J. S. (2006). Do the effects of early severe deprivation on cognition persist into early adolescence? Findings from the English and Romanian adoptees study. *Child Development*, 77(3), 696-711. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00898.x>
- Bélanger, J., Bowen, F., Cartier, S., Desbiens, N., Montésinos-Gelet, I., & Turcotte, L. (2012). L'appropriation de nouvelles pratiques d'interventions pédagogiques et éducatives en milieu scolaire : Réflexions sur un cadre théorique intégrateur. *Éducation et francophonie*, 40(1), 56-75. <https://doi.org/10.7202/1010146ar>
- Bellaj, T., Salhi, I., Le Gall, D., & Roy, A. (2016). Development of executive functioning in school-age Tunisian children. *Child Neuropsychology*, 22(8), 919-954. <https://doi.org/10.1080/09297049.2015.1058349>
- Bellebaum, C., & Daum, I. (2007). Cerebellar involvement in executive control. *The Cerebellum*, 6(3), 184-192. <https://doi.org/10.1080/14734220601169707>

- Bentler, P. M. (2006). *EQS 6 Structuram Equations Program Manual* (Multivariate Software, Inc).
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwit-5eawMrpAhXFxYUKHQVka5MQFjABegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fwww.econ.upf.edu%2F~satorra%2FCourseSEMVienna2010%2FEQSMANUAL.pdf&usg=AOvVaw2gN2PYoBe3DcFGGoyhjSn8>
- Benzing, V., Eggenberger, N., Spitzhüttl, J., Siegwart, V., Pastore-Wapp, M., Kiefer, C., Slavova, N., Grotzer, M., Heinks, T., Schmidt, M., Conzelmann, A., Steinlin, M., Everts, R., & Leibundgut, K. (2018). The Brainfit study : Efficacy of cognitive training and exergaming in pediatric cancer survivors – a randomized controlled trial. *BMC Cancer*, *18*(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s12885-017-3933-x>
- Berch, D. B., Krikorian, R., & Huha, E. M. (1998). The Corsi block-tapping task : Methodological and theoretical considerations. *Brain and Cognition*, *38*(3), 317-338. <https://doi.org/10.1006/brcg.1998.1039>
- Berkeley, G., & Berlioz, D. (1991). *Principles de la connaissance humaine*. Flammarion.
- Bernier, A., Carlson, S. M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation : Early parenting precursors of young children’s executive functioning. *Child Development*, *81*(1), 326-339. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x>
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children’s executive function : Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, *30*(4), 331-351. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
- Best, J. R. (2012). Exergaming immediately enhances children’s executive function. *Developmental Psychology*, *48*(5), 1501-1510. <https://doi.org/10.1037/a0026648>
- Best, J. R. (2014). Relations between video gaming and children’s executive functions. In F. C. Blumberg & F. Blumberg, *Learning by Playing : Video Gaming in Education* (p. 42-53). Oxford University Press.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function : Development of executive functions. *Child Development*, *81*(6), 1641-1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5 : Changes and correlates. *Developmental Review*, *29*(3), 180-200. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.05.002>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, *21*(4), 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007>
- Biddle, S. J. H., & Asare, M. (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents : A review of reviews. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(11), 886-895. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090185>
- Bidzan-Bluma, I., & Lipowska, M. (2018). Physical activity and cognitive functioning of children : A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(4), 800. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040800>
- Biederman, J., Monuteaux, M. C., Doyle, A. E., Seidman, L. J., Wilens, T. E., Ferrero, F., Morgan, C. L., & Faraone, S. V. (2004). Impact of executive function deficits and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) on academic outcomes in children. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, *72*(5), 757-766. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.72.5.757>

- Blair, C. (2002). School readiness : Integrating cognition and emotion in a neurobiological conceptualization of children's functioning at school entry. *American Psychologist*, *57*(2), 111-127. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.57.2.111>
- Blair, C., Granger, D. A., Willoughby, M., Mills-Koonce, R., Cox, M., Greenberg, M. T., Kivlighan, K. T., Fortunato, C. K., & the FLP Investigators. (2011). Salivary cortisol mediates effects of poverty and parenting on executive functions in early childhood. *Child Development*, *82*(6), 1970-1984. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01643.x>
- Blair, C., & Raver, C. C. (2016). Poverty, stress, and brain development : New directions for prevention and intervention. *Academic pediatrics*, *16*(3 Suppl), S30-S36. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2016.01.010>
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, *78*(2), 647-663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Blair, R. J. R. (2004). The roles of orbital frontal cortex in the modulation of antisocial behavior. *Brain and Cognition*, *55*(1), 198-208. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00276-8](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00276-8)
- Blume, M., Schmidt, R., & Hilbert, A. (2018). Executive functioning in obesity, food addiction, and binge-eating disorder. *Nutrients*, *11*(1), 54. <https://doi.org/10.3390/nu11010054>
- Booth, J. N., Tomporowski, P. D., Boyle, J. M., Ness, A. R., Joinson, C., Leary, S. D., & Reilly, J. J. (2013). Associations between executive attention and objectively measured physical activity in adolescence : Findings from ALSPAC, a UK cohort. *Mental Health and Physical Activity*, *6*(3), 212-219. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2013.09.002>
- Bouchard, C., & Shephard, R. J. (1994). Physical activity, fitness, and health : The model and key concepts. In *Physical activity, fitness, and health : International proceedings and consensus statement* (p. 77-88). Human Kinetics Publishers.
- Brazelton, T. B. (1978). Introduction. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *43*(5/6), 1. <https://doi.org/10.2307/1165847>
- Brechet, C. (2015). Representation of romantic love in children's drawings : Age and gender differences. *Social Development*, *24*(3), 640-658. <https://doi.org/10.1111/sode.12113>
- Brechet, C., Baldy, R., & Picard, D. (2009). How does Sam feel? : Children's labelling and drawing of basic emotions. *The British Journal of Developmental Psychology*, *27*(Pt 3), 587-606.
- Brechet, C., Picard, D., & Baldy, R. (2007). Expression of the emotions in the drawing of a man by the child from 5 to 11 years of age. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne De Psychologie Experimentale*, *61*(2), 142-153.
- Brittin, J., Frerichs, L., Sirard, J. R., Wells, N. M., Myers, B. M., Garcia, J., Sorensen, D., Trowbridge, M. J., & Huang, T. (2017). Impacts of active school design on school-time sedentary behavior and physical activity : A pilot natural experiment. *PLoS ONE*, *12*(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189236>
- Broadbent, D. E. (1957). A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychological Review*, *64*(3), 205-215. <https://doi.org/10.1037/h0047313>
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of 'hot' and 'cool' executive function to children's academic achievement, learning-related behaviors, and engagement in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, *24*(3), 337-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2009.06.001>
- Brohm, J. M. (1992). *Sociologie politique du sport*. Presses universitaires de Nancy.

- Brooks, M. (2005). Drawing as a Unique Mental Development Tool for Young Children : Interpersonal and Intrapersonal Dialogues. *Contemporary Issues in Early Childhood*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.2304/ciec.2005.6.1.11>
- Bruin, J. P. C. de, Corner, M. A., Feenstra, M. G. P., Eden, C. G. V., & Uylings, H. B. M. (1991). *The Prefrontal Cortex : Its Structure, Function and Pathology*. Elsevier.
- Brunet-Guedj, E., & Brunet-Guedj, E. (2006). *ABC de médecine du sport*. Masson.
- Brustad, R. J. (1992). Integrating socialization influences into the study of children's motivation in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 14(1), 59-77. <https://doi.org/10.1123/jsep.14.1.59>
- Brydges, C. R., Fox, A. M., Reid, C. L., & Anderson, M. (2014). Predictive validity of the N2 and P3 ERP components to executive functioning in children : A latent-variable analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00080>
- Bub, D. N., Masson, M. E. J., & Lalonde, C. E. (2006). Cognitive control in children : Stroop interference and suppression of word reading. *Psychological Science*, 17(4), 351-357. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01710.x>
- Buck, S. M., Hillman, C. H., & Castelli, D. M. (2008). The Relation of aerobic fitness to Stroop task performance in preadolescent children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 166-172. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318159b035>
- Bulut Çakmak, B., Özkula, G., Işıklı, S., Özkan Göncüoğlu, İ., Öcal, S., Altınöz, A. E., & Taşkıntuna, N. (2018). Anxiety, depression, and anger in functional gastrointestinal disorders : A Cross-sectional observational study. *Psychiatry Research*, 268, 368-372. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.06.046>
- Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in executive function research. In P. Rabbitt (Éd.), *Methodology Of Frontal And Executive Function* (Psychology Press, p. 81-116). <https://doi.org/10.4324/9780203344187-8>
- Buschmann, C. (2014). *Einfluss von zusätzlichen Bewegungsprogrammen auf die motorische und kognitive Leistungsfähigkeit bei Grundschulkindern : Projekt „Klasse in Sport - Initiative für täglichen Schulsport“* [Sport, Universität Hamburg]. <https://www.sub.uni-hamburg.de/startseite.html>
- Butte, N. F., Watson, K. B., Ridley, K., Zakeri, I. F., McMurray, R. G., Pfeiffer, K. A., Crouter, S. E., Herrmann, S. D., Bassett, D. R., Long, A., Berhane, Z., Trost, S. G., Ainsworth, B. E., Berrigan, D., & Fulton, J. E. (2018). A youth compendium of physical activities : Activity codes and metabolic intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(2), 246-256. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001430>
- Cacioppo, J. T., & Patrick, W. (2008). *Loneliness human nature and the need for social connection*. W.W. Norton & Co. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/181139570.html>
- Cambon, L., Minary, L., Ridde, V., & Alla, F. (2012). Transferability of interventions in health education : A review. *BMC Public Health*, 12(1), 497. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-497>
- Camy, J. (1980). La gymnastique et les jeux dans la gestion des populations scolaires au XIXème siècle. *Travaux et recherches en E.P.S.*, 6, 94-111.
- Canton, M. (2017). *Fonctions exécutives chez les enfants atteints de phénylcétonurie*. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01992243>
- Cardoso, C. de O., Dias, N., Senger, J., Colling, A. P. C., Seabra, A. G., & Fonseca, R. P. (2018). Neuropsychological stimulation of executive functions in children with typical development : A systematic review. *Applied Neuropsychology: Child*, 7(1), 61-81. <https://doi.org/10.1080/21622965.2016.1241950>

- Carlén, M. (2017). What constitutes the prefrontal cortex? *Science*, 358(6362), 478-482. <https://doi.org/10.1126/science.aan8868>
- Carlsberg, M., Cazauviel, C., Faury, S., Loyal, D., Broc, G., & Atzeni, T. (2016). *Stats faciles avec R : Guide pratique*. De boeck supérieur.
- Carlson, J. A., Engelberg, J. K., Cain, K. L., Conway, T. L., Mignano, A. M., Bonilla, E. A., Geremia, C., & Sallis, J. F. (2015). Implementing classroom physical activity breaks : Associations with student physical activity and classroom behavior. *Preventive Medicine*, 81, 67-72. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.08.006>
- Carlson, S. M. (2003). Executive function in context : Development, measurement, theory, and experience. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 138-151. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5834.2003.06803012.x>
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 595-616. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_3
- Carlson, S. M., & Wang, T. S. (2007). Inhibitory control and emotion regulation in preschool children. *Cognitive Development*, 22(4), 489-510. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2007.08.002>
- Carpentier, F. (2018). L'éducation physique des jeunes filles de 1880 à nos jours. Euphémisation et éducation à la différence. In B. Bodinier, M. Gest, P. Pasteur, & M.-F. Lemmonier-Delpy (Éds.), *Genre & Éducation : Former, se former, être formée au féminin* (p. 187-202). Presses universitaires de Rouen et du Havre. <http://books.openedition.org/purh/1742>
- Carson, V., Hunter, S., Kuzik, N., Wiebe, S. A., Spence, J. C., Friedman, A., Tremblay, M. S., Slater, L., & Hinkley, T. (2016). Systematic review of physical activity and cognitive development in early childhood. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(7), 573-578. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.07.011>
- Caspersen, C. J., Nixon, P. A., & DuRant, R. H. (1998). Physical activity epidemiology applied to children and adolescents. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 26, 341-403.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness : Definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126-131.
- Center on the Developing Child. (2012). *Executive functions (InBrief)*. www.developingchild.harvard.edu
- Chacko, A., Bedard, A. C., Marks, D. J., Feirsen, N., Uderman, J. Z., Chimiklis, A., Rajwan, E., Cornwell, M., Anderson, L., Zwillig, A., & Ramon, M. (2014). A randomized clinical trial of Cogmed working memory training in school-age children with ADHD : A replication in a diverse sample using a control condition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55(3), 247-255. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12146>
- Chacko, A., Bedard, A.-C. V., Marks, D., Gopalan, G., Feirsen, N., Uderman, J., Chimiklis, A., Heber, E., Cornwell, M., Anderson, L., Zwillig, A., & Ramon, M. (2018). Sequenced neurocognitive and behavioral parent training for the treatment of ADHD in school-age children. *Child Neuropsychology*, 24(4), 427-450. <https://doi.org/10.1080/09297049.2017.1282450>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2010). Basal Ganglia Volume Is Associated with Aerobic Fitness in Preadolescent Children. *Developmental Neuroscience*, 32(3), 249-256. <https://doi.org/10.1159/000316648>

- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology*, *89*(1), 260-268. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.10.017>
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M., Knecht, A., Pontifex, M. B., Castelli, D., Hillman, C., & Kramer, A. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children : A randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00072>
- Channon, S., Pratt, P., & Robertson, M. M. (2003). Executive function, memory, and learning in Tourette's syndrome. *Neuropsychology*, *17*(2), 247-254. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.2.247>
- Charbonnier, V., Roy, A., Seegmuller, C., Gautier, A., & Gall, D. L. (2011). Étude d'un cas de syndrome dysexécutif à prédominance cognitive chez un enfant présentant une épilepsie frontale symptomatique. *Revue de neuropsychologie, Volume 3*(1), 11-22.
- Chaya, M. S., Nagendra, H., Selvam, S., Kurpad, A., & Srinivasan, K. (2012). Effect of yoga on cognitive abilities in schoolchildren from a socioeconomically disadvantaged background : A randomized controlled study. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *18*(12), 1161-1167. <https://doi.org/10.1089/acm.2011.0579>
- Chelune, G. J., & Thompson, L. L. (1987). Evaluation of the general sensitivity of the Wisconsin card sorting test among younger and older children. *Developmental Neuropsychology*, *3*(1), 81-89. <https://doi.org/10.1080/87565648709540365>
- Chen, A.-G., Yan, J., Yin, H.-C., Pan, C.-Y., & Chang, Y.-K. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychology of Sport and Exercise*, *15*(6), 627-636. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.06.004>
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *25*(5), 975-979. <https://doi.org/10.1121/1.1907229>
- Chieffo, D., Lettori, D., Contaldo, I., Perrino, F., Graziano, A., Palermo, C., Mittica, A., Tamburrini, G., Battaglia, D., Di Rocco, C., & Guzzetta, F. (2011). Surgery of children with frontal lobe lesional epilepsy : Neuropsychological study. *Brain and Development*, *33*(4), 310-315. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2010.06.006>
- Christensen, P., James, A., & James, A. (2017, janvier 12). *Introduction : Researching children and childhood: cultures of communication*. Research with Children. <https://doi.org/10.4324/9781315657349-6>
- 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>
- Claparède, E. (2003). *L'éducation fonctionnelle*. Fabert.
- Clemes, S. A., & Biddle, S. J. H. (2013). The use of pedometers for monitoring physical activity in children and adolescents : Measurement considerations. *Journal of Physical Activity and Health*, *10*(2), 249-262. <https://doi.org/10.1123/jpah.10.2.249>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science*, *1*(3), 98-101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>

- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2003). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed). L. Erlbaum Associates.
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity : Frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology*, *10*(3), e1001293. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Collins, L. M., Schafer, J. L., & Kam, C. M. (2001). A comparison of inclusive and restrictive strategies in modern missing data procedures. *Psychological Methods*, *6*(4), 330-351.
- Cook, R. D., & Weisberg, S. (1982). *Residuals and Influence in Regression*. New York: Chapman and Hall. <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/37076>
- Cooper Institute. (1982). *FitnessGram*. <http://www.cooperinstitute.org/fitnessgram>
- Cooper, S. J. (2005). Donald O. Hebb's synapse and learning rule : A history and commentary. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *28*(8), 851-874. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2004.09.009>
- Corsi, P. M. (1973). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. ProQuest Information & Learning.
- Costa, S., Bianco, A., Polizzi, V., & Alesi, M. (2020). Happiness in physical activity : A longitudinal examination of children motivation and negative affect in physical activity. *Journal of Happiness Studies*. <https://doi.org/10.1007/s10902-020-00289-7>
- Coudronnière, C., Bacro, F., Guimard, P., & Florin, A. (2015). Quelle conception de la qualité de vie et du bien-être chez des enfants de 5 à 11 ans ? *Enfance*, *2015*(02), 225-243. <https://doi.org/10.4074/S0013754515002049>
- Cousson-Gélie, F., Carayol, M., Fregeac, B., Mora, L., Jeanleboeuf, F., Coste, O., Pereira, B., & Gourlan, M. (2019). The "great live and move challenge" : A program to promote physical activity among children aged 7–11 years. Design and implementation of a cluster-randomized controlled trial. *BMC Public Health*, *19*(1), 367. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6648-x>
- Craggs, C., Corder, K., van Sluijs, E. M. F., & Griffin, S. J. (2011). Determinants of change in physical activity in children and adolescents. *American Journal of Preventive Medicine*, *40*(6), 645-658. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.02.025>
- Crocker, P. R. E., Bailey, D. A., Faulkner, R. A., Kowalski, K. C., & McGrath, R. (1997). Measuring general levels of physical activity : Preliminary evidence for the physical activity questionnaire for older children: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *29*(10), 1344-1349. <https://doi.org/10.1097/00005768-199710000-00011>
- Croft, A., Schmader, T., Block, K., & Baron, A. S. (2014). The second shift reflected in the second generation : Do parents' gender roles at home predict children's aspirations? *Psychological Science*, *25*(7), 1418-1428. <https://doi.org/10.1177/0956797614533968>
- Crowne, D. P., & Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of Consulting Psychology*, *24*(4), 349-354. <https://doi.org/10.1037/h0047358>
- Cuevas, K., & Bell, M. A. (2010). Developmental progression of looking and reaching performance on the A-not-B task. *Developmental Psychology*, *46*(5), 1363-1371. <https://doi.org/10.1037/a0020185>
- Cuevas, K., Calkins, S. D., & Bell, M. A. (2016). To Stroop or not to Stroop : Sex-related differences in brain-behavior associations during early childhood. *Psychophysiology*, *53*(1), 30-40. <https://doi.org/10.1111/psyp.12464>

- Cvencek, D., Meltzoff, A. N., & Greenwald, A. G. (2011). Math-gender stereotypes in elementary school children : Gender stereotypes. *Child Development*, 82(3), 766-779. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01529.x>
- Dalleck, L., & Dalleck, A. (2008). The ACSM exercise intensity guidelines for cardiorespiratory fitness : Why the misuse? *Journal of Exercise Physiology Online*, 11(4), 1-11.
- Damasio, A. R. (2010). *L'erreur de Descartes : La raison des émotions*. O. Jacob.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M., & Damasio, A. (1994). The return of Phineas Gage : The skull of a famous patient yields clues about the brain. *Science*, 264.
- 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>
- Davis, A. S. (Éd.). (2011). *The handbook of pediatric neuropsychology*. Springer.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P. H., Naglieri, J. A., & Gregoski, M. (2007). Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning. *Research quarterly for exercise and sport*, 78(5), 510-519.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., Allison, J. D., & Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children : A randomized, controlled trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98. <https://doi.org/10.1037/a0021766>
- Day, A. M., Kahler, C. W., Ahern, D. C., & Clark, U. S. (2015). Executive functioning in alcohol use studies : A brief review of findings and challenges in assessment. *Current drug abuse reviews*, 8(1), 26-40.
- De Agostini M, Kremlin H, Curt F, & Dellatolas G. (1996). Immediate memory in children aged 3 to 8. Digits, familiar words, unfamiliar words, pictures and Corsi. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 36, 4-10.
- de Greeff, J. W., Hartman, E., Mullender-Wijnsma, M. J., Bosker, R. J., Doolaard, S., & Visscher, C. (2016). Long-term effects of physically active academic lessons on physical fitness and executive functions in primary school children. *Health Education Research*, 31(2), 185-194. <https://doi.org/10.1093/her/cyv102>
- de Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children : A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(5), 501-507. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595>
- de Oliveira Silva, F., Ferreira, J. V., Plácido, J., Sant'Anna, P., Araújo, J., Marinho, V., Laks, J., & Camaz Deslandes, A. (2019). Three months of multimodal training contributes to mobility and executive function in elderly individuals with mild cognitive impairment, but not in those with Alzheimer's disease : A randomized controlled trial. *Maturitas*, 126, 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2019.04.217>
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). Self-determination theory : A macrotheory of human motivation, development, and health. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 49(3), 182-185. <https://doi.org/10.1037/a0012801>
- Deflandre, A., Lorant, J., Gavarry, O., & Falgairette, G. (2001). Determinants of physical activity and physical and sports activities in French school children. *Perceptual and Motor Skills*, 92(2), 399-414. <https://doi.org/10.2466/pms.2001.92.2.399>

- Delmaire, C., Leclercq, D., Faivre-Perret, M., & Lehéricy, S. (2007). La tractographie : Approche pratique et applications cliniques. *Journal de Radiologie*, 88(10), 1408-1409. [https://doi.org/10.1016/S0221-0363\(07\)81209-1](https://doi.org/10.1016/S0221-0363(07)81209-1)
- Demetriou, A., & Spanoudis, G. (2015). On the structure and development of executive functions in middle and late childhood : Remodeling and Commentary on Brydges, Fox, Reid, and Anderson. *Intelligence*, 50, 131-134. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.03.008>
- Dencker, M., Thorsson, O., Karlsson, M. K., Lindén, C., Wollmer, P., & Andersen, L. B. (2008). Daily physical activity related to aerobic fitness and body fat in an urban sample of children : Physical activity vs fitness and body fat. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(6), 728-735. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00741.x>
- Descartes, R., Beyssade, J.-M., & Beyssade, M. (2011). *Méditations métaphysiques : Objections et réponses suivies de quatre lettres*.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00117>
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. In E. Bialystok & F. I. M. Craik, *Lifespan Cognition : Mechanisms of Change* (p. 70-95). Oxford University Press.
- Diamond, A. (2009). *Contrôle cognitif et autorégulation chez les jeunes enfants : Comment les améliorer et pourquoi ?* [Conférence pour le Réseau Stratégique de Connaissance sur le Développement des Jeunes Enfants]. http://www.rsc-dje.ca/documents/pdf/PresentationsPPT/Diamond_2009-11FR.pdf
- Diamond, A. (2011). Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex. *Progress in brain research*, 189, 319-339. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53884-0.00032-4>
- Diamond, A. (2012). Activities and programs that improve children's executive functions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 335-341. <https://doi.org/10.1177/0963721412453722>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2014). Want to optimize executive functions and academic outcomes? *Minnesota Symposia on Child Psychology*, 37, 205-232.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science (New York, N.Y.)*, 318(5855), 1387-1388. <https://doi.org/10.1126/science.1151148>
- Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool children's performance in task switching on the dimensional change card sort task : Separating the dimensions aids the ability to switch. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 689-729. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2802_7
- Diamond, A., & Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology*, 22(3), 271-294. <https://doi.org/10.1002/dev.420220307>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4-12 years old. *Science (New York, N.Y.)*, 333(6045), 959-964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>

- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience, 18*, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2019). Aerobic-exercise and resistance-training interventions have been among the least effective ways to improve executive functions of any method tried thus far. *Developmental Cognitive Neuroscience, 37*, 100572. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.05.001>
- Diedrich, F. J., Highlands, T. M., Spahr, K. A., Thelen, E., & Smith, L. B. (2001). The Role of target distinctiveness in infant perseverative reaching. *Journal of Experimental Child Psychology, 78*(3), 263-290. <https://doi.org/10.1006/jecp.2000.2569>
- Diedrich, F. J., Thelen, E., Smith, L. B., & Corbetta, D. (2000). Motor memory is a factor in infant perseverative errors. *Developmental Science, 3*(4), 479-494. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00140>
- Ding, D., Sallis, J. F., Kerr, J., Lee, S., & Rosenberg, D. E. (2011). Neighborhood environment and physical activity among youth. *American Journal of Preventive Medicine, 41*(4), 442-455. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.06.036>
- Dinkel, D. M., Lee, J.-M., & Schaffer, C. (2016). Examining the knowledge and capacity of elementary teachers to implement classroom physical activity breaks. *International Electronic Journal of Elementary Education, 9*(1), 182-196.
- Dinkel, D., Schaffer, C., Snyder, K., & Lee, J. M. (2017). They just need to move : Teachers' perception of classroom physical activity breaks. *Teaching and Teacher Education, 63*, 186-195. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2016.12.020>
- Dishman, R. K., & Gettman, L. R. (1980). Psychobiologic influences on exercise adherence. *Journal of Sport Psychology, 2*(4), 295-310.
- Dishman, R. K., Heath, G., & Lee, I.-M. (2013). *Physical activity epidemiology* (2nd ed). Human Kinetics.
- Dolan, R. J. (2007). The human amygdala and orbital prefrontal cortex in behavioural regulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362*(1481), 787-799. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2088>
- Donnelly, J. E., Greene, J. L., Gibson, C. A., Smith, B. K., Washburn, R. A., Sullivan, D. K., DuBose, K., Mayo, M. S., Schmelzle, K. H., Ryan, J. J., Jacobsen, D. J., & Williams, S. L. (2009). Physical Activity Across the Curriculum (PAAC) : A randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Preventive medicine, 49*(4), 336-341. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.07.022>
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children : A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 48*(6), 1197-1222. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>
- Donnelly, J. E., & Lambourne, K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine, 52 Suppl 1*, S36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.021>
- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review, 70*, 35-36.
- Droit-Volet, S., & Coull, J. (2015). The developmental emergence of the mental time-line : Spatial and numerical distortion of time judgement. *PLOS ONE, 10*(7), e0130465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130465>

- Ducassou, S., Genelini, F., Rochard, C., & Pérel, Y. (2016). L'activité physique en oncologie pédiatrique en pratique : Comment se sportent les enfants ? *Oncologie*, *18*(11-12), 573-578. <https://doi.org/10.1007/s10269-016-2669-6>
- Dumas, J. A. (2015). What is normal cognitive aging? Evidence from task-based functional neuroimaging. *Current Behavioral Neuroscience Reports*, *2*(4), 256-261. <https://doi.org/10.1007/s40473-015-0058-x>
- Dwyer, J. J. M., Hansen, B., Allison, K. R., Goldenberg, E., Barrera, M., Hansen, B., & Boutilier, M. A. (2003). Teachers' perspective on barriers to implementing physical activity curriculum guidelines for school children in Toronto. *Canadian Journal of Public Health*, *94*(6), 448-452. <https://doi.org/10.1007/BF03405083>
- Éduscol. (s. d.). *Éducation physique et sportive*. Consulté 8 février 2019, à l'adresse <http://eduscol.education.fr/pid34151/education-physique-et-sportive.html>
- Egger, F., Benzing, V., Conzelmann, A., & Schmidt, M. (2019). Boost your brain, while having a break ! The effects of long-term cognitively engaging physical activity breaks on children's executive functions and academic achievement. *PLOS ONE*, *14*(3), e0212482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212482>
- Egger, F., Conzelmann, A., & Schmidt, M. (2018). The effect of acute cognitively engaging physical activity breaks on children's executive functions : Too much of a good thing? *Psychology of Sport and Exercise*, *36*, 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.02.014>
- Eime, R. M., Young, J. A., Harvey, J. T., Charity, M. J., & Payne, W. R. (2013). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents : Informing development of a conceptual model of health through sport. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *10*(1), 98. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-98>
- Einarsdottir, J., Dockett, S., & Perry, B. (2009). Making meaning : Children's perspectives expressed through drawings. *Early Child Development and Care*, *179*(2), 217-232. <https://doi.org/10.1080/03004430802666999>
- Eisenmann, J. C., & Wickel, E. E. (2009). The biological basis of physical activity in children : Revisited. *Pediatric Exercise Science*, *21*(3), 257-272.
- Epicurus, Salem, J., Hamelin, O., & Conche, M. (2009). *Lettres*. Nathan.
- Équipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen). (2017). *Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban) 2014-2016 : Volet nutrition. Chapitre Activité physique et sédentarité*. Santé Public France. <http://invs.santepubliquefrance.fr/fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Environnement-et-sante/2017/Etude-de-sante-sur-l-environnement-la-biosurveillance-l-activite-physique-et-la-nutrition-Esteban-2014-2016-Chapitre-Activite-physique-et-sedentarite>
- Er-Rafiqi, M., Roukoz, C., Gall, D. L., & Roy, A. (2017). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Revue de neuropsychologie*, *Volume 9*(1), 27-34.
- Eslinger, P. J., Biddle, K., Pennington, B., & Page, R. B. (1999). Cognitive and behavioral development up to 4 years after early right frontal lobe lesion. *Developmental Neuropsychology*, *15*(2), 157-191. <https://doi.org/10.1080/87565649909540744>

- Fairclough, S. J., Beighle, A., Erwin, H., & Ridgers, N. D. (2012). School day segmented physical activity patterns of high and low active children. *BMC Public Health*, *12*(1), 406. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-406>
- Fassier, J.-B., & Durand, M.-J. (2010). L'analyse d'implantation des interventions en santé et sécurité au travail. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, *71*(2), 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2010.02.022>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3 : A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175-191.
- Ferguson, B. (2014). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, *58*(3), 328.
- Ferguson, H. B., Bovaird, S., & Mueller, M. P. (2007). The impact of poverty on educational outcomes for children. *Paediatrics & Child Health*, *12*(8), 701-706. <https://doi.org/10.1093/pch/12.8.701>
- Ferrière, S., Bacro, F., Florin, A., & Guimard, P. (2016). Le bien-être en contexte scolaire : Intérêt d'une approche par triangulation méthodologique. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale, Numéro 111*(3), 341-365.
- Foran, C. A., Mannion, C., & Rutherford, G. (2017). Focusing elementary students with active classrooms : Exploring teachers perceptions of self-initiated practices. *International Electronic Journal of Elementary Education*, *10*(1), 61-69. <https://doi.org/10.26822/iejee.2017131887>
- Foster, C. (1983). VO2 max and training indices as determinants of competitive running performance. *Journal of Sports Sciences*, *1*(1), 13-22. <https://doi.org/10.1080/02640418308729657>
- Fournier, M., & Albaret, J.-M. (2013). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Développements*, *16-17*(3), 76. <https://doi.org/10.3917/devel.016.0076>
- Fraisse, P. (1957). *Psychologie du temps*. Presses Universitaires de France.
- Franzosi, R. (1994). Outside and inside the regression ? Black box? From exploratory to interior data analysis. *Quality & Quantity*, *28*(1), 21-53. <https://doi.org/10.1007/BF01098725>
- Fredricks, J. A., & Eccles, J. S. (2005). Family socialization, gender, and sport motivation and involvement. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *27*(1), 3-31. <https://doi.org/10.1123/jsep.27.1.3>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions : Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, *86*, 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Hosp, M. K., & Jenkins, J. R. (2001). Oral reading fluency as an indicator of reading competence : A theoretical, empirical, and historical analysis. *Scientific Studies of Reading*, *5*(3), 239-256. https://doi.org/10.1207/S1532799XSSR0503_3
- Fuhs, M. W., Nesbitt, K. T., Farran, D. C., & Dong, N. (2014). Longitudinal associations between executive functioning and academic skills across content areas. *Developmental Psychology*, *50*(6), 1698-1709. <https://doi.org/10.1037/a0036633>
- Fuster, J. M. (2009). *The prefrontal cortex* (4. ed., reprint). Elsevier, Acad. Press.
- Gall, F. J., Ackerman, J. F., & Maradan, F. (1807). *Cranologie ou Découvertes nouvelles du docteur F.J. Gall, concernant le cerveau, le crâne, et les organes. : Ouvrage traduit de l'allemand* (Bloëde & G.-H. Nicolle, Éd.).
- Gallien, A. (2008). *Encéphales de vertébrés—Banque de Schémas—SVT - Académie de Dijon*. <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article1656>

- Galvez, M. P., McGovern, K., Knuff, C., Resnick, S., Brenner, B., Teitelbaum, S. L., & Wolff, M. S. (2013). Associations Between Neighborhood Resources and Physical Activity in inner-city minority children. *Academic Pediatrics, 13*(1), 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.acap.2012.09.001>
- Gana, K., & Broc, G. (2018). *Introduction à la modélisation par équations structurales*.
- Gardner, R. A. (1981). Digits forward and digits backward as two separate tests : Normative data on 1567 school children. *Journal of Clinical Child Psychology, 10*(2), 131-135. <https://doi.org/10.1080/15374418109533032>
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers : A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin, 134*(1), 31-60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Geertsen, S. S., Thomas, R., Larsen, M. N., Dahn, I. M., Andersen, J. N., Krause-Jensen, M., Korup, V., Nielsen, C. M., Wienecke, J., Ritz, C., Krstrup, P., & Lundbye-Jensen, J. (2016). Motor skills and exercise capacity are associated with objective measures of cognitive functions and academic performance in preadolescent children. *PLOS ONE, 11*(8), e0161960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161960>
- Gentaz, E. (2017). Co-construction de recherches en sciences cognitives interventionnelles : Un outil pour développer la formation initiale et continue des enseignant-e-s. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 29*(146).
- Geslot, J.-C. (2009). *Victor Duruy : Historien et ministre (1811-1894)*. Presses Univ. Septentrion.
- Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Chastin, S., & Fias, W. (2018). Physical activity to improve cognition in older adults : Can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 15*(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0697-x>
- Ghotra, S., McIsaac, J.-L. D., Kirk, S. F. L., & Kuhle, S. (2016). Validation of the "Quality of Life in School" instrument in Canadian elementary school students. *PeerJ, 4*. <https://doi.org/10.7717/peerj.1567>
- Giancola, P. R., & Tarter, R. E. (1999). Executive cognitive functioning and risk for substance abuse. *Psychological Science, 10*(3), 203-205. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00135>
- Godeau, E., Navarro, F., & Arnaud, C. (2012). *La santé des collégiens en France- 2010*. INPES.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitif. *Revue Neurologique, 164*, S119-S127. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73302-2](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73302-2)
- Goto, Y., & Grace, A. A. (2008). Limbic and cortical information processing in the nucleus accumbens. *Trends in Neurosciences, 31*(11), 552-558. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.08.002>
- Götte, M., Taraks, S., & Boos, J. (2014). Sports in pediatric oncology : The role(s) of physical activity for children with cancer. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology, 36*(2), 85-90. <https://doi.org/10.1097/MPH.0000000000000101>
- Gourlan, M., Boiché, J., Takito, M., Fregeac, B., & Cousson-Gélie, F. (2018). Predicting physical activity among children : Investigating interaction effects in the theory of planned behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 89*(4), 490-497. <https://doi.org/10.1080/02701367.2018.1517236>

- Gourlan, M., Mora, L., Roux, L., Jeanleboeuf, F., & Cousson-Gélie, F. (2015, octobre 22). «*The great live and move challenge*» and the promotion of physical activity toward children and their parents : Results from a controlled trial. EUSPR 6th Annual Conference and Members' Meeting, Ljubljana, Slovénie. <http://www.prppc-anteia-epidaure-hygee.com/the-great-live-and-move-challenge-and-the-promotion-of-physical-activity-toward-children-and-their-parents-results-from-a-controlled-trial..html>
- Grant, D. A., & Berg, E. A. (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.
- Grant, D. A., Jones, O. R., & Tallantis, B. (1949). The relative difficulty of the number, form, and color concepts of a Weigl-type problem. *Journal of Experimental Psychology*, 39(4), 552-557. <https://doi.org/10.1037/h0062126>
- GREFEX (groupe de réflexion sur l'évaluation des fonctions exécutives). (2001). L'évaluation des fonctions exécutives en pratique clinique. *Revue de neuropsychologie*, 11, 383-434.
- Greve, K. W. (2001). The WCST-64 : A Standardized Short-Form of the Wisconsin Card Sorting Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 15(2), 228-234. <https://doi.org/10.1076/clin.15.2.228.1901>
- Grissmer, D., Grimm, K. J., Aiyer, S. M., Murrah, W. M., & Steele, J. S. (2010). Fine motor skills and early comprehension of the world : Two new school readiness indicators. *Developmental Psychology*, 46(5), 1008-1017. <https://doi.org/10.1037/a0020104>
- Groot, C., Hooghiemstra, A. M., Raijmakers, P. G. H. M., van Berckel, B. N. M., Scheltens, P., Scherder, E. J. A., van der Flier, W. M., & Ossenkuppele, R. (2016). The effect of physical activity on cognitive function in patients with dementia : A meta-analysis of randomized control trials. *Ageing Research Reviews*, 25, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.11.005>
- Grossman, M. (1972). On the concept of health capital and the demand for health. *Journal of Political Economy*, 80(2), 223-255. <https://doi.org/10.1086/259880>
- Guerri, C., Bazinet, A., & Riley, E. P. (2009). Foetal alcohol spectrum disorders and alterations in brain and behaviour. *Alcohol and Alcoholism*, 44(2), 108-114. <https://doi.org/10.1093/alcalc/agn105>
- Guinhouya, B. C. (2013). *L'activité physique au cours du développement de l'enfant* (Médecine Sciences Publications). Lavoisier. <https://www.lavoisier.fr/livre/medecine/l-activite-physique-au-cours-du-developpement-de-l-enfant/guinhouya/descriptif-9782257205339>
- Hackman, D. A., & Farah, M. J. (2009). Socioeconomic status and the developing brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.003>
- Hackman, D. A., Gallop, R., Evans, G. W., & Farah, M. J. (2015). Socioeconomic status and executive function : Developmental trajectories and mediation. *Developmental Science*, 18(5), 686-702. <https://doi.org/10.1111/desc.12246>
- Hagger, M. S., Chatzisarantis, N., Biddle, S. J. H., & Orbell, S. (2001). Antecedents of children's physical activity intentions and behaviour : Predictive validity and longitudinal effects. *Psychology & Health*, 16(4), 391-407. <https://doi.org/10.1080/08870440108405515>
- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. D. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control : A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 136(4), 495-525. <https://doi.org/10.1037/a0019486>
- Hall, P. A., Crossley, M., & D'Arcy, C. (2010). Executive function and survival in the context of chronic illness. *Annals of Behavioral Medicine*, 39(2), 119-127. <https://doi.org/10.1007/s12160-010-9162-z>

- Hall, P. A., Dubin, J. A., Crossley, M., Holmqvist, M. E., & D'Arcy, C. (2009). Does executive function explain the IQ-mortality association? Evidence from the Canadian study on health and aging. *Psychosomatic Medicine, 71*(2), 196-204. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e318190d7f0>
- Hall, P. A., & Marteau, T. M. (2014). Executive function in the context of chronic disease prevention : Theory, research and practice. *Preventive Medicine, 68*, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.07.008>
- Hankins, M. (2008). How discriminating are discriminative instruments? *Health and Quality of Life Outcomes, 6*(1), 36. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-6-36>
- Harada, C. N., Natelson Love, M. C., & Triebel, K. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in geriatric medicine, 29*(4), 737-752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>
- Hariton, E., & Locascio, J. J. (2018). Randomised controlled trials—The gold standard for effectiveness research. *BJOG : an international journal of obstetrics and gynaecology, 125*(13), 1716. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.15199>
- Harlow, J. M. (1993). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *History of Psychiatry, 4*(14), 274-281. <https://doi.org/10.1177/0957154X9300401407>
- Hartmann, T., Zahner, L., Pühse, U., Puder, J. J., & Kriemler, S. (2010). Effects of a school-based physical activity program on physical and psychosocial quality of life in elementary school children : A cluster-randomized trial. *Pediatric Exercise Science, 22*(4), 511-522. <https://doi.org/10.1123/pes.22.4.511>
- Heaton, R. K., Talley, C. J., Kay, G. G., & Curtiss, G. (2007). *WCST: Test des cartes du Wisconsin [Instrument de mesure]*. Hogrefe. <https://www.hogrefe.fr/produit/raisonnement-wcst-test-de-classement-de-cartes-du-wisconsin/#resume>
- Hegartys, S. (1994). Quality of life in school. In D. Goode (Éd.), *Quality of life for persons with disabilities : International perspectives and issues* (p. 241-249). MA : Brooklyn.
- Henry, L. A., Messer, D. J., & Nash, G. (2012). Executive functioning in children with specific language impairment : Executive functioning and SLI. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 53*(1), 37-45. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02430.x>
- Hensch, T. K. (2005). Critical period plasticity in local cortical circuits. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(11), 877-888. <https://doi.org/10.1038/nrn1787>
- Hill, E. L. (2004). Executive dysfunction in autism☆. *Trends in Cognitive Sciences, 8*(1), 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.11.003>
- Hill, L. J. B., Williams, J. H. G., Aucott, L., Thomson, J., & Mon-Williams, M. (2011). How does exercise benefit performance on cognitive tests in primary-school pupils? *Developmental Medicine & Child Neurology, 53*(7), 630-635. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03954.x>
- Hill, L., Williams, J. H. G., Aucott, L., Milne, J., Thomson, J., Greig, J., Munro, V., & Mon-Williams, M. (2010). Exercising attention within the classroom : Exercising Attention within the Classroom. *Developmental Medicine & Child Neurology, 52*(10), 929-934. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03661.x>
- Hill, L., Williams, J. H. G., Aucott, L., Milne, J., Thomson, J., Greig, J., Munro, V., & Mon-Williams, M. (2010). Exercising attention within the classroom. *Developmental Medicine & Child Neurology, 52*(10), 929-934. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03661.x>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., Moore, R. D., Wu, C.-T., & Kamijo, K. (2014). Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *PEDIATRICS, 134*(4), 1063-1071. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-3219>

- Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development : Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental Psychology, 45*(1), 114-129. <https://doi.org/10.1037/a0014437>
- Hillman, C. H., McAuley, E., Erickson, K. I., Liu-Ambrose, T., & Kramer, A. F. (2019). On mindful and mindless physical activity and executive function : A response to Diamond and Ling (2016). *Developmental Cognitive Neuroscience, 37*, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.01.006>
- Hills, A. P., Andersen, L. B., & Byrne, N. M. (2011). Physical activity and obesity in children. *British Journal of Sports Medicine, 45*(11), 866-870. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090199>
- Hitch, G. J., Halliday, S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory & Cognition, 16*(2), 120-132. <https://doi.org/10.3758/BF03213479>
- Hoaglin, D. C., & Iglewicz, B. (1987). Fine-tuning some resistant rules for outlier labeling. *Journal of the American Statistical Association, 82*(400), 1147-1149. <https://doi.org/10.1080/01621459.1987.10478551>
- Hodel, A. S. (2018). Rapid infant prefrontal cortex development and sensitivity to early environmental experience. *Developmental Review, 48*, 113-144. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2018.02.003>
- Houdé, O., & Borst, G. (2014). Measuring inhibitory control in children and adults : Brain imaging and mental chronometry. *Frontiers in Psychology, 5*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00616>
- Howie, E. K., Newman-Norlund, R. D., & Pate, R. R. (2014, septembre). *Smiles count but minutes matter : Responses to classroom exercise breaks* [Text]. <https://doi.org/info:doi/10.5993/AJHB.38.5.5>
- Howie, E. K., Schatz, J., & Pate, R. R. (2015). Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance : A dose–response study. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 86*(3), 217-224. <https://doi.org/10.1080/02701367.2015.1039892>
- Hsu, C. L., Best, J. R., Davis, J. C., Nagamatsu, L. S., Wang, S., Boyd, L. A., Hsiung, G. R., Voss, M. W., Eng, J. J., & Liu-Ambrose, T. (2018). Aerobic exercise promotes executive functions and impacts functional neural activity among older adults with vascular cognitive impairment. *British Journal of Sports Medicine, 52*(3), 184-191. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096846>
- Huang, C. H., Wang, T.-F., Tang, F.-I., Chen, I.-J., & Yu, S. (2017). Development and validation of a Quality of Life Scale for elementary school students. *International Journal of Clinical and Health Psychology, 17*(2), 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2017.01.001>
- Huebner, E. S. (1994). Preliminary development and validation of a multidimensional life satisfaction scale for children. *Psychological Assessment, 6*(2), 149-158. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.6.2.149>
- Huebner, E. S., & Gilman, R. (2004). Perceived quality of life : A neglected component of assessments and intervention plans for students in school settings. *The California School Psychologist, 9*(1), 127-134. <https://doi.org/10.1007/BF03340913>
- Hughes, C. (2011). Changes and challenges in 20 years of research into the development of executive functions. *Infant and Child Development, 20*(3), 251-271. <https://doi.org/10.1002/icd.736>
- Hughes, J. N., & Cao, Q. (2018). Trajectories of teacher-student warmth and conflict at the transition to middle school : Effects on academic engagement and achievement. *Journal of School Psychology, 67*, 148-162. <https://doi.org/10.1016/j.jsp.2017.10.003>

- 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>
- Hyman, S. L., Shores, A., & North, K. N. (2005). The nature and frequency of cognitive deficits in children with neurofibromatosis type 1. *Neurology*, *65*(7), 1037-1044. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000179303.72345.ce>
- Im-Bolter, N., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2006). Processing limitations in children With specific language impairment : The role of executive function. *Child Development*, *77*(6), 1822-1841. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00976.x>
- Ingram, D. K. (2000). Age-related decline in physical activity : Generalization to nonhumans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(9), 1623-1629.
- Iso-Markku, P., Waller, K., Vuoksima, E., Vähä-Ypyä, H., Lindgren, N., Heikkilä, K., Sievänen, H., Rinne, J., Kaprio, J., & Kujala, U. M. (2018). Objectively measured physical activity profile and cognition in Finnish elderly twins. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, *4*, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.trci.2018.06.007>
- Jacob, R., & Parkinson, J. (2015). The potential for school-based interventions that target executive function to improve academic achievement : A review. *Review of Educational Research*, *85*(4), 512-552. <https://doi.org/10.3102/0034654314561338>
- Janssen, I., & LeBlanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *7*. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-40>
- Janz, K. F., Lutuchy, E. M., Wenthe, P., & Levy, S. M. (2008). Measuring activity in children and adolescents using self-report : PAQ-C and PAQ-A. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *40*(4), 767-772. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181620ed1>
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1987). A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, *55*(2), 163. <https://doi.org/10.2307/1403192>
- Jouanne, E., & Green, I. (2015). *100% yoga des petits : Bien dans son corps, bien dans sa tête*. Bayard Jeunesse.
- Jourdan, D. (2018, décembre). L'école, acteur clé de la santé. *Les Grands Dossiers des Sciences Humaines*, *53*, 42-43.
- Kagan, J., Hans, S., Markowitz, A., Lopez, D., & Sigal, H. (1982). Validity of children's self-reports of psychological qualities. In B. A. Maher & W. B. Maher (Éds.), *Progress in Experimental Personality Research* (Vol. 11, p. 171-211). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-541411-1.50010-7>
- Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C.-T., Castelli, D. M., & Hillman, C. H. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children : Fitness and working memory in children. *Developmental Science*, *14*(5), 1046-1058. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01054.x>
- Kanske, P., & Kotz, S. A. (2011). Conflict processing is modulated by positive emotion : ERP data from a flanker task. *Behavioural Brain Research*, *219*(2), 382-386. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.01.043>
- Katz, D. L., Cushman, D., Reynolds, J., Njike, V., Treu, J. A., Katz, C., Walker, J., & Smith, E. (2010). Putting Physical Activity Where It Fits in the School Day : Preliminary Results of the ABC (Activity Bursts

- in the Classroom) for Fitness Program. *Preventing Chronic Disease*, 7(4).
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2901580/>
- Kenny, D. A. (2020, juin 5). *SEM Fit*. <http://davidakenny.net/cm/fit.htm>
- Kessels, R. P., van Zandvoort, M. J., Postma, A., Kappelle, L. J., & de Haan, E. H. (2000). The Corsi block-tapping task : Standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252-258.
https://doi.org/10.1207/S15324826AN0704_8
- Kikukawa, Y., Ishihara, T., Tomabechei, N., Tomita, Y., & Mizuno, M. (2018). The relationships of physical exercise to executive function and mental health in elderly individuals. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(5S), 208. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000535772.24811.66>
- Kindelberger, C., & Le Floc'h, N. (2007). Les activités extrascolaires, un facteur négligé de l'adaptation scolaire des enfants et des adolescents. In A. Florin, P. Vrignaud, & S. Branje (Éds.), *Réussir à l'école : Les effets des dimensions conatives en éducation : Personnalité, motivation, estime de soi, compétences sociales* (p. 165-182). Presses universitaires de Rennes.
- Kintzler, C. (2015). *Penser la laïcité*. Minerve.
- Kirova, A. (2006). A game-playing approach to interviewing children about loneliness : Negotiating meaning, distributing power, and establishing trust. *Alberta Journal of Educational Research*, 52(3), 127-147.
- Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling* (Fourth edition). The Guilford Press.
- Knapen, J., Vancampfort, D., Moriën, Y., & Marchal, Y. (2015). Exercise therapy improves both mental and physical health in patients with major depression. *Disability and Rehabilitation*, 37(16), 1490-1495. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.972579>
- Knowles, G., Pallan, M., Thomas, G. N., Ekelund, U., Cheng, K. K., Barrett, T., & Adab, P. (2013). Physical activity and blood pressure in primary school children : A longitudinal study. *Hypertension (Dallas, Tex.: 1979)*, 61(1), 70-75. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.112.201277>
- Kolb, B. (1999). Synaptic plasticity and the organization of behaviour after early and late brain injury. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 53(1), 62-76. <https://doi.org/10.1037/h0087300>
- Kongs, S. K., Thompson, L. L., Iverson, G. L., & Heaton, R. K. (2000). *Wisconsin card sorting test-64 cards version : WCST-64*. Psychological Assessment Ressources.
- Konijnenberg, C., & Fredriksen, P. M. (2018). The effects of a school-based physical activity intervention programme on children's executive control : The Health Oriented Pedagogical Project (HOPP). *Scandinavian Journal of Public Health*, 46(21_suppl), 82-91.
<https://doi.org/10.1177/1403494818767823>
- Korucu, I., Rolan, E., Napoli, A. R., Purpura, D. J., & Schmitt, S. A. (2019). Development of the Home Executive Function Environment (HEFE) Scale : Assessing its relation to preschoolers' executive function. *Early Childhood Research Quarterly*, 47, 9-19.
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.09.001>
- Koutsandréou, F., Wegner, M., Niemann, C., & Budde, H. (2016). Effects of motor versus cardiovascular exercise training on children's working memory. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(6), 1144-1152. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000869>
- Kovel, C. G. F. de, Carrión-Castillo, A., & Francks, C. (2019). A large-scale population study of early life factors influencing left-handedness. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-37423-8>

- Kremen, W. S., Eisen, S. A., Tsuang, M. T., & Lyons, M. J. (2007). Is the Wisconsin card sorting test a useful neurocognitive endophenotype? *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*, *144B*(4), 403-406. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.30527>
- Kvalø, S. E., Bru, E., Brønnick, K., & Dyrstad, S. M. (2017). Does increased physical activity in school affect children's executive function and aerobic fitness? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(12), 1833-1841. <https://doi.org/10.1111/sms.12856>
- Ladd, G. W., & Dinella, L. M. (2009). Continuity and change in early school engagement : Predictive of children's achievement trajectories from first to eighth grade? *Journal of Educational Psychology*, *101*(1), 190-206. <https://doi.org/10.1037/a0013153>
- Lambooy, B., & Cotton, N. (2018, novembre 7). *Démarche évaluation action (DEVA)*. <https://afeps.org/la-methode-deva-prevention-promotion-sante/>
- Lawrence, V., Houghton, S., Douglas, G., Durkin, K., Whiting, K., & Tannock, R. (2004). Executive function and ADHD : A comparison of children's performance during neuropsychological testing and real-world activities. *Journal of Attention Disorders*, *7*(3), 137-149. <https://doi.org/10.1177/108705470400700302>
- LeBlanc, C. (2007). *Proceedings of the Ninth International Congress of Egyptologists : Grenoble, 6 - 12 Septembre 2004 = Actes du Neuvième Congrès International des Égyptologues* (J.-C. Goyon & International Congress of Egyptologists, Éds.). Peeters [u.a.].
- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. H. (2013). Developmental Changes in Executive Functioning. *Child Development*, *84*(6), 1933-1953. <https://doi.org/10.1111/cdev.12096>
- 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>
- Lellouch, A. (1992). *Jean Martin Charcot et les origines de la gériatrie : Recherches historiques sur le fonds d'archives de la Salpêtrière*. Payot.
- Lensing, N., & Elsner, B. (2018). Development of hot and cool executive functions in middle childhood : Three-year growth curves of decision making and working memory updating. *Journal of Experimental Child Psychology*, *173*, 187-204. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.04.002>
- Levin, H. S., & Hanten, G. (2005). Executive Functions After Traumatic Brain Injury in Children. *Pediatric Neurology*, *33*(2), 79-93. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2005.02.002>
- Lioret, S., Maire, B., Volatier, J.-L., & Charles, M.-A. (2007). Child overweight in France and its relationship with physical activity, sedentary behaviour and socioeconomic status. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61*(4), 509-516. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602538>
- Lisahunter, Abbott, R., Macdonald, D., Ziviani, J., & Cuskelly, M. (2014). Active kids active minds : A physical activity intervention to promote learning? *Asia-Pacific Journal of Health, Sport and Physical Education*, *5*(2), 117-131. <https://doi.org/10.1080/18377122.2014.906057>
- Little, D. M., Kraus, M. F., Joseph, J., Geary, E. K., Susmaras, T., Zhou, X. J., Pliskin, N., & Gorelick, P. B. (2010). Thalamic integrity underlies executive dysfunction in traumatic brain injury. *Neurology*, *74*(7), 558-564. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181c5d5d5>
- Lohndorf, R. T., Vermeer, H. J., Cárcamo, R. A., De la Harpe, C., & Mesman, J. (2019). Preschoolers' problem behavior, prosocial behavior, and language ability in a Latin-American context : The roles of child executive functions and socialization environments. *Early Childhood Research Quarterly*, *48*, 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2019.02.005>
- Lubans, D. R., Plotnikoff, R. C., Miller, A., Scott, J. J., Thompson, D., & Tudor-Locke, C. (2015). Using pedometers for measuring and increasing physical activity in children and adolescents : The

- next step. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 9(6), 418-427. <https://doi.org/10.1177/1559827614537774>
- Lubans, D., Richards, J., Hillman, C., Faulkner, G., Beauchamp, M., Nilsson, M., Kelly, P., Smith, J., Raine, L., & Biddle, S. (2016). Physical activity for cognitive and mental health in youth : A systematic review of mechanisms. *Pediatrics*, 138(3), e20161642. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-1642>
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x>
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., & Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups : A meta-analysis: Moderate exercise and executive function. *Psychophysiology*, 53(11), 1611-1626. <https://doi.org/10.1111/psyp.12736>
- Ludyga, S., Koutsandréou, F., Reuter, E.-M., Voelcker-Rehage, C., & Budde, H. (2019). A randomized controlled trial on the effects of aerobic and coordinative training on neural correlates of inhibitory control in children. *Journal of Clinical Medicine*, 8(2), 184. <https://doi.org/10.3390/jcm8020184>
- Lundqvist-Persson, C. (2007). Correlation between level of self-regulation in the newborn infant and developmental status at two years of age. *Acta Paediatrica*, 90(3), 345-350. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2001.tb00316.x>
- Lunt, L., Bramham, J., Morris, R. G., Bullock, P. R., Selway, R. P., Xenitidis, K., & David, A. S. (2012). Prefrontal cortex dysfunction and 'Jumping to Conclusions' : Bias or deficit?: Prefrontal cortex dysfunction and Jumping to Conclusions. *Journal of Neuropsychology*, 6(1), 65-78. <https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2011.02005.x>
- Luquet, G. H. (1927). *Le dessin enfantin. (Bibliothèque de psychologie de l'enfant et de pédagogie.) [Children's drawing.]*. Alcan.
- Luria, A. R. (1997). *The working brain : An introduction to neuropsychology* (Nachdr.). Basic Books.
- Luria, A.R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Basic Books.
- Ma, J. K., Le Mare, L., & Gurd, B. J. (2014). Classroom-based high-intensity interval activity improves off-task behaviour in primary school students. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 39(12), 1332-1337. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0125>
- MacAllister, W. S., Maiman, M., Marsh, M., Whitman, L., Vasserman, M., Cohen, R. J., & Salinas, C. M. (2018). Sensitivity of the Wisconsin Card Sorting Test (64-Card Version) versus the Tower of London (Drexel Version) for detecting executive dysfunction in children with epilepsy. *Child Neuropsychology*, 24(3), 354-369. <https://doi.org/10.1080/09297049.2016.1265101>
- Mackes, N. K., Golm, D., Sarkar, S., Kumsta, R., Rutter, M., Fairchild, G., Mehta, M. A., Sonuga-Barke, E. J. S., & on behalf of the ERA Young Adult Follow-up team. (2020). Early childhood deprivation is associated with alterations in adult brain structure despite subsequent environmental enrichment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(1), 641-649. <https://doi.org/10.1073/pnas.1911264116>
- Maes, M., Stevens, W. J., Declerck, L. S., Bridts, C. H., Peters, D., Schotte, C., & Cosyns, P. (1993). Significantly increased expression of T-cell activation markers (interleukin-2 and HLA-DR) in depression : Further evidence for an inflammatory process during that illness. *Progress in Neuro-*

- Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 17(2), 241-255. [https://doi.org/10.1016/0278-5846\(93\)90045-T](https://doi.org/10.1016/0278-5846(93)90045-T)
- Mahar, M. T., Murphy, S. K., Rowe, D. A., Golden, J., Shields, A. T., & Raedeke, T. D. (2006). Effects of a Classroom-Based Program on Physical Activity and On-Task Behavior: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(12), 2086-2094. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000235359.16685.a3>
- Mahar, M. T., Welk, G. J., & Rowe, D. A. (2018). Estimation of aerobic fitness from PACER performance with and without body mass index. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 22(3), 239-249. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2018.1427590>
- Malin, A., & Linnakylä, P. (2001). Multilevel modelling in repeated measures of the quality of Finnish school life. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 45(2), 145-166. <https://doi.org/10.1080/00313830120052732>
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity* (2nd ed). Human Kinetics.
- Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2005). Sequence and space : The critical role of a backward spatial span in the working memory deficit of visuospatial learning disabled children. *Cognitive Neuropsychology*, 22(8), 1055-1068. <https://doi.org/10.1080/02643290442000509>
- Markham, J. A., & Greenough, W. T. (2004). Experience-driven brain plasticity : Beyond the synapse. *Neuron Glia Biology*, 1(4), 351-363. <https://doi.org/10.1017/S1740925X05000219>
- Marrou, H. I. (1981). *Histoire de l'éducation dans l'Antiquité* ([Nachdr. der Ausg.] Paris 1948). Éd. du Seuil.
- Marshall, A. (2013). *Être un enfant en Égypte ancienne*. Éditions du Rocher.
- Marshall, S. J., Gorely, T., & Biddle, S. J. H. (2006). A descriptive epidemiology of screen-based media use in youth : A review and critique. *Journal of Adolescence*, 29(3), 333-349. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2005.08.016>
- Martin, M. W., Martin, S., & Rosengard, P. (2010). PE2GO : Program evaluation of a physical activity program in elementary schools. *Journal of Physical Activity & Health*, 7(5), 677-684. <https://doi.org/10.1123/jpah.7.5.677>
- Marulis, L. M., Baker, S. T., & Whitebread, D. (2020). Integrating metacognition and executive function to enhance young children's perception of and agency in their learning. *Early Childhood Research Quarterly*, 50, 46-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.12.017>
- Masten, A. S., Herbers, J. E., Desjardins, C. D., Cutuli, J. J., McCormick, C. M., Sapienza, J. K., Long, J. D., & Zelazo, P. D. (2012). Executive function skills and school success in young children experiencing homelessness. *Educational Researcher*, 41(9), 375-384. <https://doi.org/10.3102/0013189X12459883>
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, 43(4), 947-959. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.4.947>
- McCrorie, P. R. W., Perez, A., & Ellaway, A. (2017). The validity of the Youth Physical Activity Questionnaire in 12–13-year-old Scottish adolescents. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2(1), e000163. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000163>
- McKeon, T. (1979). *The role of medicine : Dream, mirage or nemesis ?* Princeton University Press.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition : A meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80(3), 338-351. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.09.001>

- McMullen, J., Kulinna, P., & Cothran, D. (2014). Physical activity opportunities during the school day : Classroom teachers' perceptions of using activity breaks in the classroom. *Journal of Teaching in Physical Education*, 33(4), 511-527. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2014-0062>
- Mead, T., & Scibora, L. (2016). The impact of stability balls, activity breaks, and a sedentary classroom on standardized math scores. *Physical Educator*, 73(3). <https://doi.org/10.18666/TPE-2016-V73-I3-5303>
- Meltzer, L. (Éd.). (2007). *Executive function in education : From theory to practice*. Guilford Press.
- Merchán-Naranjo, J., Boada, L., del Rey-Mejías, Á., Mayoral, M., Llorente, C., Arango, C., & Parellada, M. (2016). Executive function is affected in autism spectrum disorder, but does not correlate with intelligence. *Revista de Psiquiatría y Salud Mental (English Edition)*, 9(1), 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.rpsmen.2016.01.001>
- Messerli, P. (1993). Une approche historique de l'aphasie. In *Langage et aphasie* (p. 13-39). De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/langage-et-aphasie--9782804117757-page-13.htm?contenu=resume>
- Mesulam, M. M. (2002). The human frontal lobes : Transcending the default mode through contingent encoding. In Donald T. Stuss & R. T. Knight (Éds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (p. 8-30). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0002>
- Micco, J. A., Henin, A., Biederman, J., Rosenbaum, J. F., Petty, C., Rindlaub, L. A., Murphy, M., & Hirshfeld-Becker, D. R. (2009). Executive functioning in offspring at risk for depression and anxiety. *Depression and Anxiety*, 26(9), 780-790. <https://doi.org/10.1002/da.20573>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological progresses in man. *British Medical Bulletin*, 27(3), 272-277. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070866>
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2014). *Référentiel pour l'éducation prioritaire*. https://www.reseau-canope.fr/education-prioritaire/fileadmin/user_upload/user_upload/accueil/Referentiel_de_l_education_prioritaire.pdf
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2016). *Le parcours éducatif de santé*. Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. <https://www.education.gouv.fr/cid109047/le-parcours-educatif-de-sante.html>
- Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. (2017). *L'éducation prioritaire—État des lieux*. Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. <https://www.education.gouv.fr/l-education-prioritaire-etat-des-lieux-2693>
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse. (2019). *L'éducation Nationale en chiffres 2018*. Ministère de l'Éducation Nationale. https://cache.media.education.gouv.fr/file/ENC_2018/90/6/enc18_web_1073906.pdf
- Mischel, W., & Moore, B. (1973). Effects of attention to symbolically presented rewards on self-control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 28(2), 172-179. <https://doi.org/10.1037/h0035716>
- 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>

- Moè, A. (2018). Mental rotation and mathematics : Gender-stereotyped beliefs and relationships in primary school children. *Learning and Individual Differences*, 61, 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.12.002>
- Moore, B. D. (2005). Neurocognitive outcomes in survivors of childhood cancer. *Journal of Pediatric Psychology*, 30(1), 51-63. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsi016>
- Moran, E. F., & Gillett-Netting, R. (1998). *Human adaptability: An introduction to ecological anthropology*. Westview.
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources : Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin*, 126(2), 247-259. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.247>
- Naushad, N., Dunn, L. B., Muñoz, R. F., & Leykin, Y. (2018). Depression increases subjective stigma of chronic pain. *Journal of Affective Disorders*, 229, 456-462. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.12.085>
- Nauta, J., Martin-Diener, E., Martin, B. W., van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2015). Injury risk during different physical activity behaviours in children : A systematic review with bias assessment. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(3), 327-336. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0289-0>
- Nelson, H. E. (1976). A Modified Card Sorting Test sensitive to frontal lobe defects. *Cortex*, 12(4), 313-324. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(76\)80035-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(76)80035-4)
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1980). Attention to action : Willed and automatic control of behavior. *Center for Human Information Processing Technical Report*, 99.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Éds.), *Consciousness and Self-Regulation : Advances in Research and Theory Volume 4* (p. 1-18). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- Northcutt, R. G. (1981). Evolution of the telencephalon in nonmammals. *Annual Review of Neuroscience*, 4(1), 301-350. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.04.030181.001505>
- OCDE. (2016a). *PISA 2015 France : Les défis du système éducatif français et les bonnes pratiques internationales*. OCDE. <http://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Brochure-France.pdf>
- OCDE. (2016b). *Résultats du PISA 2015 (Volume I) : L'excellence et l'équité dans l'éducation*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264267534-fr>
- OCDE. (2018). *Regards sur l'éducation 2018 : Les indicateurs de l'OCDE*. OECD. <https://doi.org/10.1787/eag-2018-fr>
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2010). *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé*. Edition de l'organisation mondiale de la santé.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2011). *Qu'entend-on par activité physique modérée ou intense?* WHO. http://www.who.int/dietphysicalactivity/physical_activity_intensity/fr/
- Owen, N., Healy, G. N., Matthews, C. E., & Dunstan, D. W. (2010). Too much sitting : The population health science of sedentary behavior. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 38(3), 105-113. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181e373a2>
- Pan, C.-Y., Tsai, C.-L., Chu, C.-H., Sung, M.-C., Huang, C.-Y., & Ma, W.-Y. (2019). Effects of physical exercise intervention on motor skills and executive functions in children With ADHD : A pilot study. *Journal of Attention Disorders*, 23(4), 384-397. <https://doi.org/10.1177/1087054715569282>
- Pannekoek, L., Piek, J. P., & Hagger, M. S. (2013). Motivation for physical activity in children : A moving matter in need for study. *Human Movement Science*, 32(5), 1097-1115. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.08.004>

- Parizi, A. S., Garmaroudi, G., Fazel, M., Omidvari, S., Azin, S. A., Montazeri, A., & Jafarpour, S. (2014). Psychometric properties of KIDSCREEN health-related quality of life questionnaire in Iranian adolescents. *Quality of Life Research, 23*(7), 2133-2138. <https://doi.org/10.1007/s11136-014-0655-2>
- Park, J.-H., Miyashita, M., Kwon, Y.-C., Park, H.-T., Kim, E.-H., Park, J.-K., Park, K.-B., Yoon, S.-R., Chung, J.-W., Nakamura, Y., & Park, S.-K. (2012). A 12-week after-school physical activity programme improves endothelial cell function in overweight and obese children : A randomised controlled study. *BMC Pediatrics, 12*(1), 111. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-12-111>
- Parker, P. D., Van Zanden, B., & Parker, R. B. (2018). Girls get smart, boys get smug : Historical changes in gender differences in math, literacy, and academic social comparison and achievement. *Learning and Instruction, 54*, 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.09.002>
- Pate, R. R. (1993). Physical activity assessment in children and adolescents. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33*(4-5), 321-326. <https://doi.org/10.1080/10408399309527627>
- Pate, Russell R., O'Neill, J. R., & Lobelo, F. (2008). The evolving definition of « sedentary »: *Exercise and Sport Sciences Reviews, 36*(4), 173-178. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181877d1a>
- Pauli-Pott, U., & Becker, K. (2011). Neuropsychological basic deficits in preschoolers at risk for ADHD : A meta-analysis. *Clinical Psychology Review, 31*(4), 626-637. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.02.005>
- Pechtel, P., & Pizzagalli, D. A. (2011). Effects of early life stress on cognitive and affective function : An integrated review of human literature. *Psychopharmacology, 214*(1), 55-70. <https://doi.org/10.1007/s00213-010-2009-2>
- Peddie, M. C., Bone, J. L., Rehrer, N. J., Skeaff, C. M., Gray, A. R., & Perry, T. L. (2013). Breaking prolonged sitting reduces postprandial glycemia in healthy, normal-weight adults : A randomized crossover trial. *The American Journal of Clinical Nutrition, 98*(2), 358-366. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.051763>
- Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R., Vazou, S., Säakslahti, A., & Tomporowski, P. D. (2016). Deliberate play and preparation jointly benefit motor and cognitive development : Mediated and moderated effects. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00349>
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences, 13*(4), 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>
- Phillips, B. N. (1993). *Educational and psychological perspectives on stress in students, teachers, and parents*. CPPC.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- Piek, J. P., Dawson, L., Smith, L. M., & Gasson, N. (2008). The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Human Movement Science, 27*(5), 668-681. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.11.002>
- Polonsky, W. H., & Fisher, L. (2015). When does personalized feedback make a difference? A narrative review of recent findings and their implications for promoting better diabetes self-care. *Current Diabetes Reports, 15*(8), 50. <https://doi.org/10.1007/s11892-015-0620-7>
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise, 40*, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- Pontifex, M. B., Raine, L. B., Johnson, C. R., Chaddock, L., Voss, M. W., Cohen, N. J., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control

- in preadolescent children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(6), 1332-1345. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21528>
- Pontifex, M. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., & Hillman, C. H. (2012). Fit and vigilant : The relationship between poorer aerobic fitness and failures in sustained attention during preadolescence. *Neuropsychology*, 26(4), 407-413. <https://doi.org/10.1037/a0028795>
- Prevor, M. B., & Diamond, A. (2005). Color-object interference in young children : A Stroop effect in children 3½–6½ years old. *Cognitive Development*, 20(2), 256-278. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2005.04.001>
- Raffard, S., & Bayard, S. (2012). Understanding the executive functioning heterogeneity in schizophrenia. *Brain and Cognition*, 79(1), 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.01.008>
- Raitakari, O. T., Taimela, S., Porkka, K. V. K., Telama, R., Välimäki, I., Akerblom, H. K., & Viikari, J. S. A. (1997). Associations between physical activity and risk factors for coronary heart disease : The Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(8), 1055-1061. <https://doi.org/10.1097/00005768-199708000-00011>
- Rapport, M. D., Orban, S. A., Kofler, M. J., & Friedman, L. M. (2013). Do programs designed to train working memory, other executive functions, and attention benefit children with ADHD? A meta-analytic review of cognitive, academic, and behavioral outcomes. *Clinical Psychology Review*, 33(8), 1237-1252. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.08.005>
- Raver, C. C., Blair, C., & Willoughby, M. (2013). Poverty as a predictor of 4-year-olds' executive function : New perspectives on models of differential susceptibility. *Developmental Psychology*, 49(2), 292-304. <https://doi.org/10.1037/a0028343>
- Rebar, A. L., Stanton, R., Geard, D., Short, C., Duncan, M. J., & Vandelanotte, C. (2015). A meta-meta-analysis of the effect of physical activity on depression and anxiety in non-clinical adult populations. *Health Psychology Review*, 9(3), 366-378. <https://doi.org/10.1080/17437199.2015.1022901>
- Reed, J. A., Maslow, A. L., Long, S., & Hughey, M. (2013). Examining the impact of 45 minutes of daily physical education on cognitive ability, fitness performance, and body composition of African American youth. *Journal of Physical Activity & Health*, 10(2), 185-197.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1985). *The Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery : Therapy and clinical interpretation* (Neuropsychological Press).
- Remmers, T., Thijs, C., Timperio, A., Salmon, J., Veitch, J., Kremers, S. P. J., & Ridgers, N. D. (2017). Daily Weather and Children's Physical Activity Patterns. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(5), 922-929. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001181>
- Resaland, G. K., Aadland, E., Moe, V. F., Aadland, K. N., Skrede, T., Stavnsbo, M., Suominen, L., Steene-Johannessen, J., Glosvik, Ø., Andersen, J. R., Kvalheim, O. M., Engelsrud, G., Andersen, L. B., Holme, I. M., Ommundsen, Y., Kriemler, S., van Mechelen, W., McKay, H. A., Ekelund, U., & Anderssen, S. A. (2016). Effects of physical activity on schoolchildren's academic performance : The Active Smarter Kids (ASK) cluster-randomized controlled trial. *Preventive Medicine*, 91, 322-328. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.09.005>
- Rhodes, R. E., & Dickau, L. (2012). Moderators of the intention-behaviour relationship in the physical activity domain : A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2011-090411. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090411>
- Richardson, C., Anderson, M., Reid, C. L., & Fox, A. M. (2018). Development of inhibition and switching : A longitudinal study of the maturation of interference suppression and reversal processes

- during childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 34, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.03.002>
- Riché, P. (1982). Apprendre à lire et à écrire dans le haut Moyen Age. *Bulletin de la Société Nationale des Antiquaires de France*, 1978(1), 193-203. <https://doi.org/10.3406/bsnaf.1982.8665>
- Riddoch, C. J., Bo Andersen, L., Wedderkopp, N., Harro, M., Klasson-Heggebø, L., Sardinha, L. B., Cooper, A. R., & Ekelund, U. (2004). Physical Activity Levels and Patterns of 9- and 15-yr-Old European Children: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(1), 86-92. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000106174.43932.92>
- Ridgers, N. D., Timperio, A., Cerin, E., & Salmon, J. (2014). Compensation of physical activity and sedentary time in primary school children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1564-1569. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000275>
- Ridley, K., Ainsworth, B. E., & Olds, T. S. (2008). Development of a Compendium of Energy Expenditures for Youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-45>
- Ridley, K., & Olds, T. (2016). The Energy Cost of Household Chores, Rollerblading, and Riding Scooters in 9- to 14-Year-Old Children. *Journal of Physical Activity and Health*, 13(s1), S75-S77. <https://doi.org/10.1123/jpah.2015-0706>
- Riggs, N. R., Blair, C. B., & Greenberg, M. T. (2004). Concurrent and 2-Year Longitudinal Relations Between Executive Function and the Behavior of 1st and 2nd Grade Children. *Child Neuropsychology*, 9(4), 267-276. <https://doi.org/10.1076/chin.9.4.267.23513>
- Riggs, N. R., Jahromi, L. B., Razza, R. P., Dillworth-Bart, J. E., & Mueller, U. (2006). Executive function and the promotion of social-emotional competence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 27(4), 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2006.04.002>
- Ritchie, K., Jaussett, I., Stewart, R., Dupuy, A.-M., Courtet, P., Malafosse, A., & Ancelin, M.-L. (2011). Adverse childhood environment and late-life cognitive functioning : Childhood adversity and late-life cognition. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 26(5), 503-510. <https://doi.org/10.1002/gps.2553>
- Robertson, R., Goss, F., Andreacci, J., Dubé, J., Rutkowski, J., Frazee, K., Aaron, D., Metz, K., Kowallis, R., & Snee, B. (2005). Validation of the Children's OMNI-Resistance Exercise Scale of Perceived Exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 819-826. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000162619.33236.F1>
- Robison, L. L., & Hudson, M. M. (2014). Survivors of childhood and adolescent cancer : Life-long risks and responsibilities. *Nature Reviews. Cancer*, 14(1), 61-70. <https://doi.org/10.1038/nrc3634>
- Roebers, C. M., & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175-181. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00755.x>
- Roemmich, J. N., Epstein, L. H., Raja, S., Yin, L., Robinson, J., & Winiewicz, D. (2006). Association of access to parks and recreational facilities with the physical activity of young children. *Preventive Medicine*, 43(6), 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2006.07.007>
- Rothbart, M. K., Posner, M. I., & Kieras, J. (2006). Temperament, attention, and the development of self-regulation. In *Blackwell handbook of early childhood development* (p. 338-357). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470757703.ch17>
- Roux, L., Gourlan, M., & Cousson-Gélie, F. (2020). A longitudinal test of the theory of planned behaviour to explain physical activity level in children : Exploration of the role of gender and age. *Psychology & Health*, 0(0), 1-16. <https://doi.org/10.1080/08870446.2020.1798957>

- Rowland, T. W. (1998). The biological basis of physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 392-399.
- Roy, A., Kefi, M.-Z., Bellaj, T., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2018). The Stroop test : A developmental study in a French children sample aged 7 to 12 years. *Psychologie Française*, 63(2), 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2016.08.001>
- Roy, A. (2015). Approche neuropsychologique des fonctions exécutives de l'enfant : État des lieux et éléments de prospective. *Revue de neuropsychologie*, Volume 7(4), 245-256.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2020). Un nouveau dispositif d'évaluation des fonctions exécutives chez l'enfant : La batterie FÉE. *A.N.A.E. Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 32(167).
- Roy, A., Gall, D. L., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant : Approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de neuropsychologie*, Volume 4(4), 287-297.
- Rubia, K., Smith, A. B., Woolley, J., Nosarti, C., Heyman, I., Taylor, E., & Brammer, M. (2006). Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 27(12), 973-993. <https://doi.org/10.1002/hbm.20237>
- Rubin, D. B. (2004). *Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys*. Wiley.Com. <https://www.wiley.com/en-us/Multiple+Imputation+for+Nonresponse+in+Surveys-p-9780471655749>
- Rush, E., & Simmons, D. (2014). Physical activity in children : Prevention of obesity and type 2 diabetes. *Medicine and Sport Science*, 60, 113-121. <https://doi.org/10.1159/000357341>
- Ryan, D. J., Stebbings, G. K., & Onambele, G. L. (2015). The emergence of sedentary behaviour physiology and its effects on the cardiometabolic profile in young and older adults. *AGE*, 37(5), 89. <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9832-7>
- Ryan, M. P. (2008). The antidepressant effects of physical activity : Mediating self-esteem and self-efficacy mechanisms. *Psychology & Health*, 23(3), 279-307. <https://doi.org/10.1080/14768320601185502>
- Saint Louis Deschênes, M. (2012). *Les effets de l'exercice physique sur le fonctionnement cognitif de l'enfant* [Université de Montréal]. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/6260>
- Sallis, J. F. (2000). Age-related decline in physical activity : A synthesis of human and animal studies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1598-1600.
- Sallis, J. F., Hovell, M. F., & Richard Hofstetter, C. (1992). Predictors of adoption and maintenance of vigorous physical activity in men and women. *Preventive Medicine*, 21(2), 237-251. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(92\)90022-A](https://doi.org/10.1016/0091-7435(92)90022-A)
- Sallis, J. F., Strikmiller, P., Harsha, D., Feldman, H., Ehlinger, S., Stone, E. J., Williston, J., & Woods, S. (1996). Validation of interviewer- and self-administered physical activity checklists for fifth grade students. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(7), 840-851. <https://doi.org/10.1097/00005768-199607000-00011>
- Santos, P., Guerra, S., Ribeiro, J. C., Duarte, J. A., & Mota, J. (2003). Age and gender-related physical activity. A descriptive study in children using accelerometry. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(1), 85-89.
- Sarremejane, P. (2006). L'héritage de la méthode suédoise d'éducation physique en France : Les conflits de méthode au sein de l'École normale de gymnastique et d'escrime de Joinville au début du XXème siècle. *Paedagogica Historica*, 42(6), 817-837. <https://doi.org/10.1080/00309230600929559>

- Sarsour, K., Sheridan, M., Jutte, D., Nuru-Jeter, A., Hinshaw, S., & Boyce, W. T. (2011). Family socioeconomic status and child executive functions: The roles of language, home environment, and single parenthood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(01), 120-132. <https://doi.org/10.1017/S1355617710001335>
- Sato, M., & Loewen, S. (2019). Do teachers care about research? The research–pedagogy dialogue. *ELT Journal*, *73*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1093/elt/ccy048>
- Schmidt, M., Benzing, V., & Kamer, M. (2016). Classroom-based physical activity breaks and children’s attention: Cognitive engagement works! *Frontiers in Psychology*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01474>
- Schmidt, M., Egger, F., Benzing, V., Jäger, K., Conzelmann, A., Roebbers, C. M., & Pesce, C. (2017). Disentangling the relationship between children’s motor ability, executive function and academic achievement. *PLOS ONE*, *12*(8), e0182845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182845>
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebbers, C. M., & Conzelmann, A. (2015). Cognitively engaging chronic physical activity, but not aerobic exercise, affects executive functions in primary school children: A group-randomized controlled trial. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *37*(6), 575-591. <https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0069>
- Schmitt, S. A., Purpura, D. J., & Elicker, J. G. (2019). Predictive links among vocabulary, mathematical language, and executive functioning in preschoolers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *180*, 55-68. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.12.005>
- Schoemaker, K., Bunte, T., Wiebe, S. A., Espy, K. A., Deković, M., & Matthys, W. (2012). Executive function deficits in preschool children with ADHD and DBD: Executive functions in preschoolers with ADHD and DBD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *53*(2), 111-119. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02468.x>
- Schoemaker, K., Mulder, H., Deković, M., & Matthys, W. (2013). Executive functions in preschool children with externalizing behavior problems: A meta-analysis. *Journal of Abnormal Child Psychology*, *41*(3), 457-471. <https://doi.org/10.1007/s10802-012-9684-x>
- Schoenemann, P. T., Sheehan, M. J., & Glotzer, L. D. (2005). Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nature Neuroscience*, *8*(2), 242-252. <https://doi.org/10.1038/nn1394>
- Schofield, W. N. (1985). Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition. Clinical Nutrition*, *39 Suppl 1*, 5-41.
- Schuch, S., & Konrad, K. (2017). Investigating task inhibition in children versus adults: A diffusion model analysis. *Journal of Experimental Child Psychology*, *156*, 143-167. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.11.012>
- Schwarz, N., & Sudman, S. (1996). *Answering questions: Methodology for determining cognitive and communicative processes in survey research*. Jossey-Bass.
- Schwarzer, R. (2008). Modeling health behavior change: How to predict and modify the adoption and maintenance of health behaviors. *Applied Psychology*, *57*(1), 1-29. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2007.00325.x>
- Scudder, M. R., Khan, N. A., Lambourne, K., Drollette, E. S., Herrmann, S. D., Betts, J. L., Washburn, R. A., Donnelly, J. E., & Hillman, C. H. (2015). Cognitive control in preadolescent children with risk factors for metabolic syndrome. *Health Psychology*, *34*(3), 243-252. <https://doi.org/10.1037/hea0000114>

- Scudder, M. R., Lambourne, K., Drollette, E. S., Herrmann, S. D., Washburn, R. A., Donnelly, J. E., & Hillman, C. H. (2014). Aerobic capacity and cognitive control in elementary school-age children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(5), 1025-1035. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000199>
- Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H., Reiss, A. L., & Greicius, M. D. (2007). Dissociable Intrinsic Connectivity Networks for Salience Processing and Executive Control. *Journal of Neuroscience*, 27(9), 2349-2356. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5587-06.2007>
- Seguin, C., Portes, V. D., & Bussy, G. (2015). Évaluation neuropsychologique du trouble de l'inhibition dans le TDAH : De la théorie à la clinique. *Revue de neuropsychologie, Volume 7(4)*, 291-298.
- Seigneurie, A.-S., Guérin Langlois, C., & Limosin, F. (2013). Vulnérabilité cognitive à l'alcoolodépendance : Identification d'endophénotypes morphologiques cérébraux. *L'Encéphale*, 39(5), 320-325. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2012.11.007>
- Semendeferi, K., Lu, A., Schenker, N., & Damasio, H. (2002). Humans and great apes share a large frontal cortex. *Nature Neuroscience*, 5(3), 272-276. <https://doi.org/10.1038/nn814>
- Seron, X., & Van der Linden, M. (2014). *Traité de neuropsychologie clinique de l'adulte*.
- Serrien, D. J., Ivry, R. B., & Swinnen, S. P. (2007). The missing link between action and cognition. *Progress in Neurobiology*, 82(2), 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.02.003>
- Shallice, T. (1982). Specific Impairments of Planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 298(1089), 199-209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T., & Evans, M. E. (1978). The involvement of the frontal lobes in cognitive estimation. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 14(2), 294-303.
- Shallice, T., & Burgess. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1346), 1405-1412. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0124>
- Sherar, L. B., Esliger, D. W., Baxter-Jones, A. D. G., & Tremblay, M. S. (2007). Age and gender differences in youth physical activity : Does physical maturity matter? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(5), 830-835. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180335c3c>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., & Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions : A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 68, 651-668. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.038>
- Shrout, P. E., & Bolger, N. (2002). Mediation in experimental and nonexperimental studies : New procedures and recommendations. *Psychological Methods*, 7(4), 422-445.
- Shu, B. C., Tien, A. Y., Lung, F. W., & Chang, Y. Y. (2000). Norms for the Wisconsin Card Sorting Test in 6- to 11-year-old children in Taiwan. *The Clinical Neuropsychologist*, 14(3), 275-286. [https://doi.org/10.1076/1385-4046\(200008\)14:3;1-P;FT275](https://doi.org/10.1076/1385-4046(200008)14:3;1-P;FT275)
- Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children : A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15(3), 243-256. <https://doi.org/10.1123/pes.15.3.243>
- Simonds, J., Kieras, J. E., Rueda, M. R., & Rothbart, M. K. (2007). Effortful control, executive attention, and emotional regulation in 7–10-year-old children. *Cognitive Development*, 22(4), 474-488. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2007.08.009>
- Simonet, G. (2009). Le concept d'adaptation : Polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques. *Natures Sciences Societes, Vol. 17(4)*, 392-401.

- Singh, A. S., Saliassi, E., van den Berg, V., Uijtdewilligen, L., de Groot, R. H. M., Jolles, J., Andersen, L. B., Bailey, R., Chang, Y.-K., Diamond, A., Ericsson, I., Etnier, J. L., Fedewa, A. L., Hillman, C. H., McMorris, T., Pesce, C., Pühse, U., Tomporowski, P. D., & Chinapaw, M. J. M. (2019). Effects of physical activity interventions on cognitive and academic performance in children and adolescents : A novel combination of a systematic review and recommendations from an expert panel. *British Journal of Sports Medicine*, *53*(10), 640-647. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098136>
- Sisk, C. L., & Zehr, J. L. (2005). Pubertal hormones organize the adolescent brain and behavior. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *26*(3-4), 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2005.10.003>
- Smith, L. B. (2005). Cognition as a dynamic system : Principles from embodiment. *Developmental Review*, *25*(3-4), 278-298. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2005.11.001>
- Smith, M. L., Klim, P., & Hanley, W. B. (2000). Executive function in school-aged children with phenylketonuria. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, *12*(4), 317-332. <https://doi.org/10.1023/A:1009480013237>
- Smith-Seemiller, L., Arffa, S., & Franzen, M. D. (2001). Use of Wisconsin Card Sorting Test short forms with school-age children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *16*(5), 489-499. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(00\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(00)00062-7)
- 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>
- Spilt, J. L., Hughes, J. N., Wu, J.-Y., & Kwok, O.-M. (2012). Dynamics of teacher–student relationships : Stability and change across elementary school and the influence on children’s academic success. *Child Development*, *83*(4), 1180-1195. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01761.x>
- Spinoza, B. (1993). *L'éthique* (Flammarion).
- Steckler, A., & Linnan, L. (2002). *Process evaluation for public health interventions and research*. Jossey-Bass.
- Stimpson, N. J., Davison, G., & Javadi, A.-H. (2018). Joggin’ the noggin : Towards a physiological understanding of exercise-induced cognitive benefits. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *88*, 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.03.018>
- Storbeck, J., & Maswood, R. (2016). Happiness increases verbal and spatial working memory capacity where sadness does not : Emotion, working memory and executive control. *Cognition and Emotion*, *30*(5), 925-938. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1034091>
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (1991). *A compendium of neuropsychological tests : Administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J. R., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., Hergenroeder, A. C., Must, A., Nixon, P. A., Pivarnik, J. M., Rowland, T., Trost, S., & Trudeau, F. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *The Journal of Pediatrics*, *146*(6), 732-737. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.01.055>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Sturm, V. E., Haase, C. M., & Levenson, R. W. (2016). Emotional dysfunction in psychopathology and neuropathology. In *Genomics, Circuits, and Pathways in Clinical Neuropsychiatry* (p. 345-364). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800105-9.00022-6>
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. Raven Press.

- Stuss, Donald T. (2006). Frontal lobes and attention : Processes and networks, fractionation and integration. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(2), 261-271. <https://doi.org/10.1017/S1355617706060358>
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes : Relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(05), 759-765. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000695>
- Syväoja, H. J., Tammelin, T. H., Ahonen, T., Kankaanpää, A., & Kantomaa, M. T. (2014). The associations of objectively measured physical activity and sedentary time with cognitive functions in school-aged children. *PLoS ONE*, 9(7), e103559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103559>
- Syväoja, H. J., Tammelin, T. H., Ahonen, T., Räsänen, P., Tolvanen, A., Kankaanpää, A., & Kantomaa, M. T. (2015). Internal consistency and stability of the CANTAB neuropsychological test battery in children. *Psychological Assessment*, 27(2), 698-709. <https://doi.org/10.1037/a0038485>
- Tanguy, L., Gorand, O., Plenet, A., Caroly, S., Teyssseyre, D., & Descatha, A. (2012). Implantation d'une intervention sanitaire en entreprise : Barrières et facilitateurs. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 73(1), 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2011.12.011>
- Taylor, C. B., Sallis, J. F., & Needle, R. (1985). The relation of physical activity and exercise to mental health. *Public Health Reports*, 100(2), 195-202.
- Telama, R., Viikari, J., Välimäki, I., Siren-Tiusanen, H., Akerblom, H. K., Uhari, M., Dahl, M., Pesonen, E., Lähde, P. L., & Pietikäinen, M. (1985). Atherosclerosis precursors in Finnish children and adolescents. X. Leisure-time physical activity. *Acta Paediatrica Scandinavica. Supplement*, 318, 169-180.
- Tessier, S., Vuillemin, A., & Briançon, S. (2007). Propriétés psychométriques d'un questionnaire de mesure de l'activité physique chez l'enfant scolarisé âgé de six à dix ans : QAPE-semaine. *Science & Sports*, 22(5), 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2007.07.002>
- Thiebaut de Schotten, M., Urbanski, M., Batrancourt, B., Levy, R., Dubois, B., Cerliani, L., & Volle, E. (2017). Rostro-caudal architecture of the frontal lobes in humans. *Cerebral Cortex*, 27(8), 4033-4047. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw215>
- Thyfault, J. P., Du, M., Kraus, W. E., Levine, J. A., & Booth, F. W. (2015). Physiology of sedentary behavior and its relationship to health outcomes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(6), 1301-1305. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000518>
- Timperio, A., Ball, K., Salmon, J., Roberts, R., Giles-Corti, B., Simmons, D., Baur, L. A., & Crawford, D. (2006). Personal, family, social, and environmental correlates of active commuting to school. *American Journal of Preventive Medicine*, 30(1), 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.08.047>
- Tissié, P. (1905). *Précis de gymnastique rationnelle de développement de plain pied et à mains libres* (Ch. Gaulon et fils).
- Toll, S. W. M., Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., & Van Luit, J. E. H. (2011). Executive functions as predictors of math learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 44(6), 521-532. <https://doi.org/10.1177/0022219410387302>
- Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B : Normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(2), 203-214. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(03)00039-8)

- Tomporowski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function : An introduction and overview. *Preventive medicine*, 52(Suppl 1), S3-S9. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.028>
- Tribalat, T. (2014). Education physique « et » sport. *Revue Skhole.fr*. <http://skhole.fr/education-physique-et-sport-par-thierry-tribalat>
- Trost, S. G., Pate, R. R., Sallis, J. F., Freedson, P. S., Taylor, W. C., Dowda, M., & Sirard, J. (2002). Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), 350–355.
- Trudeau, F., & Shephard, R. J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-10>
- Tsujimoto, S., Kuwajima, M., & Sawaguchi, T. (2007). Developmental fractionation of working memory and response inhibition during childhood. *Experimental Psychology*, 54(1), 30-37. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.54.1.30>
- Tucker, P., & Gilliland, J. (2007). The effect of season and weather on physical activity : A systematic review. *Public Health*, 121(12), 909-922. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2007.04.009>
- Unterrainer, J. M., Rahm, B., Kaller, C. P., Leonhart, R., Quiske, K., Hoppe-Seyley, K., Meier, C., Müller, C., & Halsband, U. (2004). Planning abilities and the Tower of London : Is this task measuring a discrete cognitive function? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(6), 846-856. <https://doi.org/10.1080/13803390490509574>
- U.S. Department of Health and Human Services. (2018). *Physical Activity Guidelines for Americans* (2nd Edition). https://health.gov/paguidelines/second-edition/pdf/Physical_Activity_Guidelines_2nd_edition.pdf#page=46
- Usai, M. C., Viterbori, P., Traverso, L., & De Franchis, V. (2014). Latent structure of executive function in five- and six-year-old children : A longitudinal study. *European Journal of Developmental Psychology*, 11(4), 447-462. <https://doi.org/10.1080/17405629.2013.840578>
- Arrêté du 9 novembre 2015 fixant les horaires d'enseignement des écoles maternelles et élémentaires, Pub. L. No. NOR: MENE1526553A (2015).
- van den Berg, V., Saliassi, E., de Groot, R. H. M., Chinapaw, M. J. M., & Singh, A. S. (2019). Improving Cognitive Performance of 9–12 Years Old Children : Just Dance? A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Psychology*, 10, 174. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00174>
- van der Fels, I. M. J., te Wierike, S. C. M., Hartman, E., Elferink-Gemser, M. T., Smith, J., & Visscher, C. (2015). The relationship between motor skills and cognitive skills in 4–16 year old typically developing children : A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(6), 697-703. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.09.007>
- van der Niet, A. G., Hartman, E., Smith, J., & Visscher, C. (2014). Modeling relationships between physical fitness, executive functioning, and academic achievement in primary school children. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(4), 319-325. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.02.010>
- van der Niet, A. G., Smith, J., Scherder, E. J. A., Oosterlaan, J., Hartman, E., & Visscher, C. (2015). Associations between daily physical activity and executive functioning in primary school-aged children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(6), 673-677. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.09.006>
- van der Niet, A. G., van der, Smith, J., Oosterlaan, J., Scherder, E. J. A., Hartman, E., & Visscher, C. (2016). Effects of a cognitively demanding aerobic intervention during recess on children's physical

- fitness and executive functioning. *Pediatric Exercise Science*, 28(1), 64-70. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0084>
- Van Kann, D. H. H. (2017). *Active living : The role of the primary school environment on children's physical activity and sedentary behavior*. Datawyse / Universitaire Pers Maastricht.
- Varness, T., Carrel, A. L., Eickhoff, J. C., & Allen, D. B. (2009). Reliable prediction of insulin resistance by a school-based fitness test in middle-school children. *International Journal of Pediatric Endocrinology*, 2009, 487804. <https://doi.org/10.1155/2009/487804>
- Vazou, S., Pesce, C., Lakes, K., & Smiley-Oyen, A. (2019). More than one road leads to Rome : A narrative review and meta-analysis of physical activity intervention effects on cognition in youth. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 17(2), 153-178. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2016.1223423>
- Vazou, S., & Smiley-Oyen, A. (2014). Moving and academic learning are not antagonists : Acute effects on executive function and enjoyment. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36(5), 474-485. <https://doi.org/10.1123/jsep.2014-0035>
- Verloigne, M., Van Lippevelde, W., Maes, L., Yildirim, M., Chinapaw, M., Manios, Y., Androutsos, O., Kovacs, E., Bringolf-Isler, B., Brug, J., & De Bourdeaudhuij, I. (2012). Levels of physical activity and sedentary time among 10- to 12-year-old boys and girls across 5 European countries using accelerometers : An observational study within the ENERGY-project. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-34>
- Volle, E., & Levy, R. (2014). Rôle du cortex préfrontal dans l'adaptation comportementale chez l'homme. *médecine/sciences*, 30(2), 179-185. <https://doi.org/10.1051/medsci/20143002016>
- Vuillemin, A. (2011). Le point sur les recommandations de santé publique en matière d'activité physique. *Science & Sports*. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.06.007>
- Wang, Z., Jing, J., Igarashi, K., Fan, L., Yang, S., Li, Y., & Jin, Y. (2018). Executive function predicts the visuospatial working memory in autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Autism Research: Official Journal of the International Society for Autism Research*, 11(8), 1148-1156. <https://doi.org/10.1002/aur.1967>
- Wankel, L. M. (1993). The importance of enjoyment to adherence and psychological benefits from physical activity. *International Journal of Sport Psychology*, 24(2), 151-169.
- Wanless, S. B., McClelland, M. M., Acock, A. C., Ponitz, C. C., Son, S.-H., Lan, X., Morrison, F. J., Chen, J.-L., Chen, F.-M., Lee, K., Sung, M., & Li, S. (2011). Measuring behavioral regulation in four societies. *Psychological Assessment*, 23(2), 364-378. <https://doi.org/10.1037/a0021768>
- Warren, J. M., Warren, H. B., & Akert, K. (1972). The behavior of chronic cats with lesions in the frontal association cortex. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 32(2), 361-392.
- Warsh, J., Janssen, I., & Pickett, W. (2011). Do overweight and obese youth take longer to recover from injury? *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 18(2), 143-149. <https://doi.org/10.1080/17457300.2010.540329>
- Watkins, L. H., Sahakian, B. J., Robertson, M. M., Veale, D. M., Rogers, R. D., Pickard, K. M., Aitken, M. R. F., & Robbins, T. W. (2005). Executive function in Tourette's syndrome and obsessive-compulsive disorder. *Psychological Medicine*, 35(4), 571-582. <https://doi.org/10.1017/S0033291704003691>
- Watson, A., Timperio, A., Brown, H., Best, K., & Hesketh, K. D. (2017). Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes : A systematic review and meta-analysis. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 114. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0569-9>

- Watson, A., Timperio, A., Brown, H., & Hesketh, K. D. (2017). A primary school active break programme (ACTI-BREAK) : Study protocol for a pilot cluster randomised controlled trial. *Trials*, *18*(1). <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2163-5>
- Watson, A., Timperio, A., Brown, H., Hinkley, T., & Hesketh, K. D. (2019). Associations between organised sport participation and classroom behaviour outcomes among primary school-aged children. *PLOS ONE*, *14*(1), e0209354. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209354>
- Webster, C. A., Caputi, P., Perreault, M., Doan, R., Doutis, P., & Weaver, R. G. (2013). Elementary classroom teachers' adoption of physical activity promotion in the context of a statewide policy : An innovation diffusion and socio-ecologic perspective. *Faculty of Social Sciences - Papers*, 419-440.
- Weintraub, N., & Bar-Haim Erez, A. (2009). Quality of Life in School (QoLS) questionnaire : Development and validity. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, *63*(6), 724-731.
- Willoughby, M. T., Blair, C. B., & The Family Life Project Investigators. (2016). Measuring executive function in early childhood : A case for formative measurement. *Psychological Assessment*, *28*(3), 319-330. <https://doi.org/10.1037/pas0000152>
- Wilson, J. T. L., Scott, J. H., & Power, K. G. (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *British Journal of Developmental Psychology*, *5*(3), 249-255. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1987.tb01060.x>
- Wolpert, L. (Éd.). (2011). *Principles of development* (4th ed). Oxford University Press.
- World Health Organisation. (2018). *Global action plan on physical activity 2018-2030 : More active people for a healthier world*. <http://www.who.int/ncds/prevention/physical-activity/gappa>
- Wretham, A. E., & Woolgar, M. (2017). Do children adopted from British foster care show difficulties in executive functioning and social communication? *Adoption & Fostering*, *41*(4), 331-345. <https://doi.org/10.1177/0308575917730295>
- 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, and Allied Disciplines*, *44*(4), 561-575.
- Wu, C.-T., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Chaddock, L., Voss, M. W., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2011). Aerobic fitness and response variability in preadolescent children performing a cognitive control task. *Neuropsychology*, *25*(3), 333-341. <https://doi.org/10.1037/a0022167>
- Wu, H.-C., White, S., Rees, G., & Burgess, P. W. (2018). Executive function in high-functioning autism : Decision-making consistency as a characteristic gambling behaviour. *Cortex*, *107*, 21-36. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.01.013>
- Xie, L., Ren, M., Cao, B., & Li, F. (2017). Distinct brain responses to different inhibitions : Evidence from a modified Flanker Task. *Scientific Reports*, *7*(1), 6657. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04907-y>
- Xue, Y., Yang, Y., & Huang, T. (2019). Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents : A systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2018-099825. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099825>
- Yang, Y., Shields, G. S., Guo, C., & Liu, Y. (2018). Executive function performance in obesity and overweight individuals : A meta-analysis and review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *84*, 225-244. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.11.020>
- Yaribeygi, H., Panahi, Y., Sahraei, H., Johnston, T. P., & Sahebkar, A. (2017). The impact of stress on body function : A review. *EXCLI Journal*. <https://doi.org/10.17179/excli2017-480>

- Yogarajah, M., Duncan, J. S., & Koepp, M. J. (2009). Structure and function : Imaging connectivity using tractography. In *Encyclopedia of Basic Epilepsy Research* (p. 1586-1592). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012373961-2.00221-6>
- Yoon, J. H., Grandelis, A., & Maddock, R. J. (2016). Dorsolateral prefrontal Cortex GABA concentration in humans predicts working memory load processing capacity. *The Journal of Neuroscience*, *36*(46), 11788-11794. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1970-16.2016>
- Zeanah, C. H., Nelson, C. A., Fox, N. A., Smyke, A. T., Marshall, P., Parker, S. W., & Koga, S. (2003). Designing research to study the effects of institutionalization on brain and behavioral development : The Bucharest Early Intervention Project. *Development and Psychopathology*, *15*(4), 885-907. <https://doi.org/10.1017/S0954579403000452>
- Zelazo, P. D., Blair, C. B., & Willoughby, M. T. (2016). *Executive Function : Implications for Education. NCER 2017-2000*. National Center for Education Research. <https://eric.ed.gov/?id=ED570880>
- Zelazo, P. D., Carter, A., & Reznick, S. (1997). Early development of executive functions : A problem solving framework. *Review of General Psychology*, *1*(2), 198-226.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J., Chiang, J. K., Hongwanishkul, D., Schuster, B. V., & Sutherland, A. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *68*(3), vii-137.
- Zesiger, P. E., & Hirsbrunner, T. (2000). Neuropsychologie du développement : Réflexions sur quelques questions actuelles. *Revue de neuropsychologie* *2101-6739*, *10*(3), 369-386.
- Zhao, G., Quan, M., Su, L., Zhang, H., Zhang, J., Zhang, J., Fang, H., Cao, Z.-B., Zhu, Z., Niu, Z., Wang, R., & Chen, P. (2017). Effect of Physical Activity on Cognitive Development : Protocol for a 15-Year Longitudinal Follow-Up Study. *BioMed Research International*, *2017*, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2017/8568459>

Annexes

« There is nothing like looking, if you want to find something. You certainly usually find something, if you look, but it is not always quite the something you were after. »

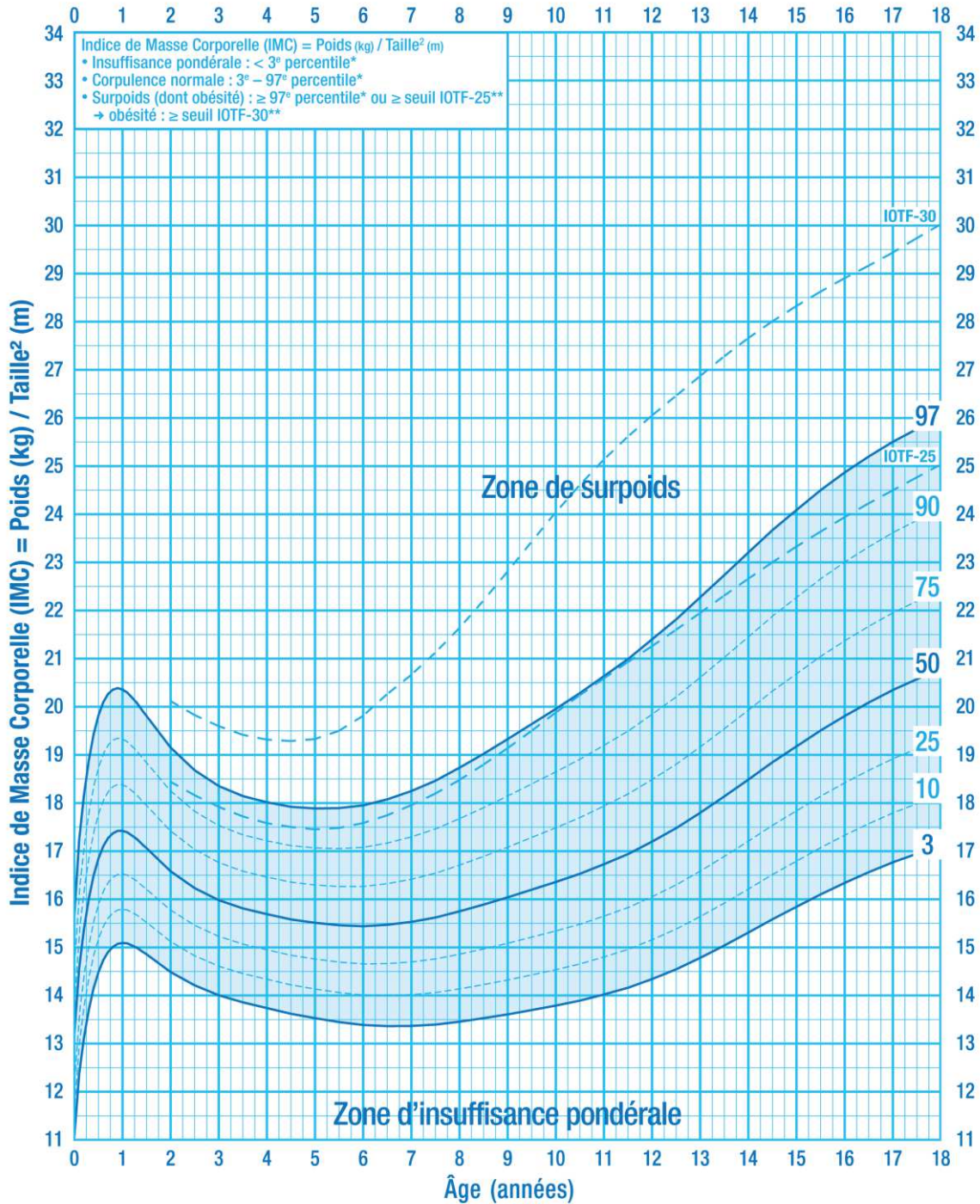
J.R.R. Tolkien, *The Hobbit, or There and Back Again*, 1937



Courbe de Corpulence chez les garçons de 0 à 18 ans

Références françaises et seuils de l'International Obesity Task Force (IOTF)

Nom : _____ Prénom : _____ Date de naissance : _____



Pour chaque enfant, le poids et la taille doivent être mesurés régulièrement.
L'IMC est calculé et reporté sur la courbe de corpulence.

Courbes de l'IMC diffusées dans le cadre du PNNS à partir des références françaises* issues des données de l'étude séquentielle française de la croissance du Centre International de l'Enfance (Pr Michel Sempé), complétées par les courbes de référence de l'International Obesity Task Force (IOTF)** atteignant les valeurs 25 pour le surpoids (IOTF-25) et 30 pour l'obésité (IOTF-30) à l'âge de 18 ans.

* Références françaises: Rolland Cachera et coll. Eur J Clin Nutr 1991;45:13-21.

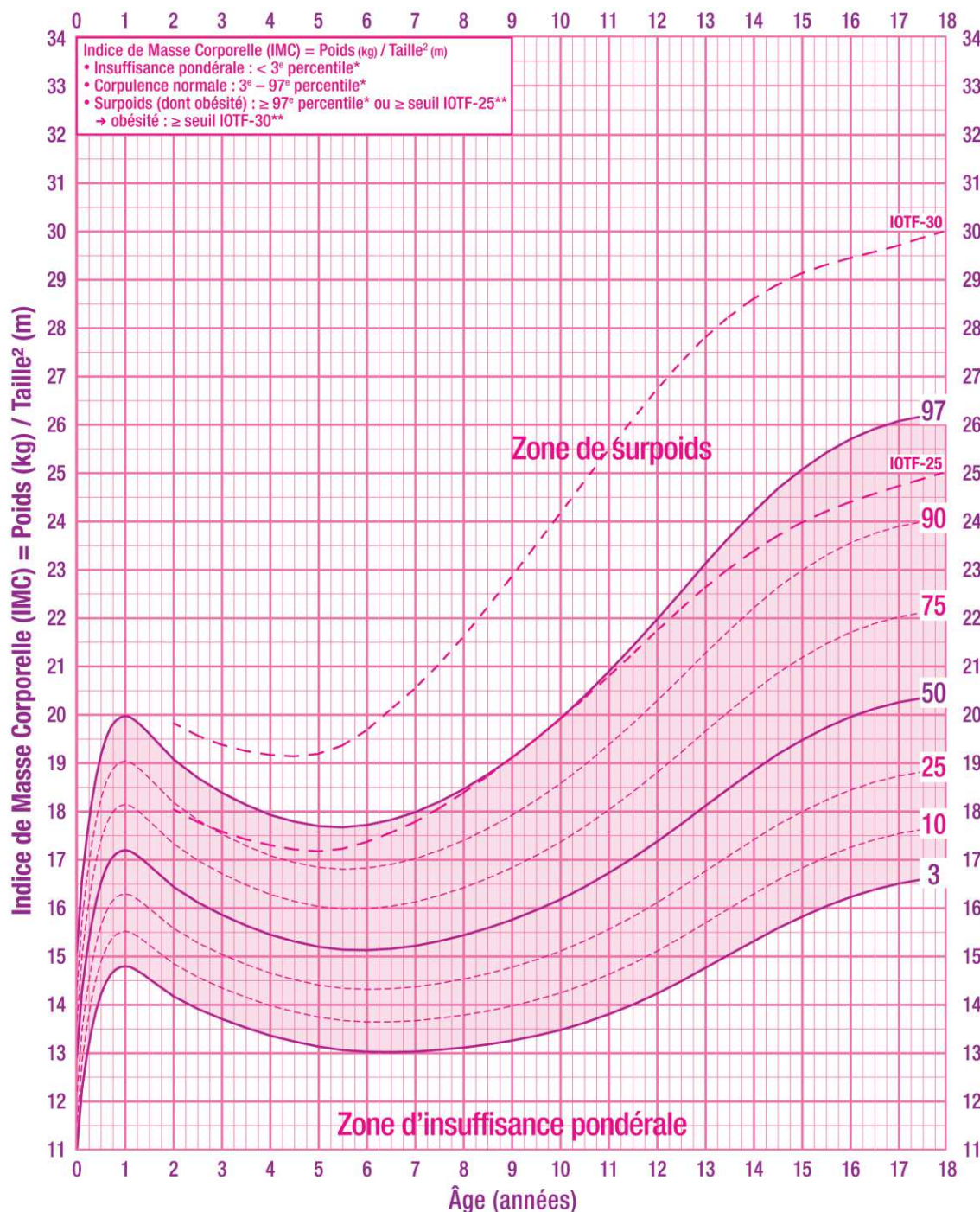
** Références internationales (IOTF): Cole et coll. BMJ 2000;320:1240-3.



Courbe de Corpulence chez les filles de 0 à 18 ans

Références françaises et seuils de l'International Obesity Task Force (IOTF)

Nom : _____ Prénom : _____ Date de naissance : _____



Pour chaque enfant, le poids et la taille doivent être mesurés régulièrement.
L'IMC est calculé et reporté sur la courbe de corpulence.

Courbes de l'IMC diffusées dans le cadre du PNNS à partir des références françaises* issues des données de l'étude séquentielle française de la croissance du Centre International de l'Enfance (Pr Michel Sempé), complétées par les courbes de référence de l'International Obesity Task Force (IOTF)** atteignant les valeurs 25 pour le surpoids (IOTF-25) et 30 pour l'obésité (IOTF-30) à l'âge de 18 ans.

* Références françaises: Rolland Cachera et coll. Eur J Clin Nutr 1991;45:13-21.

** Références internationales (IOTF): Cole et coll. BMJ 2000;320:1240-3.

Comité de Protection des Personnes Nord-Ouest II

Comité restreint

Agréé par arrêté ministériel en date du 31/05/2012

Constitué selon les arrêtés du Directeur Général de l'Agence Régionale de Santé Hauts de France en date des 11/10/2015, 19/07/2016 et 10/03/2017.

C.H.U. - Bât. Pharmacie - 1er étage - Place Victor Pauchet - 80054 Amiens Cedex 1

Président : M. T. BOURGUEIL

Vice-président : Dr G. DESCHASSE (néphrologue)

Dr S. BENZINEB (psychiatre)

Mme I. DEPRET-ROHMER

Dr A. HERMANT

Dr G. KRIM (radiologue)

Mme M. MINARD

Pr F. PERDU (médecin généraliste)

Secrétariat

Mme L. RIEZ

Téléphone 03 22 66 85 43

Télécopie 03 22 66 86 26

cpp_nordouest2@chu-amiens.fr

A votre demande et dans le cadre d'une possible publication dans une revue scientifique à comité de lecture, le Comité de protection des personnes Nord-Ouest II, en formation restreinte, constitué de membres disposant de toute l'expertise et l'indépendance voulues pour évaluer les projets soumis, a étudié votre protocole intitulé : **Quels liens existe-t-il entre la pratique d'activité physique quotidienne des enfants et leur niveau de fonctionnement exécutif ?** (Version 2 du 24/03/2017).

Ce protocole n'a pas posé de problème scientifique ou éthique.

Conformément à la réglementation française, la classification en recherche mentionné au 3° de l'article L.1121-1 du code de la santé publique reste de votre responsabilité.

Fait à Amiens, le **24 MAI 2017**

Le Président du CPP Nord-Ouest II restreint,



Thierry BOURGUEIL

CEEI - IRB

**Comité d'Evaluation Ethique
de l'Inserm**

IRB00003888



Nos réf: CD/VB 17-107
Dossier suivi par :
Christine DOSQUET - CEEI
[@ : ceei@inserm.fr](mailto:ceei@inserm.fr)

Madame Lydie ROUX
Université Paul Valéry Montpellier 3
Site Saint Charles, laboratoire Epsilon
Route de Mende
34199 MONTPELLIER Cedex 5

Paris, le 19 septembre 2017

Pour faire valoir à qui de droit
Avis N°17-405

Madame,

Le Comité d'Evaluation Ethique de l'Inserm, *Institutional Review Board* de l'Inserm (IRB00003888, IORG0003254, FWA00005831) a donné un avis favorable pour votre projet intitulé :

"Activité physique, école et cognition".

Le CEEI rappelle que l'investigateur s'engage à respecter le protocole déposé et à suivre ses recommandations.

Avec mes salutations distinguées,



Christine DOSQUET
Présidente du CEEI/IRB

Mes habitudes d'activité physique

Ce questionnaire a pour but de mieux connaître ce que tu as pratiqué comme activité physique au cours des 7 derniers jours.

L'activité physique c'est tout ce qui fait bouger ton corps, être essoufflé, avoir chaud, transpirer ou avoir le cœur qui bat vite. L'activité physique comprend à la fois les activités sportives (jouer au football dans un club par exemple), les activités de loisir (faire du vélo ou aller à la piscine par exemple) et les activités de la vie quotidienne (faire du ménage, promener son chien ou aller à l'école à pieds par exemple).

1. Mes activités physiques sportives

Au cours des 7 derniers jours, as-tu **pratiqué un sport dans un club ou une association sportive** ?

<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
------------------------------	------------------------------

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 2.

	Activité 1	Activité 2
Nom de l'activité sportive		
Nombre d'entraînements au cours des 7 derniers jours		
Durée d'un entraînement		
Nombre de compétitions au cours des 7 derniers jours		
Durée d'une compétition		

2. Mes activités physiques pendant la récréation

Au cours des 7 derniers jours, as-tu joué à des **jeux qui t'ont fait bouger, transpirer et avoir le cœur qui bat vite pendant la récréation** ?

<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
------------------------------	------------------------------

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 3.

Nom du jeu	Nombre de fois où tu y a joué à la récréation au cours des 7 derniers jours	Durée de ce jeu dans une récréation
...		

3. *Mes activités physiques pendant la pause de midi les jours d'école*

Au cours des 7 derniers jours, as-tu joué à des **jeux qui t'ont fait bouger, transpirer et avoir le cœur qui bat vite pendant la pause de midi les jours d'école** ?

<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
------------------------------	------------------------------

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 4.

Nom du jeu	Nombre de fois où tu y as joué à la pause de midi au cours des 7 derniers jours	Durée de ce jeu dans une pause de midi
...		

4. *Mes activités physiques durant mon temps libre*

Au cours des 7 derniers jours, as-tu joué à des **jeux qui t'ont fait bouger, transpirer et avoir le cœur qui bat vite pendant ton temps libre** ?

<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
------------------------------	------------------------------

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 4.

Nom de l'activité	Nombre de fois pendant ton temps libre au cours des 7 derniers jours	Durée d'une fois
...		

5. *Mes activités physiques de la vie quotidienne*

Au cours des 7 derniers jours, as-tu fait des **activités qui t'ont fait bouger, transpirer et avoir le cœur qui bat vite qui ont été utiles ou qui ont rendu service** ?

<input type="checkbox"/> OUI	<input type="checkbox"/> NON
------------------------------	------------------------------

Si tu as répondu « oui », complète le tableau suivant. Si tu as répondu « non », ce n'est pas grave, passe à la question 4.

Nom de l'activité	Nombre de fois au cours des 7 derniers jours	Durée d'une fois
...		

Annexe 5 : Matrices de corrélations bivariées de Spearman entre les variables d'intérêt de l'étude 1 pour l'ensemble des participants

Tableau 14

Matrice de corrélations bivariées de Spearman entre les variables socio-démographiques et les variables liées aux mesures des fonctions exécutives de base pour l'ensemble des participants

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<i>Variables socio-démographiques</i>																							
1 Age	.90**	-.00	-.07	.41**	.38**	.33**	.40**	-.05	-.15	-.08	-.02	.06	.30**	.29**	.20**	-.16**	-.20**	-.16*	-.17	.18*	.11	-.01	.09
2 Classe		-.02	-.09	.45**	.44**	.34**	.43**	-.07	-.16	-.03	-.07	.05	.32**	.30**	.24**	-.16*	-.24**	-.15	-.25**	.22**	.16*	-.06	.02
3 Genre			.02	-.13	-.02	-.02	-.20**	.12	.08	.04	.19*	.15	.04	-.13	-.02	.02	.02	.01	.06	.02	-.14	.06	.19*
4 Latéralité				.03	-.08	-.01	-.02	-.05	.01	-.00	-.02	.01	-.08	.04	.02	.03	-.01	.02	-.03	-.02	-.01	-.10	.07
<i>Test de Stroop</i>																							
5 Score lecture 1					.78**	.59**	.62**	-.16*	-.04	-.08	-.25**	.22**	.29**	.17*	.30**	-.26**	-.30**	-.25**	-.27**	.24**	.27**	-.02	-.01
6 Score lecture 2						.53**	.58**	-.13	-.29**	-.11	-.23**	.17*	.34**	.21**	.34**	.30**	-.34**	-.29**	-.29**	.30**	.24**	-.02	.06
7 Score dénomination 3							.57**	-.05	-.14	-.35**	-.09	.70**	.25**	.08	.24**	-.24**	-.24**	-.24**	-.17*	.22**	.20**	.05	.01
8 Score interférence 4								-.09	-.20*	-.24**	-.51**	-.14	.29**	.23**	.26**	-.27**	-.26**	-.26**	-.16*	.25**	.17*	.11	.13
9 Erreurs 1									.22**	.26**	.20*	.01	-.08	-.03	-.11	.03	.11	.03	.15	.00	-.16*	.12	.13
10 Erreurs 2										.26**	.21**	.01	-.04	-.08	-.21**	.17*	.21**	.18*	.18*	-.20**	-.12	.04	-.09
11 Erreurs 3											.25**	-.22**	.02	-.06	-.04	.08	.04	.08	-.04	-.04	.03	-.16*	-.01
12 Erreurs 4												.33**	-.09	-.13	-.15	.16*	.15	.15	.10	-.15	-.15	.02	.01
13 Interférence de Stroop													.10	.09	.12	-.10	-.12	-.12	-.10	.11	.13	-.05	-.04
<i>Tâche des blocs de Corsi</i>																							
14 Empan endroit														.35**	.30**	.26**	-.30**	-.27**	-.21**	.26**	.22**	-.04	.02
15 Empan envers															.25**	-.26**	-.25**	-.25**	-.17*	.27**	.26**	-.04	-.08
<i>WCST</i>																							

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
16 Bonnes réponses																-.80**	-	-.82**	-.79**	.91**	.73**	-.21**	.05	
																	1.00*							
17 Réponses persévératives																	.80**	.98**	.32**	-.76**	-.60**	-.04	-.11	
18 Erreurs																		.82**	.79**	-.91**	-.74**	.21**	-.05	
19 Erreurs persévératives																			.35**	-.77**	-.62**	.00	-.11	
20 Erreurs non persévératives																					-.72**	-.61**	.37**	-.00
21 Réponses conceptuelles																					.73**	-.14	.08	
22 Nombre de catégories																							-.26**	.37*
23 Nombre de cartes pour réaliser première catégorie																								.11
24 Echec maintien catégorie																								

*. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .05$

**. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .01$

Tableau 15

Matrice de corrélations bivariées de Spearman entre les variables socio-démographiques et les variables liées à la mesure de la pratique d'activité physique pour l'ensemble des participants

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
<i>Variables socio-démographiques</i>																																
1 Age	-.09	-.09	-.11	-.13	-.09	-.04	.00	-.05	-.12	-.06	-.28**	-.18*	-.26**	.01	-.16*	-.19*	.06	-.12	-.11	.06	-.08	.12	.12	.12	.12	.07	.06	-.02	.02			
2 Classe	-.12	-.16*	-.17*	-.16*	-.16	-.09	-.03	-.07	-.16*	.09	-.33**	-.23**	-.28**	-.04	-.21**	-.22**	.01	-.12	-.16*	.01	-.07	.17*	.14	.17*	.17*	.02	-.00	-.01	-.05			
3 Genre	.16*	.25**	.22**	.18*	.27**	.11	.11	.12	.25**	.20**	.02	.10	.05	.34**	.17*	.18*	.19*	.07	.36**	.24**	-.03	-.13	-.06	.09	-.12	.12	.22*	.04	.36**			
4 Latéralité	Aucun lien significatif																															

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
<i>Activité physique sportive</i>																																
5 AP sportive	.88**	.89**	.88**	.88**	.15	.14	.14	.12	.23**	.13	.11	.16*	.13	.11	.13	.08	-.00	.18*	.10	.05	.02	-.00	.03	.02	.20**	.30**	.11	.43**				
6 Durée AP sportive		.97**	.74**	.99**	.20**	.18*	.16*	.15	.29**	.14	.15	.20*	.16	.17*	.18*	.12	.05	.23**	.15	.01	.01	.02	.04	.02	.33**	.45**	.18*	.59**				
7 Fréquence AP sportive			.77**	.97**	.19*	.17*	.16*	.14	.28**	.14	.14	.18*	.16	.15	.18*	.10	.05	.23**	.13	.04	.01	.02	.03	.01	.31**	.42**	.19*	.55**				
8 Intensité AP sportive				.78**	.20*	.10	.08	.09	.20*	.07	.08	.12	.24**	.09	.14	.04	-.00	.25**	.08	.09	.05	.04	.01	.04	.16*	.23*	.11	.38**				
9 Volume AP sportive					.21**	.18*	.16*	.16*	.29**	.14	.15	.19*	.18*	.17*	.18*	.10	.05	.24**	.14	.01	.01	.02	.03	.02	.32**	.44**	.19*	.59**				
<i>Activité physique durant la récréation</i>																																
10 AP récréée					.49**	.49**	.26**	.48**	.25**	.22**	.24**	.07	.23**	.28**	.14	.26**	.21**	.15*	-.00	-.04	.09	-.10	-.03	.14	.20**	.33**	.26**					
11 Durée AP récréée						.90**	.07	.85**	.16*	.23**	.31**	-.05	.22**	.29**	.28**	.33**	.15	.27**	-.02	.06	.08	-.08	.06	.25**	.37**	.48**	.36**					
12 Fréquence AP récréée							.13	.84**	.19*	.24**	.34**	-.03	.24**	.31**	.27**	.37**	.18*	.27**	-.04	.04	.11	-.09	.04	.28**	.33**	.56**	.35**					
13 Intensité AP récréée								.22**	.78**	.65**	.61**	.06	.76**	.17*	.15	.18*	.15	.15	-.10	-.19*	-.14	.01	-.17	.20*	.24**	.13	.34**					
14 Volume AP récréée								.22**	.27**	.36**	.03	.30**	.29**	.26**	.33**	.21**	.27**	-.05	.01	.04	-.03	.01	.31**	.39**	.46**	.45**						
<i>Activité physique durant la pause méridienne</i>																																
15 AP midi									.78**	.79**	-.15	.78**	.28**	.24**	.26**	.08	.21**	-.02	-.10	-.12	-.06	-.09	.27**	.32**	.20**	.32**						
16 Durée AP midi										.85**	-.10	.98**	.26**	.29**	.30**	.09	.27**	-.07	-.05	-.07	-.11	-.04	.38**	.48**	.30**	.50**						
17 Fréquence AP midi											-.11	.84**	.25**	.27**	.31**	.08	.24**	-.11	-.05	-.08	-.04	-.02	.37**	.44**	.39**	.46**						
18 Intensité AP midi											-.05	.00	.05	.06	1.00**	.25**	.25**	-.04	.01	.11	-.09	.00	-.12	.06	.07	.24**						
19 Volume AP midi												.25**	.28**	.31**	.12	.26**	-.10	-.10	-.09	-.08	-.08	.37**	.46**	.30**	.51**							
<i>Activité physique de loisir</i>																																
20 AP de loisir															.64**	.65**	.64**	.64**	.13	.11	.05	.01	.12	.47**	.47**	.39**	.45**					
21 Durée AP loisir																.71**	.45**	.98**	.14	.20**	.13	.02	.21**	.60**	.75**	.49**	.68**					
22 Fréquence AP loisir																	.45**	.77**	.03	.13	.13	-.14	.13	.47**	.55**	.67**	.51**					
23 Intensité AP loisir																		.56**	.06	.08	.12	-.06	.08	.23**	.34**	.30**	.44**					
24 Volume AP loisir																			.12	.21**	.16*	.01	.22**	.59**	.75**	.50**	.70**					
<i>Activité physique de la vie quotidienne</i>																																
25 AP quoti																				.45**	.45**	.42**	.45**	.03	.09	.20*	.02					
26 Durée AP quoti																					.75**	.06	.99**	.32**	.38**	.50**	.23**					

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
27 Fréquence AP quoti																								.19*	.74**	.23**	.27**	.65**	.20*			
28 Intensité AP quoti																									.13	-.07	-.04	-.02	-.01			
29 Volume AP quoti																										.32**	.39**	.50**	.24**			
Activité physique globale																																
30 Atteinte des recommandations																											.79**	.53**	.73**			
31 Durée totale																												.61**	.95**			
32 Fréquence totale																													.67**			
33 Volume total																																

*. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .05$

**. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .01$

Tableau 16

Matrice de corrélations bivariées de Spearman entre les variables liées à l'évaluation des fonctions exécutives de base et les variables liées à la mesure de la pratique d'activité physique pour l'ensemble des participants

	Test de Stroop				Test blocs de Corsi				WCST											
	Score lecture 1	Score lecture 2	Score dénomination 3	Score interférence 4	Erreurs 1	Erreurs 2	Erreurs 3	Erreurs 4	Interférence Stroop	Empan droit	Empan envers	Bonnes réponses	Réponses persévératives	Erreurs	Erreurs persévératives	Erreurs non persévératives	Réponses conceptuelles	Nombre de catégories	Nombre de cartes nécessaires pour réaliser	Echec dans le maintien catégorie
Activité physique sportive																				
AP sportive	-.10	.03	-.11	-.15	.06	.17*	.08	.10	.02	.07	-.01	.04	-.09	-.04	-.08	.09	.08	.01	-.08	.06
Durée AP sportive	-.10	.02	-.14	-.19*	.08	.18*	.08	.11	.02	.06	-.05	.03	-.10	-.03	-.09	.09	.04	-.02	-.05	.11
Fréquence AP sportive	-.12	.01	-.16	-.20*	.06	.16*	.10	.09	-.01	.03	-.09	.03	-.12	-.03	-.11	.11	.04	-.02	-.03	.13
Intensité AP sportive	-.15	-.05	-.13	-.18*	0.4	.14	.07	.10	.03	.04	-.11	-.01	-.01	.01	-.02	.09	.02	-.08	-.17*	.08

	<i>Test de Stroop</i>								<i>Interférence Stroop</i>	<i>Test blocs de Corsi</i>			<i>WCST</i>										
	Score lecture 1	Score lecture 2	Score dénomination 3	Score interférence 4	Erreurs 1	Erreurs 2	Erreurs 3	Erreurs 4		Empan droit	Empan envers		Bonnes réponses	Réponses persévératives	Erreurs	Erreurs persévératives	Erreurs non persévératives	Réponses conceptuelles	Nombre de catégories	Nombre de cartes nécessaires pour réaliser	Echec dans le maintien catégorie		
Volume AP sportive	-0.11	.01	-.14	-.19*	.09	.18*	.08	.11	.02	0.6	-.07		.02	-.09	-.02	-.09	.10	.04	-.03	-.06	.12		
<i>Activité physique durant la récréation</i>																							
AP récréée	-.00	.01	.02	-.08	-.06	.12	-.09	.08	.11	.00	-.01		-.02	-.09	.03	-.10	.10	-.00	-.05	.13	-.00		
Durée AP récréée	-.06	-.05	.02	-.05	.11	.16*	-.04	.11	.09	-.01	-.11		-.04	-.00	.04	-.03	.10	.02	.02	.08	-.04		
Fréquence AP récréée	-.08	-.08	.00	-.07	.11	.12	-.07	.09	.08	.02	-.12		-.08	.01	.08	-.02	.15	.01	-.01	.07	-.03		
Intensité AP récréée	-.11	-.09	-.10	-.12	-.06	.03	-.02	.12	-.01	-.05	-.03		.13	-.10	-.13	-.09	-.09	.13	.11	.08	.01		
Volume AP récréée	-.15	-.11	-.02	-.16*	.08	.13	-.10	.17*	.15	-.07	-.13		-.02	-.03	.02	-.06	.11	.03	.04	.03	-.03		
<i>Activité physique durant la pause méridienne</i>																							
AP midi	-.17*	-.19*	-.14	-.13	.03	.12	.02	.05	-.06	-.06	-.08		.04	-.07	-.04	-.06	.01	.05	.12	.15	-.10		
Durée AP midi	-.13	-.13	-.18*	-.13	.01	-.00	.03	.05	-.11	-.05	-.09		.01	-.03	-.01	-.02	.02	.03	.04	.13	-.03		
Fréquence AP midi	-.17*	-.15	-.16*	-.18*	.05	.02	.04	.08	-.04	-.06	-.13		.03	-.07	-.03	-.07	.04	.08	.14	.13	-.13		
Intensité AP midi	.02	-.05	.05	-.10	.09	.11	.06	.11	.12	.04	-.11		.04	-.03	-.04	-.05	.00	.09	-.02	-.01	.10		
Volume AP midi	-.15	-.13	-.19*	-.15	-.01	-.02	.01	.07	.10	-.05	-.10		.04	-.04	-.04	-.03	.01	.06	.05	.10	-.11		
<i>Activité physique de loisir</i>																							
AP de loisir	-.10	-.04	.00	-.13	-.07	.04	-.06	.08	.17*	.04	-.17*		-.05	.06	.05	.06	.05	-.04	-.04	.06	.08		
Durée AP loisir	-.07	.02	.01	-.11	-.01	-.04	-.03	.05	.09	.01	-.07		.04	-.08	-.04	-.07	.02	.06	-.03	.08	.08		
Fréquence AP loisir	-.10	-.05	.02	-.12	.01	-.03	-.09	.07	.14	-.06	-.11		.03	-.02	-.02	-.03	-.01	.06	.03	.04	.00		
Intensité AP loisir	-.05	-.06	.03	-.15	.02	.09	-.02	.14	.18*	.06	-.19*		-.01	.03	.01	.01	.03	.03	-.05	.03	.13		
Volume AP loisir	-.06	.02	.02	-.12	.05	-.02	-.02	.08	.11	.03	-.10		.02	-.06	-.02	-.05	.03	.05	-.05	.08	.10		

	<i>Test de Stroop</i>	Score lecture 1	Score lecture 2	Score dénomination 3	Score interférence 4	Erreurs 1	Erreurs 2	Erreurs 3	Erreurs 4	Interférence Stroop	<i>Test blocs de Corsi</i>	Empan endroit	Empan envers	<i>WCST</i>	Bonnes réponses	Réponses persévératives	Erreurs	Erreurs persévératives	Erreurs non persévératives	Réponses conceptuelles	Nombre de catégories	Nombre de cartes nécessaires pour réaliser	Echec dans le maintien catégorie
<i>Activité physique de la vie quotidienne</i>																							
AP quoti		.01	.08	-.05	-.01	.16*	.04	.18*	.03	-.08		-.17*	-.05		-.07	.02	.06	.05	.05	-.03	.03	.03	-.09
Durée AP quoti		.15	.24**	.11	.18*	.04	-.17*	.08	-.07	-.02		.12	.05		.11	-.04	-.12	-.03	.17*	.10	.13	-.13	-.04
Fréquence AP quoti		.17*	.24**	.20*	.28**	.03	-.18*	-.01	-.11	-.02		.08	-.00		.08	-.10	-.08	-.08	-.06	.05	.07	-.11	-.02
Intensité AP quoti		.05	.13	.13	.11	.06	-.07	-.04	.01	.04		-.03	.15		.10	-.11	-.10	-.11	-.03	.10	.19*	.05	.09
Volume AP loisir		.15	.24**	.11	.18*	.04	-.17*	.08	-.06	-.01		.13	.06		.13	-.05	-.13	-.04	-.18*	.11	.16*	-.12	-.06
<i>Activité physique globale</i>																							
Atteinte des recommandations		-.03	.05	-.04	-.10	-.08	-.03	-.08	.08	.07		.02	-.07		.08	-.11	-.08	.09	.02	.03	-.02	.00	.03
Durée totale		-.06	.05	-.03	-.13	.00	-.02	.01	.08	.07		.03	-.09		.06	-.08	-.06	-.07	-.00	.05	-.03	.03	.10
Fréquence totale		-.01	.08	.09	.05	.06	-.09	-.06	.01	.06		-.04	-.16*		.05	-.06	-.05	-.07	-.02	.07	.07	-.02	-.05
Volume total		-.12	.01	-.07	-.20*	.03	.02	-.00	.14	.09		.04	-.13		.04	-.08	-.04	-.07	.04	.05	-.06	.03	.13

*. Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .05$

** . Significativité bilatérale de la corrélation $p \leq .01$

Annexe 6 : Distribution des résultats de l'étude 2 au premier temps de mesure pour le test de Stroop et les blocs de Corsi

Figure 60

Boîte à moustache résumant la distribution des scores à T1 pour l'ensemble de l'échantillon aux quatre épreuves du test de Stroop

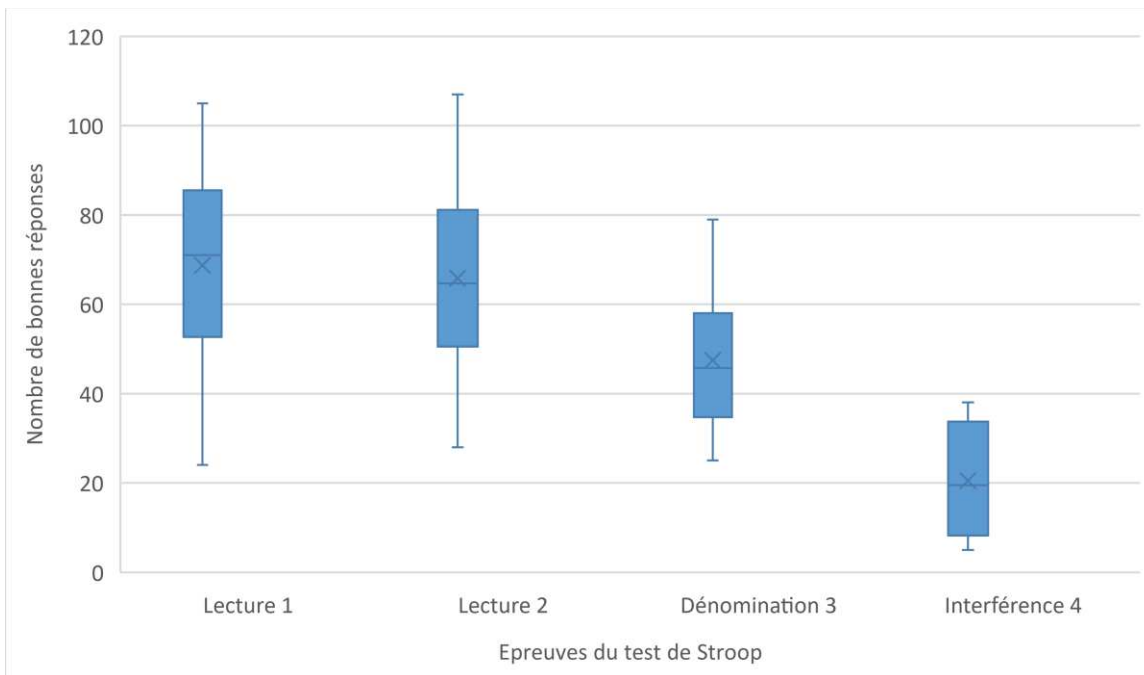
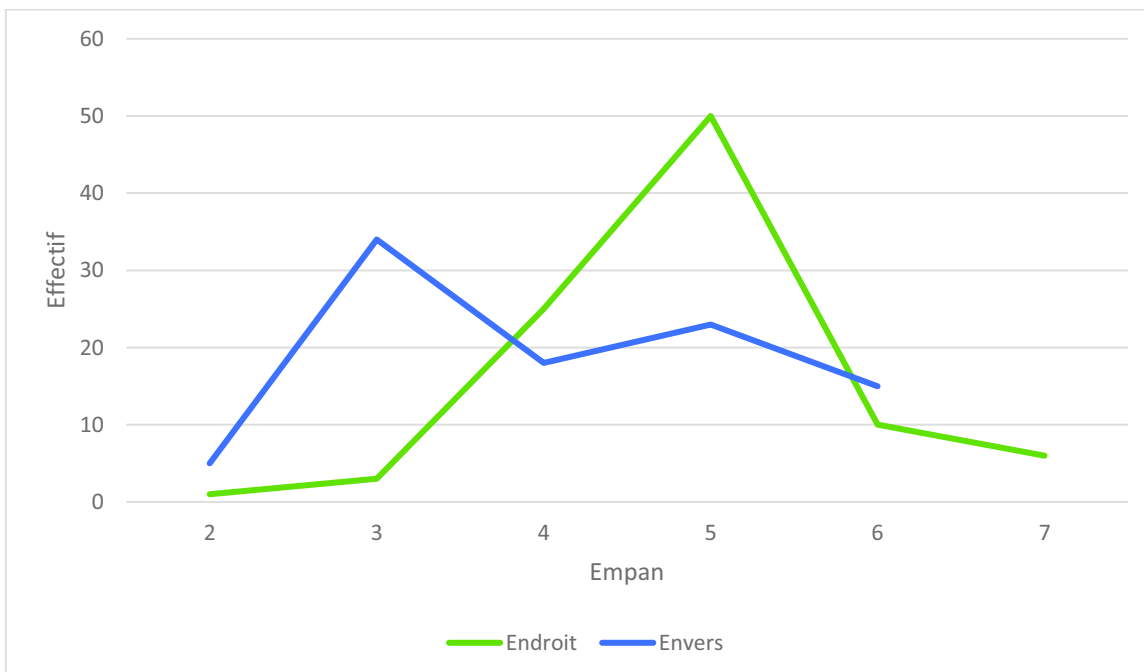


Figure 61

Distribution en effectif de l'empan endroit (MCT) et envers (MDT) à la tâche des blocs de Corsi



Annexe 7 : Statistiques descriptives des données de l'étude 2 au second temps de mesure T2

Variables	Moyenne	Ecart-type	Q1	Médiane	Q3	Espace interquartiles	P test de normalité ^a
Test de Stroop							
Score de lecture 1	72,95	12,31	67	76	80	13	,03
Score de lecture 2	64,69	12,12	58	63	73	15	,20*
Score de dénomination 3	45,33	9,21	38	45	52	14	,20*
Score d'interférence 4	24,78	6,41	20	24	28	8	,09*
Interférence de Stroop	20,54	7,27	15	20	26	11	,20*
Tâche des blocs de Corsi							
Empan endroit	5,04	,81	5	5	6	1	,000
Empan envers	4,22	1,25	3	4	5	2	,000
Test des cartes du Wisconsin							
Nombre de bonnes réponses	52,25	3,60	50	53	55	5	,000
Nombre d'erreurs	11,78	3,63	9	11	14	5	,000
Nombre de réponses persévératives	6,99	2,74	5	6	9	4	,000
Nombre d'erreurs persévératives	6,59	2,19	5	6	8	3	,000
Nombre d'erreurs non persévératives	5,19	2,36	4	5	6	2	,000
Nombre de réponses conceptuelles	48,51	5,00	46	50	52	6	,003
Nombre de catégories	3,91	,84	3	4	4	1	,000
Nombre de cartes pour réaliser la première catégorie	12,32	4,57	10	11	12	2	,000
Echec dans le maintien d'une stratégie	,75	,84	0	1	1	1	,000
Activité physique							
Durée totale	399,82	259,01	164,50	385	553	388,50	,20*
Volume total	2443,18	1768,10	999,40	2162	3469,95	2470,55	,04
Performance académique							
Français / classe	3,26	1,19	2	3	4	2	,000
Français / national	2,53	1,18	1	3	3,5	2,5	,000
Mathématiques / classe	3,43	1,27	2	3	5	3	,000
Mathématiques / national	2,51	1,26	2	3	4	2	,000
Qualité de vie à l'école							
QDV à l'école	88,57	15,91	78,5	91	100	21,5	,01

Variables	Moyenne	Ecart-type	Q1	Médiane	Q3	Espace interquartiles	P test de normalité ^a
Relation enseignant	21,50	4,67	20	23	26	6	,003
Relation pairs	28,38	5,62	25	29	33	8	,003
Environnement	12,87	3,39	10,75	13	16	5,25	,053*
Satisfaction	24,81	5,19	21,75	26	29	7,25	,01

*a, Test de Kolmogorov-Smirnov avec correction de Lilliefors, *, distribution normale des données de la variable*

L'évolution entre T1 et T2 a été évaluée à l'aide du test non-paramétrique de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés. L'ensemble de l'échantillon a été pris en compte dans les analyses.

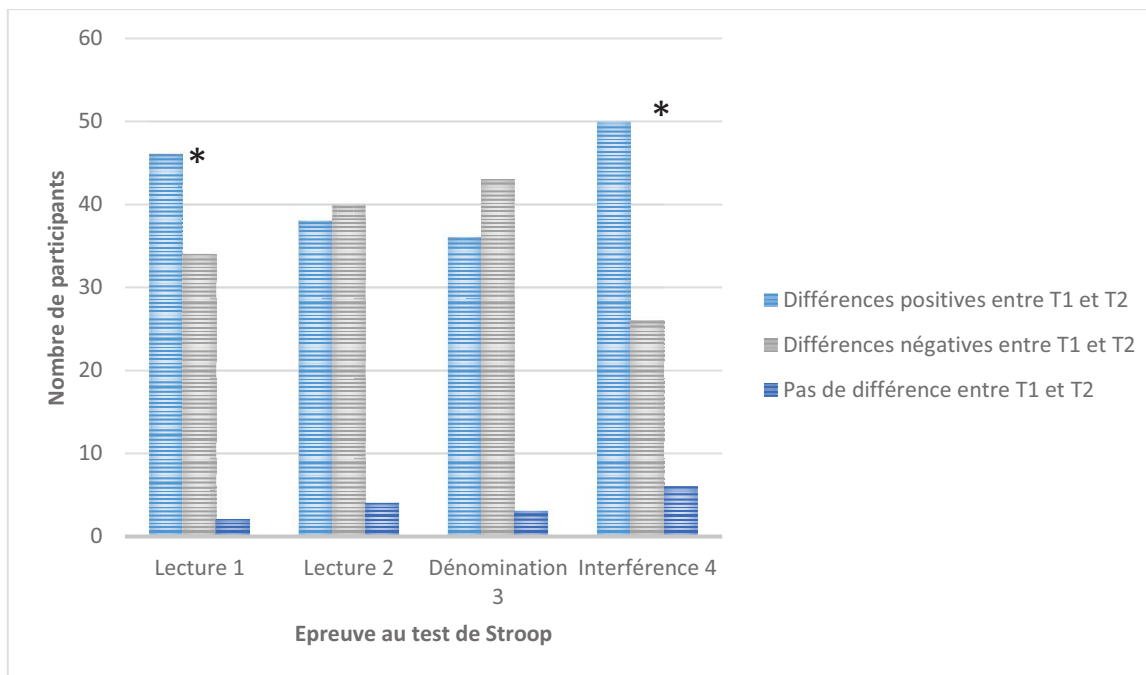
Evolution des fonctions exécutives

Test de Stroop. Pour la tâche de lecture 1 du teste de Stroop, les participants lisaient correctement davantage de mots en 45 secondes à T2 (Mdn = 75,5) qu'à T1 (Mdn = 73), $Z = 2,30$, $p = ,02$. Aucune différence significative n'a pu être observée entre T1 et T2 à la tâche de lecture 2, ni à la tâche de dénomination 3, respectivement, $p = ,65$ et $p = ,62$. A la tâche d'interférence 4, les participants ont rapporté plus de réponses correctes à T2 (Mdn = 24) qu'à T1 (Mdn = 21), $Z = 4,50$, $p < ,001$ (voir figure 62).

Le score d'interférence de Stroop calculé à partir de la différence entre le score à l'épreuve dénomination 3 et celui de l'épreuve interférence 4 a significativement diminué entre T1 (Mdn = 24) et T2 (Mdn = 20), $Z = -3,50$, $p < ,001$.

Figure 62

Différences entre T1 et T2 aux épreuves du test de Stroop pour l'ensemble des participants

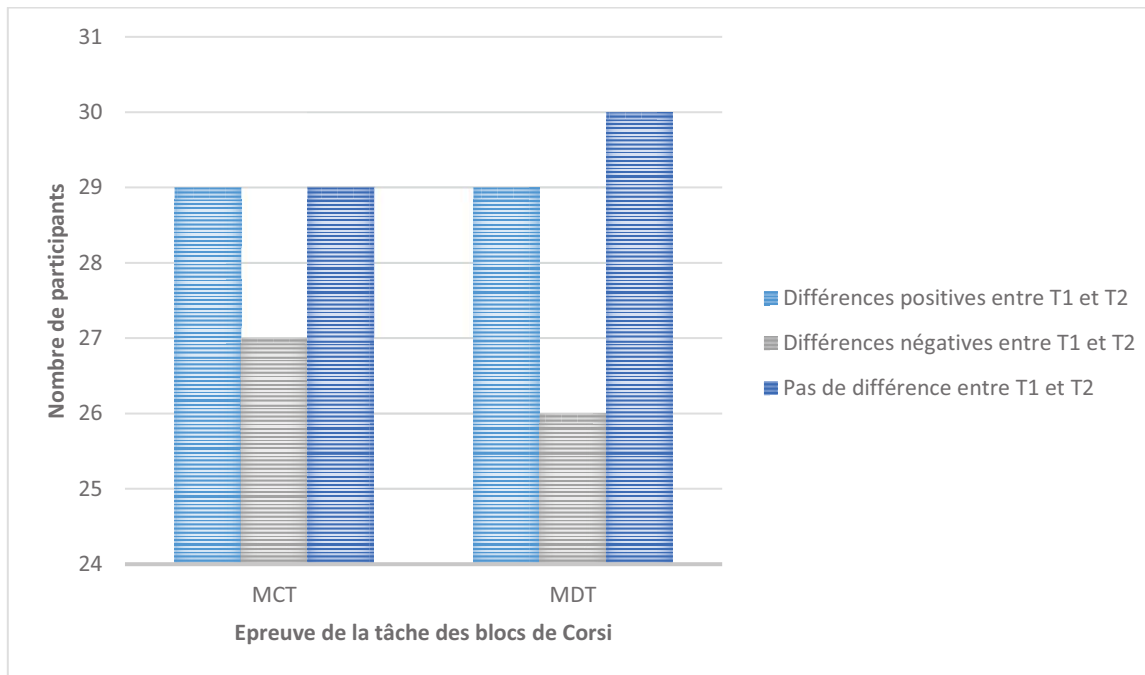


* différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.

Tâche des blocs de Corsi. Les résultats aux tests n'ont pas révélé de différence entre le nombre de cubes correctement rappelés à l'endroit à T1 et à T2 (Mdn = 5) ni à l'envers (Mdn = 4) (voir figure 63), respectivement, $p = ,42$ et $p = ,28$.

Figure 63

Différences entre T1 et T2 aux épreuves du tâche des blocs de Corsi pour l'ensemble des participants



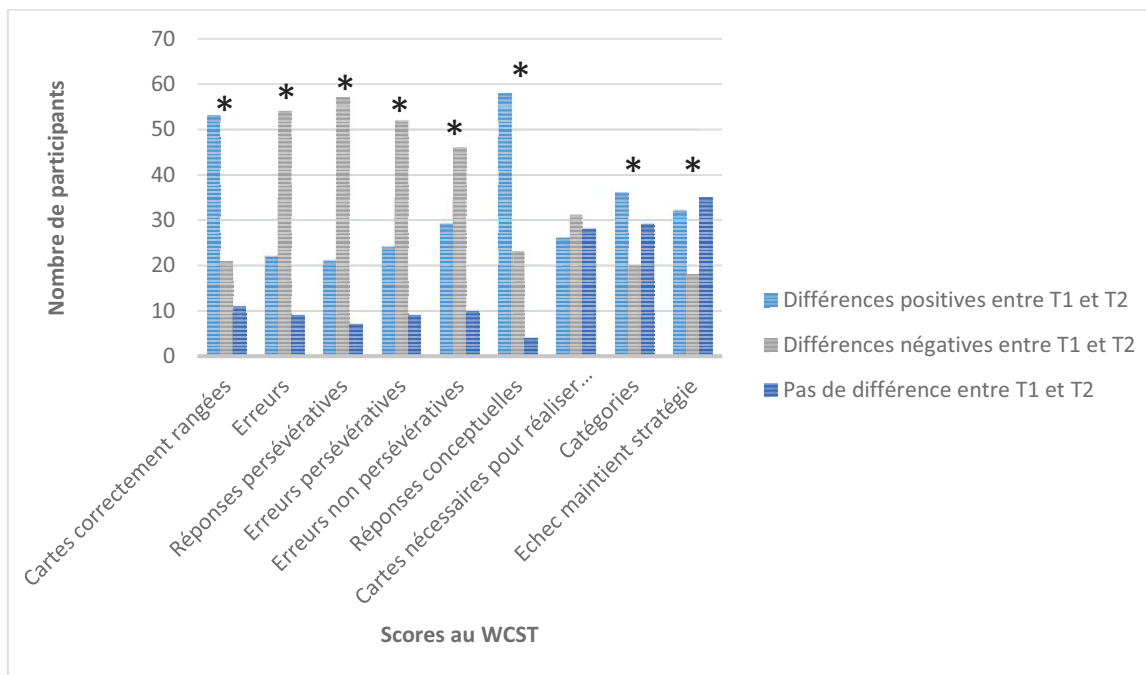
WCST. Des différences significatives entre les résultats obtenus à T1 et à T2 ont été observées pour l'ensemble des mesures en lien avec le WCST à l'exception du nombre de cartes nécessaires pour réaliser la première catégorie (voir figure 64), $p = ,80$.

Les participants rangeaient davantage de cartes correctement à T2 (Mdn = 53) qu'à T1 (Mdn = 51), $Z = 4,05$, $p < ,001$; ils produisaient davantage de réponses conceptuelles à T2 (Mdn = 50) qu'à T1 (Mdn = 47), $Z = 4,10$, $p < ,001$; et réalisaient davantage de catégories à T2 (Mdn = 4) qu'à T1 (Mdn = 4), $Z = 2,02$, $p = ,04$.

Le nombre d'erreurs et de persévérations a diminué entre T1 et T2 : les participants produisaient significativement moins d'erreurs (toute nature confondue) (Mdn_{T1} = 13, Mdn_{T2} = 11), $Z = -4,02$, $p < ,001$; significativement moins d'erreurs persévératives (Mdn_{T1} = 8, Mdn_{T2} = 6), $Z = -4,18$, $p < ,001$ et significativement moins d'erreurs non persévératives (Mdn_{T1} = 5, Mdn_{T2} = 5), $Z = -1,96$, $p = ,05$. Le nombre de réponses persévératives diminuait (Mdn_{T1} = 8, Mdn_{T2} = 6), $Z = -4,63$, $p < ,001$, et correspondait sensiblement au nombre d'erreurs persévératives. Nous avons cependant relevé une augmentation dans le nombre d'échecs dans le maintien d'une stratégie de rangement des cartes entre T1 (Mdn = 0) et T2 (Mdn = 1), $Z = 1.96$, $p = ,05$.

Figure 64

Différences entre T1 et T2 aux épreuves du WCST pour l'ensemble des participants



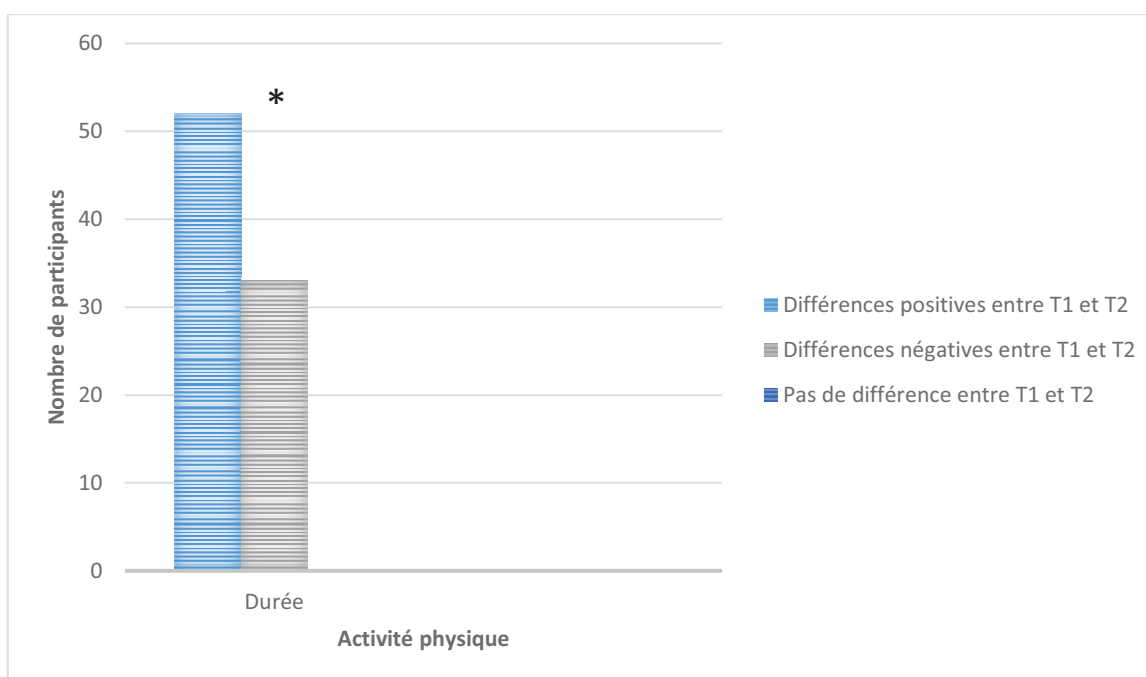
* différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.

Evolution de la pratique d'activité physique

Les résultats au test de rang signé de Wilcoxon ont montré que les participants étaient actifs plus longtemps à T2 qu'à T1 (Mdn_{T1} = 260 min, Mdn_{T2} = 406), $Z = 2,75$, $p = ,01$. (voir figure 65).

Figure 65

Différences de pratique d'activité physique entre T1 et T2 pour l'ensemble des participants



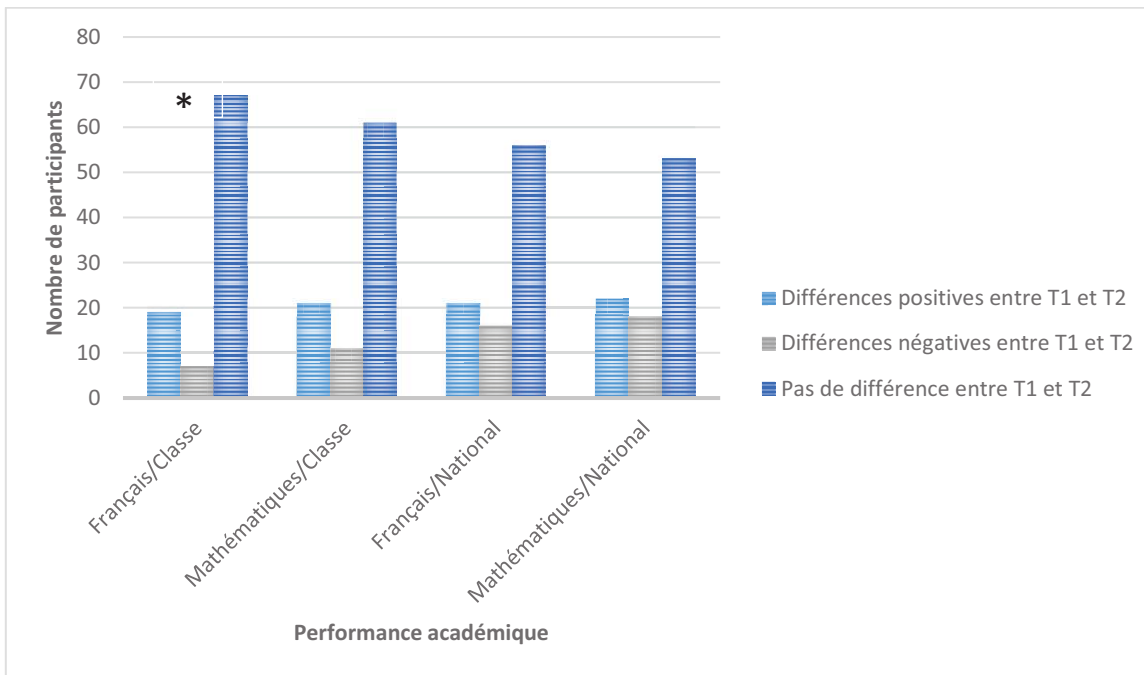
* différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.

Evolution du niveau scolaire

Les résultats au test de rang signé de Wilcoxon ont montré que la performance académique des participants par rapport au niveau moyen de la classe en français avait augmenté entre T1 (Mdn = 3) et T2 (Mdn = 3), $Z = 2,35$, $p = ,02$. Nous observons un pattern de résultats similaire en mathématiques, mais la différence n'est que tendancielle, $p = ,51$. Aucune différence significative n'a pu être observée entre T1 et T2 pour la performance académique des élèves en français et en mathématiques par rapport au niveau attendu nationalement à ce stade de l'année scolaire, respectivement, $p = ,45$ et $p = ,45$ (voir figure 66).

Figure 66

Différences de performance académique entre T1 et T2 pour l'ensemble des participants



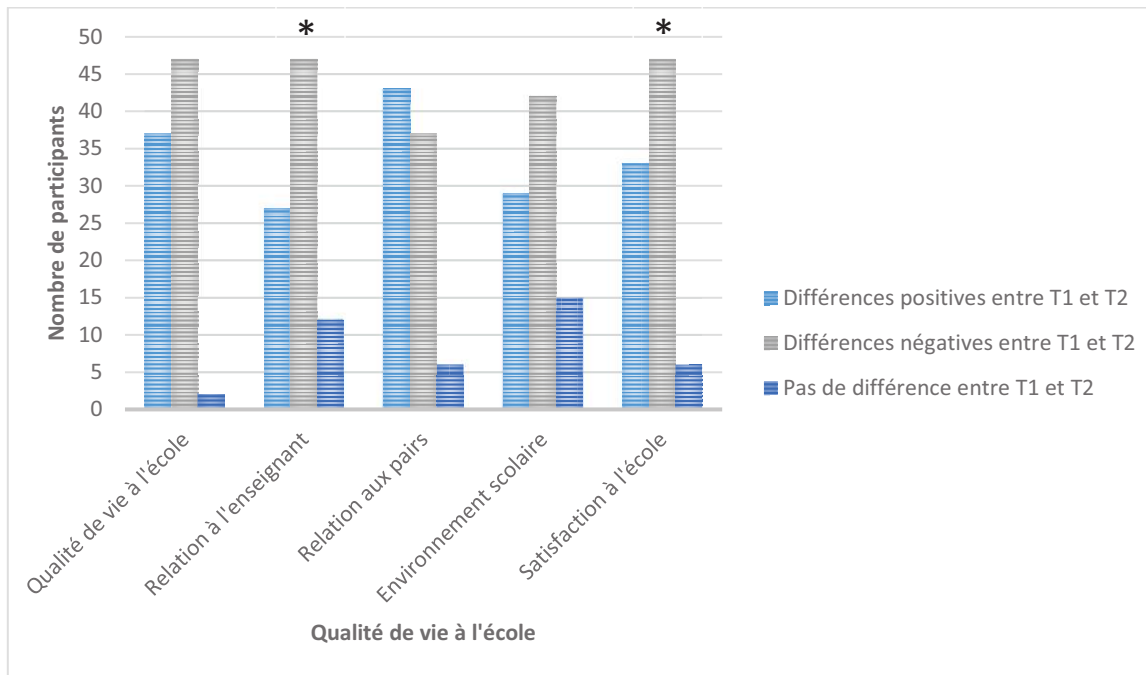
* différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.

Evolution de la qualité de vie à l'école

Les résultats au test de rang signé de Wilcoxon n'ont pas mis en avant de différence entre T1 et T2 pour le niveau global de QDV à l'école, $p = ,14$. (voir figure 67). Parmi les sous-dimensions de l'échelle QoLS-fr, les résultats mettaient en avant une baisse significative de la relation à l'enseignant (Mdn_{T1} = 25, Mdn_{T2} = 23) et de la satisfaction à l'école (Mdn_{T1} = 28, Mdn_{T2} = 26) entre T1 et T2, respectivement $Z = -2,49$, $p = ,01$ et $Z = -2,30$, $p = ,02$. Aucune différence entre T1 et T2 n'a été mise en avant concernant la relation aux pairs et l'environnement scolaire, respectivement $p = ,76$ et $p = ,21$.

Figure 67

Différences de qualité de vie à l'école entre T1 et T2 pour l'ensemble des participants



** différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.*

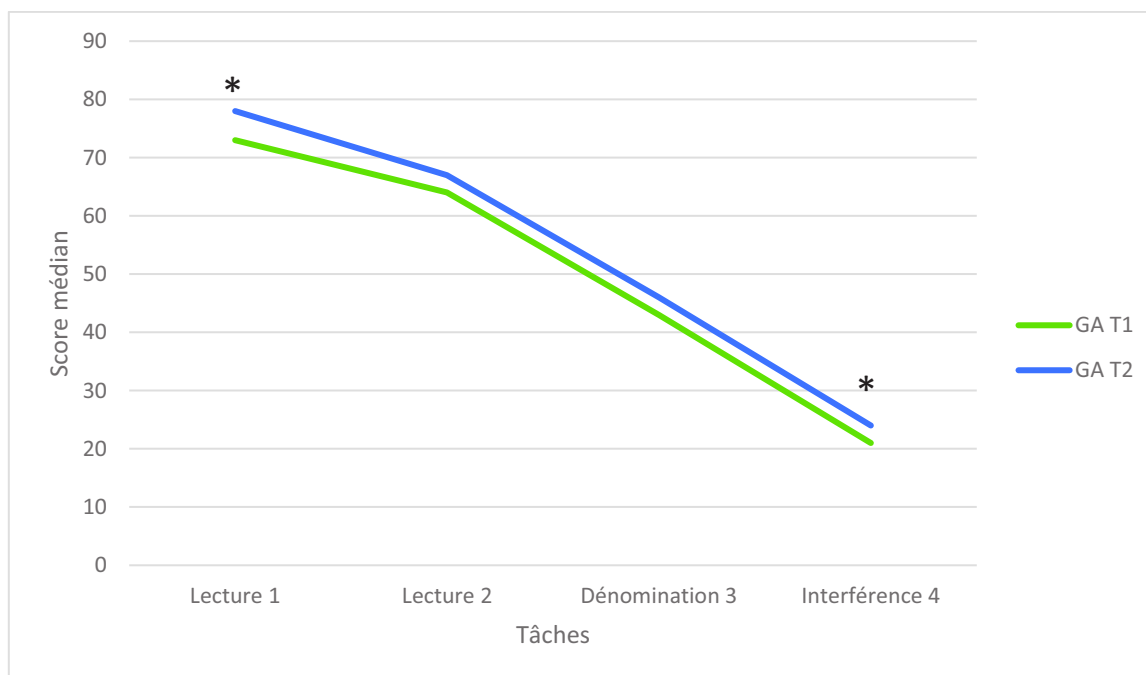
Evolution des fonctions exécutives en fonction du groupe

Test de Stroop. Les résultats des tests de comparaison des scores obtenus à T2 ont montré que les participants du GA (Mdn = 78) lisaient significativement plus de mots à la tâche de lecture 1 que ceux du GC (Mdn = 71), $U = 1061,00$, $Z = 1,98$, $p = ,05$. Les résultats n'ont pas permis de rejeter H_0 pour les autres scores du test de Stroop entre le GA et le GC à T2, $,24 < p < ,70$. Les participants du GA et du GC ont eu des scores comparables aux tâches lecture 2, dénomination 3, interférence 4 ainsi qu'au score d'interférence de Stroop. Nous n'avons pas identifié de différence liée au genre aux résultats obtenus au test de Stroop à T2, $p < ,05$.

Les scores des participants du GA ont augmenté significativement entre T1 et T2 aux tâches de lecture 1 (Mdn $T_1 = 73$, Mdn $T_2 = 78$) et interférence 4 (Mdn $T_1 = 21$, Mdn $T_2 = 24$), respectivement, $Z = 3,50$, $p < ,001$ et $Z = 3,43$, $p = ,001$. En revanche, aucune différence significative entre T1 et T2 n'a été observée pour le GA aux tâches de lecture 2, dénomination 3 et pour le score d'interférence de Stroop, $,12 < p < ,64$ (voir figure 68).

Figure 68

Scores médians aux tâches du test de Stroop pour le GA en fonction du temps de mesure

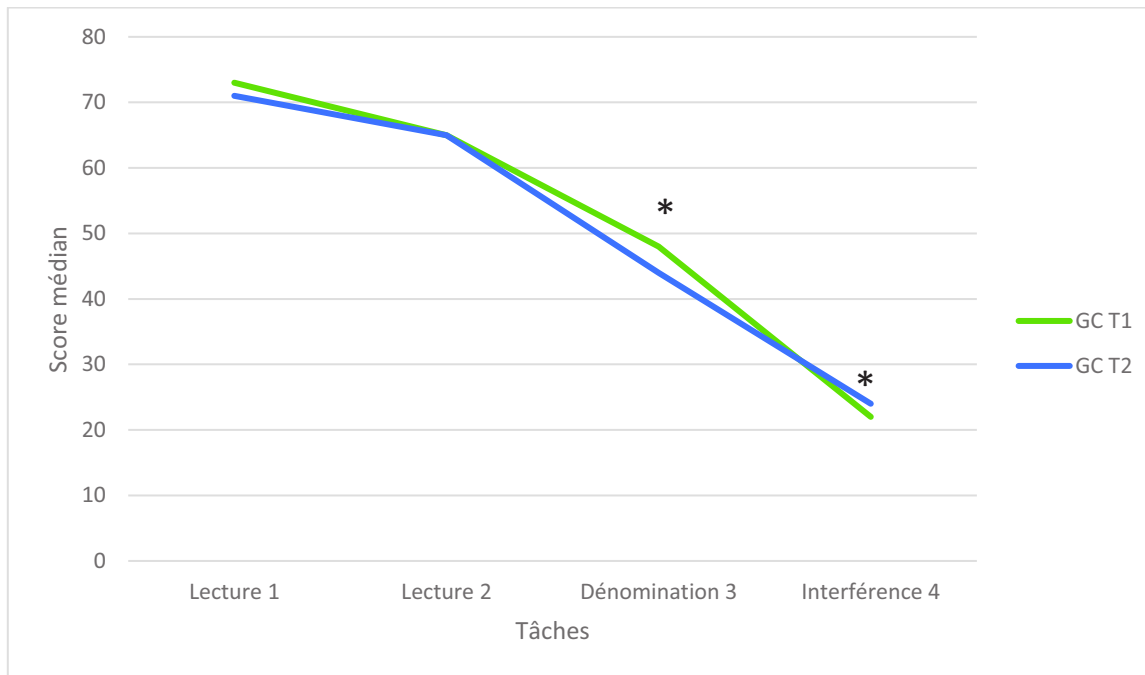


* $p < ,05$.

Les scores des participants du GC ont diminué significativement entre T1 et T2 à la tâche de dénomination 3 (Mdn $T_1 = 48$, Mdn $T_2 = 44$) et au score d'interférence de Stroop (Mdn $T_1 = 26$, Mdn $T_2 = 20$), Respectivement, $Z = -2,17$, $p = ,03$ et $Z = -3,52$, $p < ,001$. Le score des participants du GC a augmenté significativement entre T1 et T2 à la tâche d'interférence 4 (Mdn $T_1 = 22$, Mdn $T_2 = 24$), $Z = 2,73$, $p = ,006$. Les deux tâches de lecture 1 et 2 n'ont pas montré de différence significative entre T1 et T2 pour le GC, $p = ,35$ et $p = ,13$ (voir figure 69).

Figure 69

Scores médians aux tâches du test de Stroop pour le GC en fonction du temps de mesure



* $p < ,05$.

Nous avons comparé le différentiel de scores entre T1 et T2 pour le GA et le GC (tableau 17). Les résultats ont montré qu'entre T1 et T2, le GA montrait un changement plus important que le GC à la tâche de lecture 1, dénomination 3 et au score d'interférence de Stroop, respectivement $p = ,002$, $p = ,004$, $p = ,01$. Il n'y avait pas de différence entre les groupes en tâche de lecture 2 et d'interférence 4.

Tâche des blocs de Corsi. Les résultats des tests de comparaison des performances à T2 n'ont pas permis de rejeter H_0 pour les tâches d'empan endroit (Mdn = 5) et envers (Mdn = 4) entre le GA et le GC à T2, $p > ,80$. Les groupes étaient statistiquement équivalents à T2 en performance de MCT. Les résultats aux tests de comparaison des performances en fonction du genre n'ont pas pu rejeter H_0 , $p > ,05$.

Les participants du GA ont eu des performances similaires aux deux temps de mesure T1 et T2 en tâche d'empan endroit (Mdn = 5) et en tâche d'empan envers (Mdn = 4), respectivement $p = ,36$ et $p = ,53$. Le même pattern de résultats a été observé pour le GC : la distribution des performances du GC était statistiquement identique entre T1 et T2 en empan endroit (Mdn = 5) et en empan envers (Mdn = 4). L'analyse de comparaison du différentiel des performance entre T1 et T2 entre le GA et le GC n'a pas permis de rejeter H_0 .

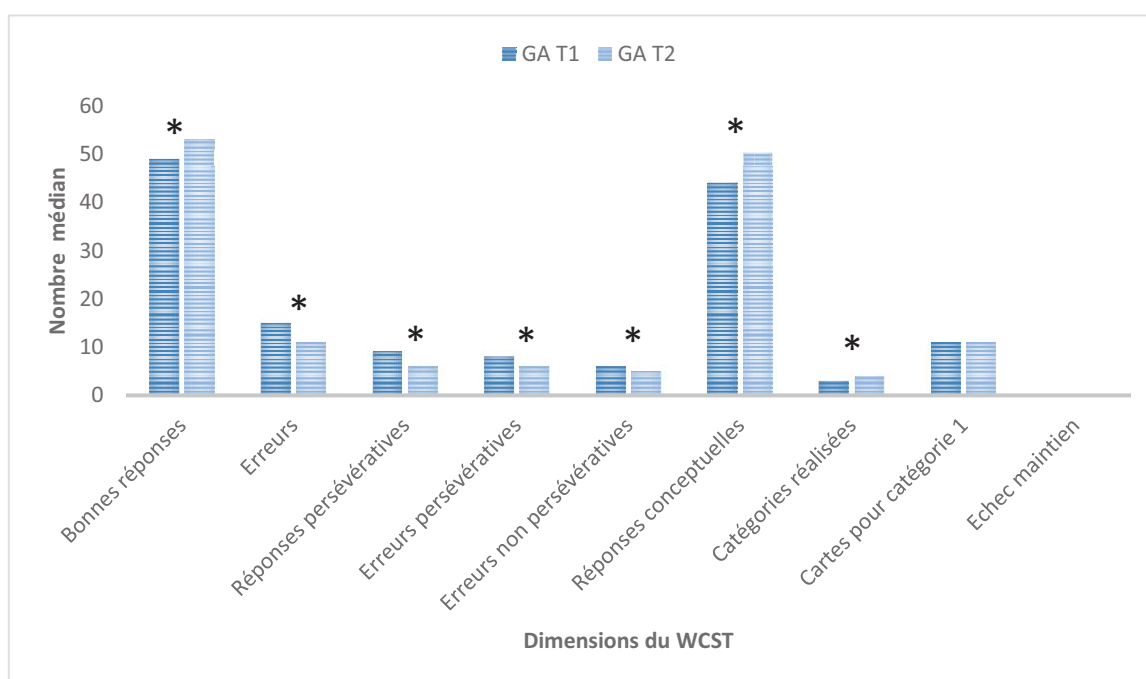
WCST. Les résultats des tests de comparaison des scores obtenus à T2 ont montré que les performances au WCST étaient similaires entre le GA et le GC, $p > ,50$. Cependant, le nombre d'échecs dans le maintien d'une stratégie avait tendance à être plus important dans le GC par rapport au GA, $p = ,07$. Nous n'avons pas identifié de différence liée au genre aux résultats obtenus au WCST à T2, $p > ,05$. Toutefois, les analyses ont révélé des différences liées au genre au WCST à T2 dans le GC uniquement : les garçons (Mdn = 5,5) faisaient plus d'erreurs non persévératives que les filles

(Mdn = 4), $U = 233,00$, $Z = 2,28$, $p = ,02$; et les garçons (Mdn = 11) avaient besoin de davantage de cartes pour réaliser la première catégorie que les filles (Mdn = 10), $U = 220,50$, $Z = 2,07$, $p = ,05$.

Les scores des participants du GA au WCST ont augmenté significativement entre T1 et T2 pour le nombre de cartes correctement rangées (Mdn $T_1 = 49$, Mdn $T_2 = 53$), le nombre de réponses conceptuelles (Mdn $T_1 = 44$, Mdn $T_2 = 50$) et le nombre de catégories conceptuelles réalisées (Mdn $T_1 = 3$, Mdn $T_2 = 4$), respectivement, $Z = 4,27$, $p < ,001$; $Z = 3,93$, $p < ,001$ et $Z = 2,52$, $p = ,01$. Les scores des participants du GA au WCST ont diminué significativement entre T1 et T2 pour le nombre total d'erreurs (Mdn $T_1 = 15$, Mdn $T_2 = 11$), le nombre de réponses persévératives (Mdn $T_1 = 9$, Mdn $T_2 = 6$), le nombre d'erreurs persévératives (Mdn $T_1 = 8$, Mdn $T_2 = 6$) et le nombre d'erreurs non persévératives (Mdn $T_1 = 6$, Mdn $T_2 = 5$), respectivement $Z = -5,97$, $p < ,001$; $Z = -3,84$, $p < ,001$; $Z = -3,93$, $p < ,001$ et $Z = -2,79$, $p = ,005$ (voir figure 70).

Figure 70

Scores médians au WCST du groupe action en fonction de la dimension étudiée et du temps de mesure

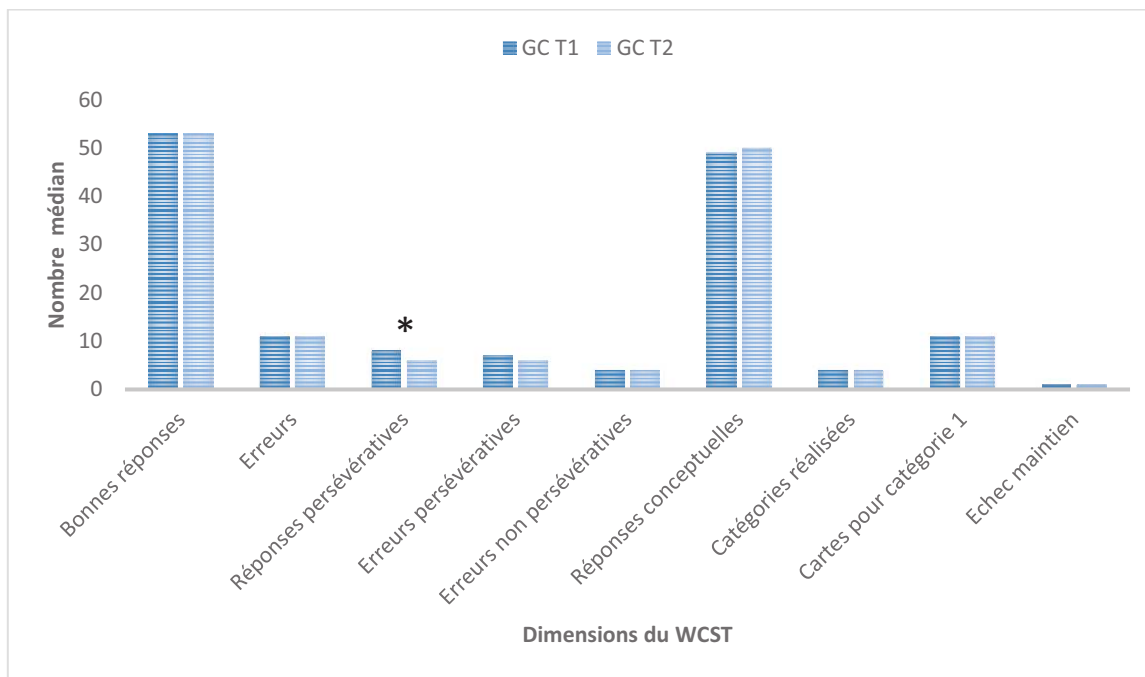


* $p < ,05$.

Les performances des participants du GC au WCST n'ont majoritairement pas changé entre T1 et T2. Seul le nombre de réponses persévératives (Mdn $T_1 = 8$, Mdn $T_2 = 6$) a diminué significativement entre T1 et T2, $Z = -2,76$, $p = ,006$. Cependant, le nombre d'erreurs persévératives a eu tendance à diminuer, $p = ,06$ et le nombre de réponses conceptuelles et le nombre d'échecs dans le maintien d'une stratégie de rangement des cartes ont augmenté de façon tendancielle, $p = ,06$ (voir figure 71).

Figure 71

Scores médians au WCST du groupe contrôle en fonction de la dimension étudiée et du temps de mesure



* $p < ,05$.

Nous avons comparé le différentiel de scores entre T1 et T2 pour le GA et le GC (tableau 17). Les résultats ont montré qu'entre T1 et T2, le GA avait davantage augmenté le nombre de cartes correctement rangées, $U = 1228,00$, $Z = 3,03$, $p = ,002$, et le nombre de catégories réalisées que le GC, $U = 1138,00$, $Z = 2,31$, $p = ,02$. Aussi, les participants du GA ont davantage réduit le nombre d'erreurs totales produites, $U = 559,00$, $Z = -2,93$, $p = ,003$, le nombre d'erreurs non persévératives, $U = 615,5$, $Z = -2,43$, $p = ,02$, et le nombre de cartes nécessaires pour réaliser la première catégorie, $U = 670$, $Z = -1,97$, $p = ,05$, que ceux du GC. Le GA avait aussi tendance à davantage réduire son nombre d'erreurs persévératives que le GC, $p = ,08$, et à davantage augmenter son nombre de réponses conceptuelles que le GC, $p = ,07$.

Tableau 17

Changement dans les scores aux tests d'efficience des fonctions exécutives entre T1 et T2 dans le groupe action et le groupe contrôle

	Changement Groupe Action (Mdn)	Changement Groupe Contrôle (Mdn)	p-valeur ^a
Test de Stroop			
Lecture 1	6	-2	,002*
Lecture 2	1	-1	,27
Dénomination 3	2	-4	,004*
Interférence 4	3	2	,54
Interférence de Stroop	0	-6	,01*
Blocs de Corsi			
Empan endroit	0	0	,49
Empan envers	0	0	,80
WCST			

Nb de cartes correctement rangées	4	0	,002*
Nb d'erreurs	-4	0	,003*
Nb de réponses persévératives	-2	-2	,22
Nb d'erreurs persévératives	-1	-1	,08
Nb d'erreurs non persévératives	-1	0	,02*
Nb de réponses conceptuelles	4	3	,07
Nb de catégories	1	0	,02*
Nb de cartes pour réaliser la première catégorie	0	0	,05*
Echec dans le maintien d'une stratégie	0	0	,45

a : p-valeur au test non paramétrique U de Mann et Whitney.

* : $p < ,05$.

Evolution de la performance académique en fonction du groupe

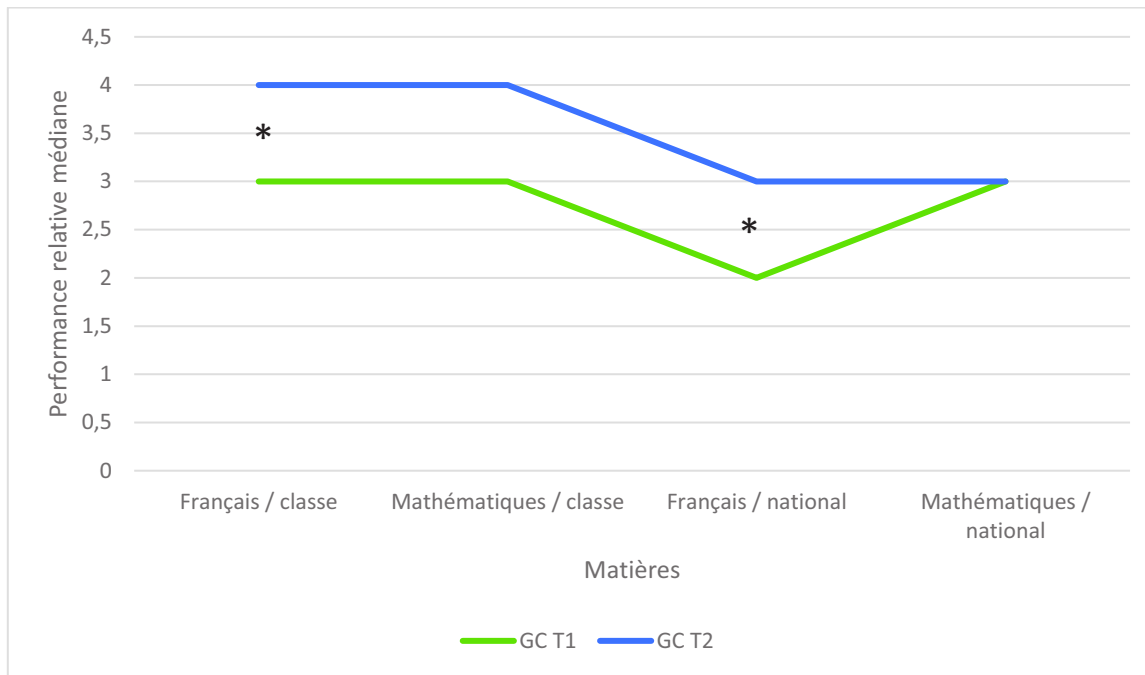
Les résultats des tests de comparaison des performances à T2 n'ont pas permis de rejeter H0 pour la performance académique, dans chacune des quatre variables étudiées, entre le GA et le GC, $p > ,30$. Les résultats aux tests de comparaison en fonction du genre ont montré que les garçons étaient positionnés plus haut que les filles par rapport au niveau moyen de la classe ($Mdn_{\text{garçons}} = 4$, $Mdn_{\text{filles}} = 3$) en mathématiques à T2 et au niveau moyen national attendu à ce stade de la scolarité ($Mdn_{\text{garçons}} = 3$, $Mdn_{\text{filles}} = 3$) en mathématiques à T2, respectivement $U = 1439,00$, $Z = 3,08$, $p = ,002$ et $U = 1381,5$, $Z = 2,61$, $p = ,009$. Les analyses intra groupe ont montré que seul le GC admettait des différences significatives liées au genre en mathématiques par rapport au niveau moyen de la classe, $p = ,007$, et par rapport au niveau moyen national, $p = ,01$. Elles ne sont que tendanciennes dans le GA, $p = ,06$ pour la performance en mathématiques par rapport à la classe et $p = ,10$ pour la performance en mathématiques par rapport au niveau moyen national. Aucune différence liée au genre n'a pu être repérée en français, $p > ,45$.

Les participants du GA ont eu des performances similaires aux deux temps de mesure T1 et T2 quant à la position de leur performance en français et en mathématiques par rapport au niveau moyen de leur classe, $p > ,18$; ainsi que quant à la position de leur performance en français et en mathématiques par rapport au niveau moyen attendu à ce stade de l'année nationalement, $p > ,36$.

Les participants du GC ont connu une augmentation significative de la position de leur performance académique en français entre T1 et T2 tant par rapport au niveau moyen de leur classe, $Z = 2,71$, $p = ,007$, que par rapport au niveau attendu nationalement, $Z = 2,50$, $p = ,01$. Aucune différence entre T1 et T2 n'a pu être observée en mathématiques pour le GC, $p > ,16$ (voir figure 72).

Figure 72

Performance académique médiane dans le GC en fonction de la matière et du temps de mesure



* $p < ,05$.

L'analyse de comparaison du différentiel des performances entre T1 et T2 entre le GA et le GC a révélé que le GC avait davantage augmenté sa performance académique en français par rapport au niveau national que le GA, $U = 220,00$, $Z = -2,52$, $p = ,01$ et de manière tendancielle par rapport au niveau moyen de la classe, $p = ,053$. Les analyses de comparaison montrent que les deux groupes ont évolué de façon similaire en mathématiques, $p > ,16$ (voir tableau 18).

Tableau 18

Changement dans la performance académique entre T1 et T2 dans le groupe action et le groupe contrôle

	Changement Groupe Action	Changement Groupe Contrôle	p-valeur ^a
Performance académique par rapport au niveau moyen de la classe			
Français	0	0	,053
Mathématiques	0	0	,78
Performance académique par rapport au niveau moyen national			
Français	0	0	,01*
Mathématiques	0	0	,16

a : p-valeur au test non paramétrique U de Mann et Whitney.

* : $p < ,05$.

Evolution de la pratique d'activité physique en fonction du groupe

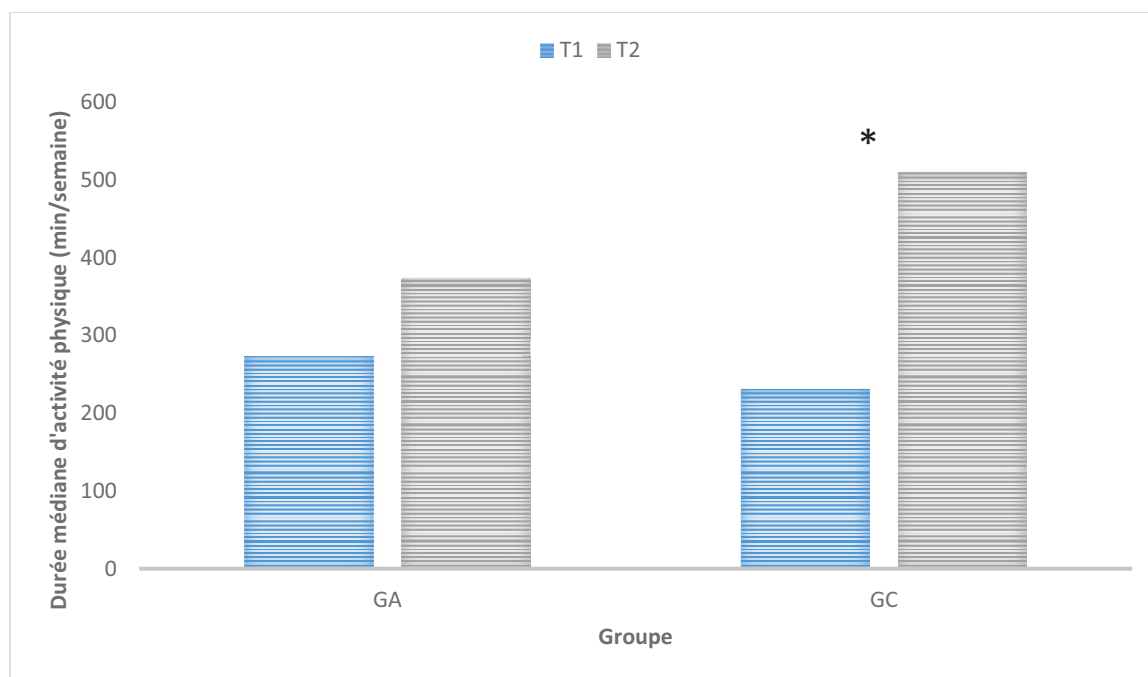
Les résultats des tests de comparaison de la durée de pratique d'AP à T2 entre le GA et le GC n'ont pas permis de rejeter H_0 , $p = ,23$. La durée de pratique d'AP à T2 est statistiquement semblable entre les deux groupes. Les comparaisons selon le genre des participants ont montré que les garçons (Mdn = 445) avaient une durée de pratique d'AP plus importante que celle des filles (Mdn = 342) à T2, $U = 1155,00$, $Z = 2,00$, $p = ,05$. Les analyses de comparaison

intra-groupe ont révélé que, dans le GA, les garçons avaient tendance à avoir une durée de pratique d'AP plus importante que les filles, $p = ,10$. Dans le GC, il n'y avait pas de différence liée au genre dans la durée de pratique d'AP à T2, $p = ,30$.

Les participants du GA n'ont pas présenté de différence significative dans leur durée de pratique entre T1 et T2, $p = ,27$. La durée d'AP (Mdn $T_1 = 230$, Mdn $T_2 = 510$) des participants du GC a augmenté significativement entre T1 et T2, $Z = 2,75$, $p = ,006$ (voir figure 73).

Figure 73

Durée d'activité physique hebdomadaire médiane en fonction du groupe et du temps de mesure



* différence significative entre T1 et T2 au test de rang signé de Wilcoxon à échantillons associés.

L'analyse de comparaison du différentiel de la durée de pratique d'AP entre T1 et T2 entre le GA et le GC a montré que les deux groupes avaient évolué de manière similaire avec une tendance à l'augmentation du temps de pratique, $p = ,14$ (voir tableau 19).

Tableau 19

Changement dans la pratique d'activité physique entre T1 et T2 dans le groupe action et le groupe contrôle

	Changement Groupe Action	Changement Groupe Contrôle	p-valeur ^a
Durée	80	125	,14

^a : p-valeur au test non paramétrique U de Mann et Whitney.

* : $p < ,05$.

Evolution de la qualité de vie à l'école en fonction du groupe

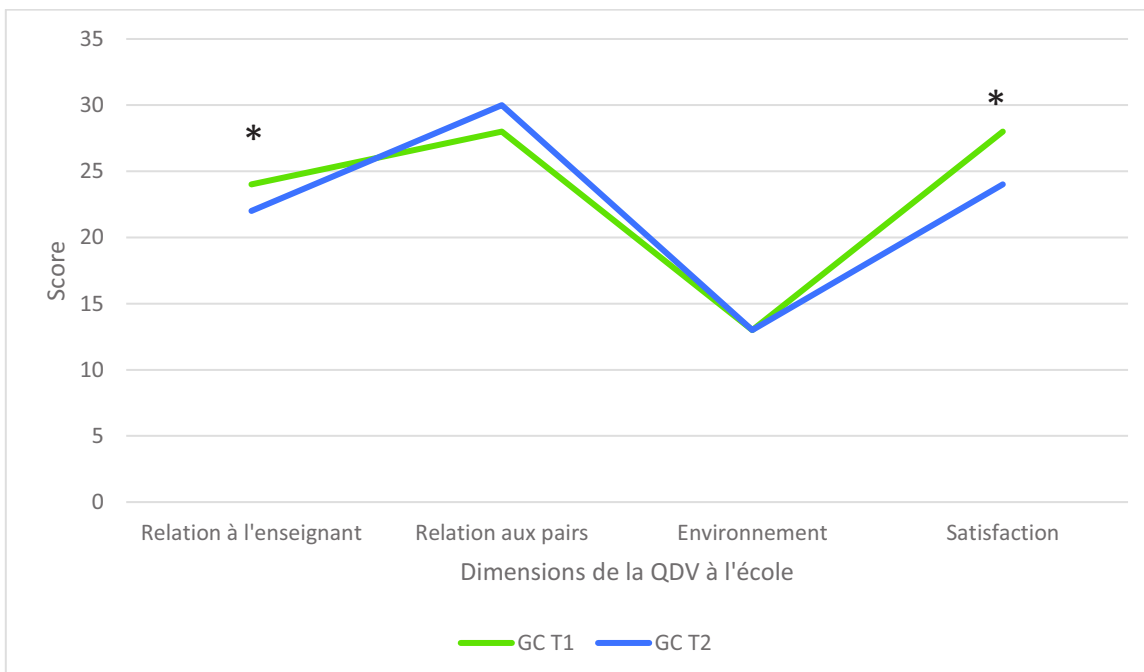
Les résultats des tests de comparaison des dimensions de la QDV à l'école à T2 entre le GA et le GC n'ont pas permis de rejeter H_0 , $,32 < p < ,52$. Les participants du GA et du GC avaient une QDV à l'école similaire à T2. Les résultats aux

tests de comparaison des dimensions de la QDV à l'école à T2 en fonction du genre des participants n'ont pas permis de rejeter H0 pour la QDV à l'école globale, la relation à l'enseignant, la relation aux pairs et l'environnement scolaire, $,14 < p < ,88$. Toutefois, les filles (Mdn = 26,5) étaient plus satisfaites de leur vie à l'école à T2 que ne l'étaient les garçons (Mdn = 24), $U = 687,5, Z = -2,05, p = ,04$. Les analyses de comparaison intra-groupe en fonction du genre dans le GA ont montré que les filles (Mdn = 25) percevaient avoir une meilleure relation à leur enseignant que les garçons (Mdn = 24), $U = 201,00, Z = -2,00, p = ,05$. Les filles du GA (Mdn = 28) manifestaient aussi avoir une meilleure satisfaction de leur vie à l'école que les garçons du GA (Mdn = 25,5), $U = 173,00, Z = -2,55, p = ,01$. Les filles et les garçons du GA n'étaient pas statistiquement différents sur les autres dimensions de la QDV à l'école. Dans le GC, les résultats n'ont pas permis de rejeter H0, les filles et les garçons du GC avaient une qualité de vie à l'école similaire.

Les résultats aux tests de comparaison pour échantillons appariés n'ont pas révélé de différence dans les dimensions de la QDV à l'école entre T1 et T2 pour le GA, $p > ,25$. Les participants du GC n'ont pas non plus présenté de différence entre T1 et T2 aux variables de QDV à l'école globale, de relation aux pairs et d'environnement scolaire, $p > ,75$. Toutefois, dans le GC, le score de relation à l'enseignant (Mdn T1 = 24, Mdn T2 = 22) ainsi que celui de la satisfaction à l'école (Mdn T1 = 28, Mdn T2 = 24) ont réduit significativement entre T1 et T2, respectivement, $Z = -2,62, p = ,009$ et $Z = -2,07, p = ,04$ (voir figure 74). L'analyse de comparaison du différentiel des dimensions de la QDV à l'école entre T1 et T2 entre le GA et le GC a montré que les deux groupes évoluaient de façon statistiquement similaire, $p > ,42$ (voir tableau 20).

Figure 74

Score médian de QDV à l'école dans le GC en fonction de la dimension de QDV à l'école et du temps de mesure



* $p < ,05$.

Tableau 20*Changement dans la qualité de vie à l'école entre T1 et T2 dans le groupe action et le groupe contrôle*

	Changement Groupe Action	Changement Groupe Contrôle	p-valeur ^a
Qualité de vie à l'école globale	-2	0	,66
Relation à l'enseignant	-1	-1	,43
Relation aux pairs	0	1	,76
Environnement scolaire	0	0	,48
Satisfaction à l'école	-1	-2	,42

*a : p-valeur au test non paramétrique U de Mann et Whitney.*** : $p < ,05$.*

Annexe 10 : Items du questionnaire sur les représentations des enseignants quant à leur expérience du programme Mouv'enclasse.

Le questionnaire est composé de 124 items que nous détaillons ci-dessous. Les items sont regroupés selon 9 thèmes dans 5 axes principaux. Les enseignants ayant utilisé le programme Mouv'enclasse répondent au questionnaire à la fin de la mise en œuvre du programme. Les modalités de réponse sont sous la forme d'échelles de type Likert en 5 points sur lesquelles les répondants cote chaque item en termes de fréquence d'apparition (i.e., de jamais à toujours). A l'issue de chaque thème un encadré était disponible pour tout ajout, remarque, suggestion, libre.

Axe 1 : Représentation : Pourquoi avoir participé au programme Mouv'enclasse ?

1. J'ai décidé de participer au programme Mouv'enclasse parce que...

- 1.1. J'avais déjà expérimenté des pauses actives à ma routine de classe.
- 1.2. C'était un moyen d'instaurer une habitude de vie active en classe.
- 1.3. Mes collègues souhaitaient que je participe.
- 1.4. Mon entourage proche (famille, amis) m'a incité à participer.
- 1.5. Je m'attendais à ce que ce programme améliore l'ambiance de ma classe.
- 1.6. Ce programme pouvait me permettre d'exprimer mes valeurs.
- 1.7. Je pensais que mes élèves apprécieraient le programme.
- 1.8. Je pensais que ce serait facile à mettre en place.
- 1.9. Je pensais que ce programme pourrait aider mes élèves à se concentrer.
- 1.10. Je pensais que ce programme pourrait aider mes élèves à se mettre au travail.
- 1.11. Ce programme me semblait réalisable.
- 1.12. C'était plus simple avec des outils clé en main que tout créer moi-même pour ma classe.
- 1.13. Disposer d'un suivi me rassurait.
- 1.14. J'étais favorable à ce programme.
- 1.15. Je me sentais capable pour le mettre en place.
- 1.16. J'avais très envie de le faire dans ma classe.

Axe 2 : Formation et accompagnement

2. La formation suivie avant le début du programme...

- 2.1. Était adaptée et compréhensible.
- 2.2. M'a rassurée.
- 2.3. M'a permis de me sentir entourée.
- 2.4. M'a permis de me rapprocher des participantes.
- 2.5. M'a permis de clarifier les activités proposées.
- 2.6. Était nécessaire pour la mise en place du programme.
- 2.7. Était intéressante pour les explications sur la théorie derrière le programme.

- 2.8. Était satisfaisante.
- 2.9. A été d'une durée adaptée.
- 2.10. Sous le format d'une réunion unique était adaptée.
- 2.11. M'a motivée à commencer les pauses actives en classe.

3. *Le suivi tout au long du programme...*

- 3.1. Était une nécessité.
- 3.2. Était suffisant.
- 3.3. M'a permis de me sentir à l'aise pour exprimer mes besoins.
- 3.4. Son format de présence à la demande avec une prise de nouvelle mensuelle est adapté.
- 3.5. Les réponses et le soutien apportés étaient conformes à mes attentes.
- 3.6. M'a permis de me sentir soutenue.
- 3.7. J'ai ressenti le besoin de m'en saisir.

Axe 3 : Application du programme Mouv'enclasse

4. *Le guide pratique de l'enseignant...*

- 4.1. M'a été utile pour mettre en place le programme.
- 4.2. Est pratique, on y trouve facilement ce que l'on cherche.
- 4.3. Est adapté pour son usage.
- 4.4. Contient les informations dont j'ai besoin.
- 4.5. Est clair et accessible.
- 4.6. A du contenu superflu.
- 4.7. Est attrayant, j'apprécie le lire.
- 4.8. Est découpé en 3 rubriques d'activités, ça m'aide à me repérer.
- 4.9. Donne des exemples clairs.
- 4.10. Contient une partie théorique que j'ai apprécié découvrir.
- 4.11. Est intéressant pour sa pédagogie.
- 4.12. Peut se suffire pour mettre en place des pauses actives.

5. *Les pauses actives tout au long de l'année...*

- 5.1. Ont été simples à animer.
- 5.2. Ont eu lieu 3 fois par semaine.
- 5.3. Ont été investies positivement par mes élèves.
- 5.4. Étaient réalisables comme sur le papier.
- 5.5. Ont été pour mes élèves et moi un défi que nous entendions bien relever.
- 5.6. J'ai bougé avec mes élèves pendant les pauses actives.
- 5.7. Mes élèves se sont lassés des exercices.

Axe 4 : Effets perçus

6. Avec les pauses actives...

- 6.1. Mes élèves étaient plus motivés à travailler.
- 6.2. Mes élèves ont pu se ressourcer après un travail.
- 6.3. Mes élèves ont pu s'améliorer dans leur travail.
- 6.4. Mes élèves ont pu s'améliorer dans leur attitude en classe.
- 6.5. Mes élèves ne parvenaient plus à se mobiliser pour travailler.
- 6.6. Mes élèves étaient plus dissipés.
- 6.7. Mes élèves étaient plus fatigués.
- 6.8. Mes élèves avaient une attitude plus positive envers la pratique d'activité physique.
- 6.9. Mes élèves étaient de plus en plus endurants physiquement.
- 6.10. Les bénéfices que j'ai remarqués se sont maintenus toute l'année.
- 6.11. Les liens entre les élèves se sont resserrés.
- 6.12. Nous nous sentions tous pleins d'énergie.

Axe 5 : Déploiement

7. Je pense que Mouv'enclasse...

- 7.1. Est un outil intéressant pour le milieu scolaire.
- 7.2. Est adapté pour les élèves de CM1 et CM2.
- 7.3. Est adapté pour les élèves de CP et CE1.
- 7.4. Est intéressant mais devrait être remanié.
- 7.5. Contient des activités non réalisables en classe.
- 7.6. Pourrait faire partie de ma routine de classe à l'avenir.
- 7.7. Devrait intégrer des pauses actives plus courtes.
- 7.8. Devrait intégrer des pauses actives plus fréquentes.
- 7.9. Est une activité qui n'est pas culturellement adaptée à notre pays.
- 7.10. Est ludique.
- 7.11. Est un outil que je conseillerais à mes collègues.

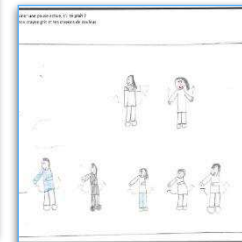
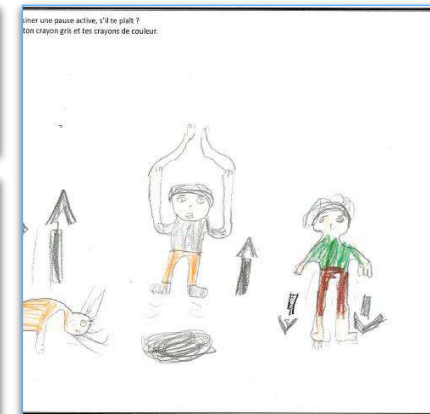
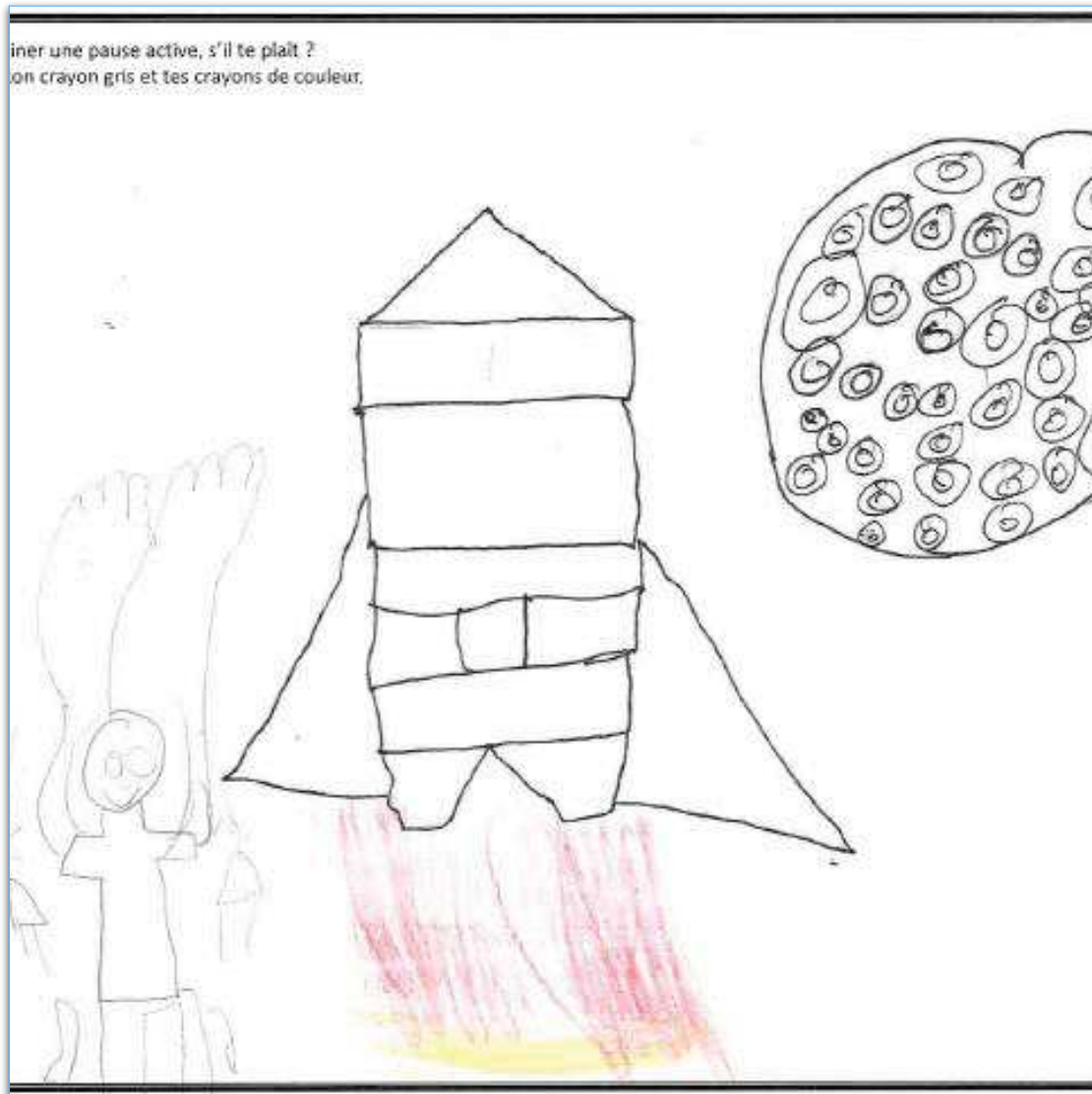
Annexe 11 : Grille de cotation « dessine-moi une pause active »

Nous allons vous distribuer une série de dessins. Ces dessins ont été produits par des enfants qui ont participé à un programme d'inclusion de pauses actives durant leur année scolaire. Les pauses actives sont des pauses durant lesquelles les élèves et l'enseignant vont s'engager dans des mouvements actifs physiquement pendant quelques minutes dans la salle de classe entre deux leçons. La consigne donnée aux enfants était : « Dessine-moi une pause active ».

Votre mission est d'évaluer chacun des dessins en repérant les indices graphiques présents qui montrent que la scène dessinée se rapporte aux pauses actives. Pour ce faire, vous devrez indiquer le matricule du dessin et cocher pour chaque dessin les indices que vous avez pu observer.

Matricule	Posture corporelle	Dynamique	Tenue	Groupe de pairs	Enseignant	Salle de classe	Cour de l'école	Métaphore	Discours	Arrangement	Nombre d'indices

Annexe 12 : Dessins de pause active produits par les élèves de classes ayant participé au programme Mouv'enclasse



PRESENTATION DE L'ECHELLE

L'échelle QoLS-fr est l'adaptation française de l'échelle QoLS (Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009). Elle se propose d'évaluer la qualité de vie à l'école des élèves français scolarisés dans des écoles primaires dans des classes de CE2, CM1 et CM2. L'échelle est remplie par l'élève lui-même après explication des consignes et lecture de chaque item et de ses modalités de réponse par un animateur en classe entière en l'absence de l'enseignant référent dans la classe.

CONSIGNES DE PASSATION

Afin de favoriser la compréhension des consignes, il sera demandé aux élèves de poser leurs mains sur leur bureau et d'écouter calmement et attentivement.

- ♣ Nous allons maintenant remplir ensemble un questionnaire sur comment se passe ta vie à l'école. Ce qui est important, c'est que tu répondes comme toi tu penses ; c'est ton avis à toi sur ta vie à l'école qui compte. Pour que tu te sentes libre de donner ton avis, on n'écrira pas de nom sur le questionnaire, personne ne saura qui a rempli quoi, pas même ton maître/ta maîtresse.
- ♣ Tu as bien compris ?
- ♣ Dans le questionnaire, il y a 29 propositions. Pour répondre, il te suffira de cocher pour chacune d'elles si elle est toujours vraie, souvent vraie, souvent pas vraie ou jamais vraie dans ta vie à l'école. Mais attention, pour chaque question, il faut que tu choisisses une seule réponse, celle qui correspond le mieux à ton avis ! Nous allons remplir le questionnaire tous ensemble, au même rythme. Je vais vous lire chaque proposition et vous répondrez chacun ce que vous en pensez. Après on fera la proposition suivante, toujours tous ensemble.
- ♣ Tu as bien compris ? Tu es prêt ?
- ♣ Alors allons-y ! Mets ton doigt sur la proposition 1

Lire la proposition 1 et ses modalités de réponse. Permettre aux élèves de prendre leur stylo pour cocher la modalité qui correspond le mieux à ce que chacun pense personnellement de sa vie à l'école. Il est important d'éviter que les élèves soient tentés d'échanger durant toute la passation pour limiter les biais de remplissage du questionnaire. Il est possible de créer une barrière physique à l'aide de classeurs pour favoriser le remplissage individuel.

ECHELLE QOLS-FR

	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
1. Mon école est bien entretenue et agréable.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Mes camarades de classe me respectent.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. J'aime bien ma maîtresse (mon maître).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Les matières que j'apprends à l'école sont intéressantes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Les chaises et les bureaux de ma classe sont confortables.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
6. Ma maîtresse (mon maître) me comprend.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Je me sens en sécurité à l'école (rien de grave ne peut m'arriver).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. J'ai des ami(e)s à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Je peux discuter de mes soucis avec ma maîtresse (mon maître).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Je me sens rejeté(e) par mes camarades de classe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
11. Ma maîtresse (mon maître) me fait me sentir bien en classe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
12. Mon école est propre.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
13. Les maîtres et les maîtresses de mon école sont bien.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
14. Mes camarades de classe se moquent de moi.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
15. C'est calme, silencieux dans ma classe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
16. Je réussis à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
17. Je suis satisfait(e) de mon niveau à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
18. J'aimerais changer d'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
19. J'aime aller à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
20. Ma maîtresse (mon maître) m'aide à réussir.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
21. Il est important pour moi d'aller à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Je me sens seul(e).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
23. Je m'intéresse à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Je suis heureux(se) quand je suis à l'école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Je me sens bien dans mon école.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Toujours vrai	Souvent vrai	Souvent pas vrai	Jamais vrai
26. Je me sens bien dans ma classe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
27. Mes camarades me soutiennent quand ça ne va pas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
28. Je m’amuse bien pendant la récréation.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
29. Je préfère être seul(e)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SCORING

COTATION DES ITEMS

Pour calculer les scores bruts globaux, nous attribuons une valeur à chaque réponse donnée par l’élève. Le score est attribué de manière à ce que plus le score est important, meilleure est la qualité de vie à l’école.

La majorité des items sont construits tels que :

- ♣ Toujours vrai = 4
- ♣ Souvent vrai = 3
- ♣ Souvent pas vrai = 2
- ♣ Jamais vrai = 1

Toutefois, certains items admettent une cotation inverse. C’est-à-dire que pour ces items, répondre par la négative reflète une meilleure qualité de vie à l’école. C’est le cas des items **10, 14, 18, 22 et 29**.

Pour ces items, on a :

- ♣ Toujours vrai = 1
- ♣ Souvent vrai = 2
- ♣ Souvent pas vrai = 3
- ♣ Jamais vrai = 4

MATRICE DE CALCUL

Dans la matrice ci-dessous, reportez le score obtenu pour chaque item. La ligne score endroit concerne les items pour lesquels « toujours vrai » vaut « 4 » et la ligne score inverse concerne les items pour lesquels « toujours vrai » vaut « 1 ». Reportez ensuite le score attribué à chaque item sur la ligne score item.

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Score endroit															
Score inverse															

SCORE item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Item	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Score endroit														
Score inverse														

SCORE item	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

CALCUL DES SCORES AUX DIMENSIONS DE LA QUALITE DE VIE A L'ÉCOLE

Pour calculer les scores aux différentes dimensions de la qualité de vie à l'école des élèves, on procède par addition des scores obtenus pour chacun des items (addition des scores de la ligne « SCORE item » de la matrice de calcul.

SCORE GLOBAL DE QUALITE DE VIE A L'ÉCOLE

La qualité de vie à l'école est évaluée via l'addition des scores obtenus pour chacun des 29 items. Le score est compris entre 29 et 116. Plus le score est important, meilleure est perçue par l'élève sa qualité de vie à l'école.

SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	

Score total QoLS-fr =	<input type="text"/>
--------------------------	----------------------

DIMENSION 1 : RELATION A L'ENSEIGNANT

La relation à l'enseignant est évaluée via l'addition des scores de 7 items. Le score est compris entre 7 et 28. Plus le score est important, meilleure est perçue par l'élève sa relation à l'enseignant.

SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	3	6	9	11	13	20	26

Score total D1 =	<input type="text"/>
---------------------	----------------------

DIMENSION 2 : RELATION AUX PAIRS

La relation aux pairs, les autres élèves de la classe, est évaluée via l'addition des scores de 9 items. Le score est compris entre 9 et 36. Plus le score est important, meilleure est perçue par l'élève sa relation aux autres élèves de sa classe.

SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	2	8	10	14	18	22	27	28	29

Score total D2 =	<input type="text"/>
---------------------	----------------------

DIMENSION 3 : ENVIRONNEMENT SCOLAIRE

L'environnement scolaire est évalué via l'addition des scores de 5 items. Le score est compris entre 5 et 20. Plus le score est important, meilleure est perçue son environnement scolaire par l'enfant.

SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	1	5	7	12	15

Score total D3 =	<input type="text"/>
---------------------	----------------------

DIMENSION 4 : SATISFACTION

La satisfaction scolaire est évaluée via l'addition des scores de 8 items. Le score est compris entre 8 et 32. Plus le score est important, plus l'élève se sent satisfait de sa vie à l'école.

SCORE item	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	4	16	17	19	21	23	24	25

Score total D4 =	<input type="text"/>
---------------------	----------------------

Annexe 14 : Processus d'adaptation et de validation française de l'échelle de qualité de vie à l'école QoLS-fr chez l'enfant d'âge scolaire

1 Considérations préalables

1.1 Présentation de l'étude

Cette étude annexe a été menée afin de répondre au besoin d'un outil de mesure valide de la QDV à l'école chez l'enfant d'âge scolaire. Il s'agit de l'adaptation française de l'échelle de QDV à l'école « Quality of Life in School » (QoLS) (Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009) développée pour une population d'enfants d'âge scolaire en Israël et récemment adaptée pour une population d'enfants canadiens anglophones (Ghotra et al., 2016). L'adaptation française de l'échelle QoLS est nommée QoLS-fr.

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier pour sa mise en œuvre grâce au deuxième appel à projet « Recherche dans le domaine de l'éducation et de la formation » porté par l'école supérieure du professorat et de l'éducation – Languedoc-Roussillon (ESPE-LR) en 2017.

Cette étude a pour objectif (1) d'adapter en français l'échelle QoLS et d'en proposer une (2) validation française en appréciant ses qualités psychométriques en la comparant à des outils éprouvés existants et via une analyse de comparaison de groupe en fonction du genre, du niveau scolaire et de la performance académique.

1.2 Considérations éthiques

Cette étude s'est révélée hors champ de la loi Jardé. Elle a pu être évaluée par le CEEI (IRB00003888 IORG0003254 FWA00005831) dont la présidente est la Professeure Christine Dosquet sous le nom « Adaptation française de l'échelle de qualité de vie à l'école QoLS ». L'étude a été examinée par le comité et a reçu un avis favorable du CEEI le 25/04/2017 sous l'avis n° 17-371.

Une déclaration de conformité au MR-003 a été faite auprès du correspondant informatique et libertés de l'UPVM pour ces travaux (MR-003 - délibération CNIL n° 2080282 v 0 du 04 Juillet 2017).

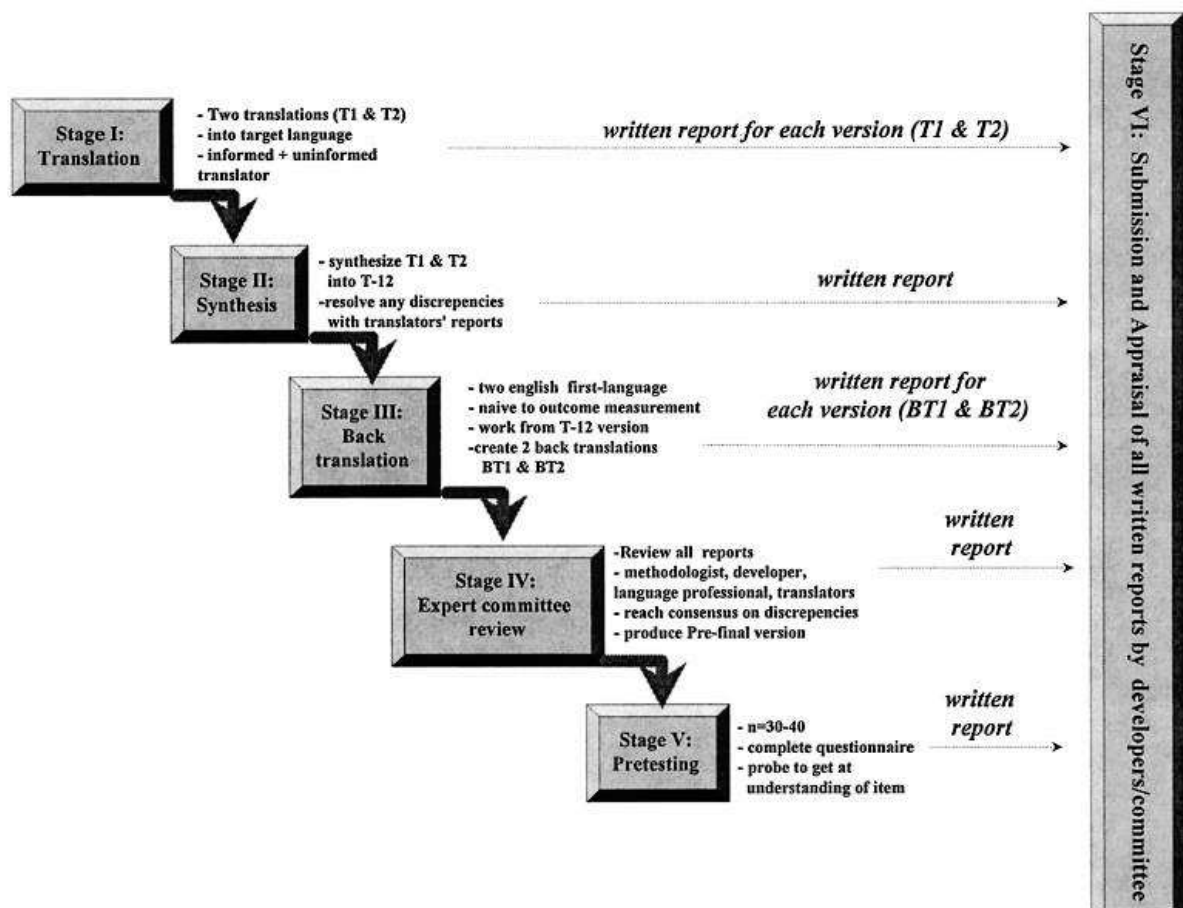
Etant donné que nous nous intéressons à une population d'enfants, nous avons, pour chacune des études, produit une lettre d'information adaptée à la population pédiatrique et une lettre d'information destinée aux parents et/ou tuteurs légaux des participants. Pour que les enfants puissent participer, une fiche de consentement parental devait être renseignée, datée et signée par au moins l'un des parents et/ou tuteurs légaux. Si la fiche n'était pas ou que partiellement remplie ou si les parents cochaient la case « je n'autorise pas mon enfant à participer », les enfants ne pouvaient pas participer à l'étude. Avant le recueil des données, il était rappelé aux enfants autorisés à participer qu'ils pouvaient refuser de participer ou mettre fin à leur participation à tout moment du recueil des données sans avoir à se justifier et sans conséquence.

2 Adaptation française de l'outil

La nécessité de disposer d'une échelle de QDV à l'école valide pour les écoliers français a été exposée à l'équipe de recherche qui a développé l'échelle QoLS et il leur a été demandé s'il était possible de procéder à une adaptation française de leur outil. Notre demande a été acceptée et nous avons reçu une version en anglais des items de l'échelle QoLS. L'adaptation française de l'échelle a été menée en suivant la méthode de Beaton et al. (2000). La méthode consiste en une suite de traductions et de contre-traductions par des personnes compétentes averties et non-averties du sujet d'étude. S'ensuivent des travaux de synthèse et de revues par un groupe d'expert pour valider chaque étape du processus d'adaptation culturelle. Les étapes de la méthode de Beaton et al. (2000) sont résumées dans la figure 75.

Figure 75

Six étapes de l'adaptation interculturelle des échelles de mesure, d'après Beaton et al. (2000)



La version française initiale de l'outil est présentée dans le tableau 21. Elle comprend les 36 items traduits de la version initiale à laquelle nous avons ajouté 10 items (items 38 à 47) inspirés de travaux récents dans le domaine (Huang et al., 2017) et du travail de réflexion du groupe de travail d'adaptation

de l'échelle. Un pré-test a été proposé à un groupe de N = 9 enfants (trois de chaque niveau scolaire CE2, CM1 et CM2). Nous avons discuté avec les enfants de leur compréhension des items et de la pertinence de ces derniers à refléter des situations qui pouvaient ou non impacter leur vie à l'école.

Tableau 21

Items de la version initiale de l'adaptation française de l'échelle QoLS-f

1. Mon école est bien entretenue et agréable	25. Je suis satisfait(e) de mon niveau à l'école
2. Je vois facilement le tableau de ma classe	26. (inv) J'ai mal ou je me sens mal durant ma journée d'école
3. J'apprécie les différentes activités sociales de l'école	27. (inv) J'aimerais changer d'école
4. Mes camarades de classe me respectent	28. J'aime aller à l'école
5. J'aime bien ma maîtresse (mon maître)	29. Ma maîtresse (mon maître) m'aide à réussir
6. Les matières que j'apprends à l'école sont intéressantes	30. Il est important pour moi d'aller à l'école
7. Le trajet jusqu'à l'école est agréable	31. (inv) Je me sens seul(e)
8. Les chaises et les bureaux de ma classe sont confortables	32. Je m'intéresse à l'école
9. Ma maîtresse (mon maître) me comprend	33. (inv) Il y a des choses dans ma vie avec lesquelles j'ai du mal
10. Je me sens en sécurité à l'école	34. Je suis heureux(se) quand je suis à l'école
11. Ma salle de classe est bien entretenue et agréable	35. (inv) Quand je pense à l'école le soir, ça m'empêche de dormir
12. J'ai des ami(e)s à l'école	36. (inv) Ça m'ennuie de ne pas avoir certaines choses que les autres enfants ont
13. Je peux discuter de mes soucis avec ma maîtresse (mon maître)	37. Je suis heureux(se) dans ma vie
14. (inv) Je me sens rejeté(e) par mes camarades de classe	38. Je me sens bien dans mon école
15. Ma maîtresse (mon maître) me fait me sentir bien en classe	39. Je me sens bien dans ma classe
16. Mon école est propre	40. Mes camarades m'aident quand je ne comprends pas
17. Les maîtres et les maîtresses de mon école sont bien	41. Mes camarades me soutiennent quand ça ne va pas
18. Je suis populaire dans ma classe	42. J'aime l'endroit où je suis assis(e) dans ma classe
19. La température de ma classe est agréable	43. (inv) Mon stylo me fait mal lorsque j'écris avec
20. (inv) Mes camarades de classe se moquent de moi	44. Je m'amuse bien pendant la récréation

21. Ma salle de classe est assez éclairée	45. (inv) J'ai du mal à comprendre mes leçons
22. Mon école a un endroit où il me plaît de jouer	46. (inv) Je préfère être seul(e)
23. C'est calme, silencieux dans ma classe	47. (inv) Je suis fatigué(e) le soir après l'école
24. Je réussis à l'école	

Note : la mention « (inv) » fait référence aux items côtés de façon inverse et les items dactylographiés en rouge sont les items qui ont été retirés suite aux analyses statistiques dans l'échelle finale.

3 Validation psychométrique de l'outil

3.1 Méthode

3.1.1 Participants

Les participants de cette étude étaient des élèves typiques de CE2, CM1 et CM2 scolarisés dans des écoles d'une ville française de 40 805 habitants avait une densité de population de 369,5 habitants par kilomètre carré (densité de population dans les villes françaises = 168 habitants par kilomètre carré) et le revenu médian annuel par unité de consommation était de 20 381 euros annuels (revenu médian annuel par unité de consommation en France = 20 520€) (données Insee 2016 : <https://www.insee.fr>).

L'inspecteur de l'Education Nationale de la circonscription nous a permis de rencontrer la direction des écoles intéressées à prendre part à cette étude. En échange de la participation des classes des écoles, un rapport descriptif sur la QDV à l'école des écoles participantes a été produit et délivré à chaque école. Nous précisons que les données relatives à un élève ou une classe n'étaient pas directement ni indirectement identifiables et que chaque école ne recevait que le bilan qui la concernait. Le rectorat n'a pas pu nous permettre d'accéder aux informations relatives au niveau de vie des participants. Alors, afin de limiter d'éventuels biais en lien avec cette variable, nous avons été mis en contact avec des écoles accueillant un public relativement homogène d'enfants issus de familles dont les parents occupent des emplois de catégorie socio-professionnelle dite moyenne.

Nous avons rencontré la direction de 7 écoles et toutes ont accepté que les classes de leurs écoles participent à l'étude. Les enseignants des écoles étaient libres d'accepter ou de refuser de participer à l'étude et tous ont souhaité participer. Les enseignants lisaient avec les élèves en classe la lettre d'information sur l'étude à destination des élèves. Ces derniers recevaient ensuite une lettre d'information et un exemplaire de consentement éclairé à compléter à destination des parents. Un délai de trois semaines a été donné aux parents pour renseigner la fiche de consentement éclairé. Le taux de participation des enfants était de 98% (autorisation parentale et accord de l'élève). Nous avons pu recueillir les données de N = 432 enfants dont :

- ❖ 119 élèves de CE2 (59 filles et 60 garçons) de M = 8;8 ans (ET = 4 mois), soit 27,5% des participants
- ❖ 157 élèves de CM1 (83 filles et 74 garçons) de M = 9;8 ans (ET = 5 mois) , soit 36,3% des participants
- ❖ 151 élèves de CM2 (70 filles et 81 garçons) de M = 10;8 ans (ET = 5 mois) , soit 35,0% des participants

- ❖ Et 5 élèves issus d'Unités Localisées pour l'Inclusion Scolaire ULIS (2 filles et 3 garçons), soit 1,2% des participants

3.1.2 Matériel et procédure

La passation se fait en classe entière et est animée par deux expérimentateurs. Un des expérimentateurs présente l'étude et lit à voix haute chaque item et ses modalités de réponse. Les participants répondent aux items au fur et à mesure de leur énonciation. L'expérimentateur s'adapte au rythme de la classe. Le deuxième expérimentateur vérifie que les participants remplissent correctement le questionnaire et peut venir en aide si un élève se retrouve en difficulté.

Les participants commencent par renseigner à l'échelle KIDSCREEN-27. Cette échelle validée auprès de la population pédiatrique Française évalue la santé et le bien-être des enfants dès 8 ans à travers cinq dimensions évaluées par les enfants eux-mêmes : bien-être physique, bien-être psychologique, autonomie et relation aux parents, support par les pairs et support social et environnement scolaire (Parizi et al., 2014). Elle est proposée afin d'évaluer la validité de construit de l'échelle QoLS-fr à un outil proche tant conceptuellement que par sa forme et ses modalités de passation et éprouvé. Comme l'échelle KIDSCREEN-27 admet notamment un score total de bien-être et de santé et un score lié à l'environnement scolaire. Ainsi, avec une seule échelle de comparaison, il est ici possible de tester respectivement la validité concurrente et la validité convergente de l'échelle QoLS-fr. Les enfants renseignent l'échelle KIDSCREEN-27 en premier puisqu'elle est plus générale puis ils renseignent l'échelle QoLS après une courte pause d'une minute durant laquelle ils pourront s'étirer et se remobiliser. Les participants renseignent sur le document leur classe et leur genre.

Les enseignants remplissent en parallèle une fiche sur laquelle ils renseignent sur une échelle de type Likert en 5 points la performance académique de chaque élève par rapport au niveau moyen de la classe en français et en mathématiques avec 1 = « très en dessous du niveau moyen de la classe » et 5 = « très au-dessus du niveau moyen de la classe ».

3.1.3 Plan d'analyse des données

Les statistiques descriptives et inférentielles de cette étude ont été conduites à l'aide du logiciel libre R. Comme nous avons des données manquantes, nous les avons analysées à l'aide du test de Little afin d'identifier si elles étaient de nature aléatoire ou non et s'il nous était possible d'utiliser l'algorithme d'imputation multiples de données du package missMDA. La technique d'imputation multiple permet de limiter les erreurs et d'obtenir une valeur au plus proche de la valeur à laquelle nous pourrions nous attendre compte tenu de la factorisation des données (Rubin, 2004). Grâce à l'imputation de données, il nous est possible de ne pas rejeter les observations d'un participant qui

aurait omis de renseigner une ou deux questions posées et ainsi de conserver la puissance statistique attendue.

L'analyse factorielle a été menée à l'aide d'un guide de statistiques sur R pour psychologues (Carlsberg et al., 2016) et avec le package FactormineR. En amont des analyses factorielles, nous avons vérifié la capacité de factorisation des données via des corrélations non-paramétriques de Spearman, l'indice Kaiser-meyer-Olkin (KMO) et le test de sphéricité de Bartlett. Un premier indicateur de possible factorisation des données est l'observation de la présence de corrélations entre les items. L'indice KMO vient en supplément de cette observation des corrélations, il est un indicateur de la qualité des corrélations inter-items. Cet indice est compris entre 0 et 1 et on considère que le KMO est bon à partir d'une valeur de ,70 et excellent au-delà de ,80. Le test de sphéricité de Bartlett permet de comparer la matrice de corrélations inter-items avec une matrice dans laquelle les corrélations sont nulles. H0 suppose que la matrice observée ne diffère pas statistiquement de la matrice de corrélations nulles. Nous avons ensuite étudié la distribution des items pour choisir la méthode d'extraction des facteurs à l'aide du test de Shapiro Wilk dans lequel H0 suppose une distribution normale des données. Comme les données des items ne se distribuaient pas normalement, nous avons opté pour une méthode d'extraction en composantes principales.

Comme nous adaptons un questionnaire développé initialement pour une autre culture, nous avons préféré faire appel à une analyse factorielle exploratoire plutôt qu'à une analyse factorielle confirmatoire, choix qu'on également fait les auteurs de l'adaptation canadienne de l'outil (Ghotra et al., 2016). Nous avons déterminé le nombre de facteurs à extraire à l'aide de l'observation de la courbe des valeurs propres et de celle du coude de Cattell. Nous avons aussi mené en parallèle une analyse d'extraction de facteurs comparant nos valeurs propres à celles issues d'une matrice compilée au hasard afin d'obtenir une indication supplémentaire sur le nombre de facteurs à extraire.

Lorsque toutes ces étapes préliminaires ont été remplies nous avons menée l'analyse factorielle proprement dite avec une rotation orthogonale. Comme nous travaillons sur des concepts relativement proches, nous nous attendions à observer que les facteurs extraits de cette analyse se retrouveraient corrélés entre eux et à renouveler l'analyse factorielle exploratoire avec une rotation oblique plus adaptée aux facteurs corrélés entre eux comme c'est souvent le cas dans nos disciplines. L'ajustement du modèle a été évalué à l'aide d'indices absolus (Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) et Standardized Root Mean Square Residual (RMSR)) et relatifs (Tucker Lewis index (TLI)). Un bon ajustement suppose des valeurs de RMSEA et de RMSR < ,08 et un TLI > ,90 (Kenny, 2020). Seuls les items ayant un poids (standardisé) supérieur ou égal à ,30 étaient considérés

comme contribuant à un facteur donné. Toutefois, si un item participait avec un poids sensiblement similaire à plusieurs facteurs, il était retiré puisqu'il amenait du bruit.

Nous avons étudié les qualités psychométriques de l'outil à travers l'étude de l'homogénéité de ses facteurs, nous avons évalué sa validité de construit en le comparant à l'échelle de QDV KIDSCREEN-27 (validité concourante) et à la dimension école du même questionnaire (validité convergente) et nous avons évalué sa sensibilité. L'homogénéité de chacun des facteurs a été vérifiée à l'aide de l'indice alpha de Cronbach. Un facteur homogène doit avoir une valeur $\alpha > ,70$. Les items qui ne participaient pas à l'amélioration de la consistance interne du facteur en question était retiré. Nous avons étudié la présence d'effet plancher et d'effet plafond qui traduiraient une mauvaise discrimination des profils par l'échelle compte-tenu des données de l'étude canadienne, nous nous attendions à observer des effets plancher et plafonds inférieurs à 20%. La validité de construit a été évaluée via la capacité de notre outil à prédire les résultats obtenus à une échelle éprouvée d'un concept proche (prédire le score obtenu à l'échelle KIDSCREEN-27) ou similaire (prédire le score obtenu à la dimension école de l'échelle KIDSCREEN-27) via des analyses de régression linéaire simple (Carlsberg et al., 2016). Nous nous attendions à ce que l'échelle QoLS-fr contribue significativement à l'explication du score obtenu à l'échelle KIDSCREEN-27 et qu'elle contribue significativement et plus fortement à l'explication du score obtenu à la dimension école de l'échelle KIDSCREEN-27. La sensibilité de l'échelle a été évaluée par comparaison avec celle de la dimension école de la KIDSCREEN-27. La sensibilité a été mesurée à l'aide du coefficient de variation (CV) qui rend compte d'un taux de dispersion des données autour de la tendance centrale. Plus les données sont dispersées, que l'ET est grand, plus les données sont diversifiées et l'échelle sensible. Le CV permet de calculer un ET relatif, soit $CV = \frac{\sigma}{\mu}$. Nous avons aussi apprécié la sensibilité à l'aide de l'indice delta de Ferguson. Cet indice rend compte de la discrimination des scores d'une échelle. Plus l'indice est proche de la valeur 1, plus l'échelle est discriminante, sensible. Soit, $\delta = \frac{(1+k(m-1)(N^2-\sum fi^2))}{N^2 \cdot k \cdot (m-1)}$ (avec $k =$ nombre d'items, $m =$ nombre de modalités de réponse, $N =$ taille d'échantillon et $fi =$ fréquence des scores) (Hankins, 2008).

Nous avons mené des analyses de modération afin d'étudier l'influence du niveau scolaire, du genre et de la performance académique en français et en mathématiques sur les scores aux différentes dimensions de l'échelle QoLS-fr. Nous avons utilisé des tests basés sur les rangs pour des échantillons indépendants. Le test de la médiane a été utilisé pour les comparaisons en fonction du genre et le test KS a été utilisé pour les comparaisons en fonction du niveau scolaire et de la performance académique.

3.2 Résultats

Les enseignants ont renseigné une grille de performance académique en français et en mathématiques pour apprécier le niveau de chaque participant par rapport au niveau moyen de la classe. Ils répondaient sur une échelle de type Likert en 5 points : 1 = « très en dessous du niveau moyen de la classe » à 5 = « très au-dessus du niveau moyen de la classe ». Les performances académiques n'ont pas été évaluées pour les élèves des classes ULIS qui ont participé à l'étude.

3.2.1 Statistiques descriptives

3.2.1.1 Performance académique

La distribution des performances académiques (voir tableau 22) des élèves en français et en mathématiques ne suivaient pas la loi normale, respectivement $KS(427) = ,21, p = ,000$ et $KS(427) = ,20, p = ,000$. Les deux distributions se résument par les mêmes indices de premier et de second ordre : $Q1 = 3, Mdn = 4, Q3 = 5$ et $EI = 2$.

Tableau 22

Distribution du niveau académique des participants en français et en mathématiques par rapport au niveau moyen de leur classe

Niveau par rapport à la classe*	Français		Mathématiques	
	N	% valide (Hors ULIS)	N	% valide (Hors ULIS)
1	26	6,1	15	3,5
2	45	10,5	46	10,8
3	115	26,9	102	23,9
4	129	30,2	137	32,1
5	112	26,2	127	27,7

* De 1 = « très en dessous du niveau moyen de la classe » à 5 = « très en dessus du niveau moyen de la classe »

3.2.1.2 Qualité de vie

L'échelle KIDSCREEN-27 évalue la QDV globale des enfants à travers 27 items qui recouvrent les dimensions (1) d'AP et de santé, (2) d'humeur et de ressentis, (3) de vie de famille et de temps libre, (4) du rapport aux amis et (5) du rapport à l'école. Les participants répondent en donnant leur degré d'accord avec des affirmations en lien avec les dimensions de l'échelle : de 1 = « pas du tout » à 5 = « extrêmement ». Plus le score est important, meilleure est la QDV, en ce sens, une cotation inverse a été appliquée aux items pour lesquels un score important relevait d'une mauvaise QDV (e.g., « t'es-tu senti(e) triste ? » la réponse « pas du tout » à cet item a été côté avec la valeur « 5 » pour les analyses).

De nombreuses réponses manquaient à l'item 7 de la dimension famille et temps libre. Cet item était relatif à l'argent de poche reçu par les participants. Lors des passations, de nombreux élèves ont signalé qu'ils ne recevaient pas d'argent de poche. Nous avons noté qu'il manquait les réponses de n

= 55 participants à cet item, soit 13% de données manquantes pour cet item. Nous avons alors choisi de le retirer des analyses statistiques. Les résultats au test KS ont montré que la distribution du score total de QDV et le score de chacune des dimensions évaluées ne suivaient pas de loi normale, $p < ,001$. Nous avons donc préféré des indices de rang pour résumer les distributions (voir tableau 23).

Tableau 23

Résumé de la distribution des scores obtenus par les participants aux dimensions évaluées à l'échelle KIDSCREEN-27

Dimensions KIDSCREEN-27	Nombre d'items	Q1	Q2	Q3	EI	Min	Max
Activité physique et santé	5	17	20	22	5	9	25
Humeur et ressentis	7	27	31	33	6	11	35
Vie de famille et temps libre	7 – 1*	18	22	25	7	7	30
Amis	4	12	16	18	6	4	20
Ecole	4	14	16	18	4	4	20
QDV globale	27 – 1*	91	102	112	21	51	130

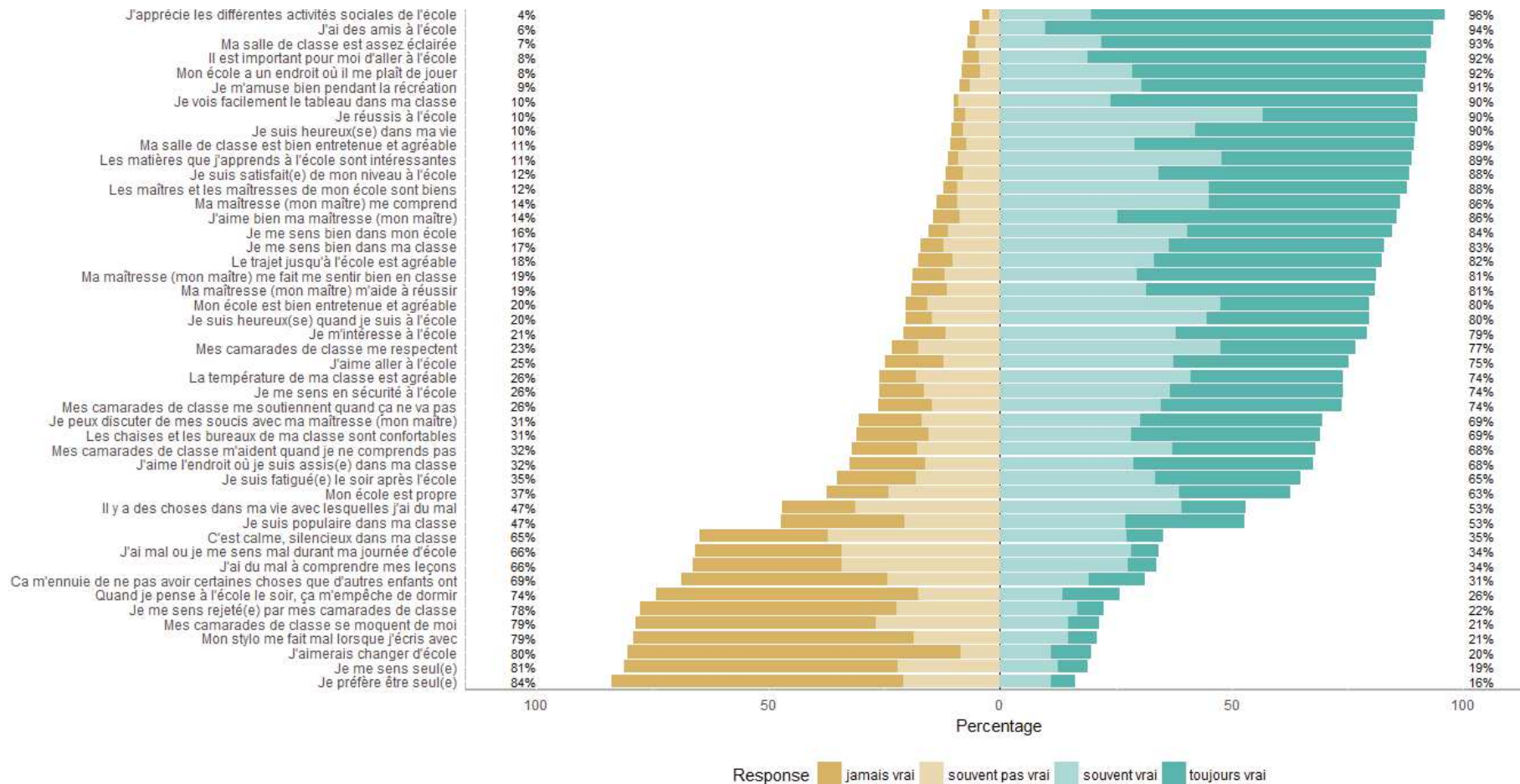
* Retrait de l'item 7 de la dimension « famille et temps libre » car trop de données manquantes

3.2.1.3 Qualité de vie à l'école

Les N = 432 participants ont répondu au questionnaire QoLS-fr dans sa version initiale. La répartition des réponses brutes est présentée dans la figure 76. La présentation des réponses brutes ne tient pas compte des cotations inversées, ainsi, des réponses négatives aux items 14, 20, 26, 27, 31, 33, 35, 36, 43, 45, 46 et 47 révèle des représentations de valence positive envers la QDV à l'école des élèves. Nous avons observé une tendance à répondre de façon positive aux items (i.e., plus de 50% de réponses allant dans le sens d'une bonne QDV à l'école) sauf pour deux d'entre eux : à l'item 23 « *c'est calme et silencieux dans ma classe* », 65% des participants ont répondu sur le pôle négatif de la QDV à l'école et à l'item 47 « *je suis fatigué(e) le soir après l'école* », 63% des participants ont répondu sur le pôle négatif de la QDV à l'école. Les résultats au test de normalité de Shapiro-Wilk étaient tous significatifs pour chacun des items initiaux, $p < ,001$. La distribution des scores n'était pas normale pour aucun des items de l'échelle.

Figure 76

Distribution des réponses en pourcentage des participants à l'échelle initiale QoLS-fr



3.2.1.4 Imputation de données

Sur l'ensemble des données récoltées au questionnaire QoLS fr, soit 2034 entrées (47 items x 432 participants), nous avons recensé 22 données manquantes : une donnée manquante pour les items 10, 16, 18, 30, 31, 32, 34, 36 et 44 ; deux données manquantes pour les items 4, 7, 8, 21, 27, 40 et 45 ; trois données manquantes pour l'item 20 et quatre données manquantes pour l'item 40. Sur l'ensemble de la matrice, nous avons identifié ,01% de données manquantes et moins de 1% de données manquantes par variable et par participant.

Le résultat au test de Little d'identification de donnée manquantes complètement aléatoires (MCAR) est significatif, $X^2(959) = 1059,07, p = ,01$. Les données manquantes n'étaient pas de type MCAR. Nous n'avons pas pu identifier de variable explicative des données manquantes autres que d'éventuels sauts de ligne lors du remplissage du questionnaire en lien avec des questions qui se ressemblent au sein d'un même bloc ou lors de changement de bloc. Nous avons alors envisagé que les données manquantes étaient indépendantes de prédicteurs, donc non-aléatoires (NMAR). Elles étaient alors de nature aléatoire (MAR).

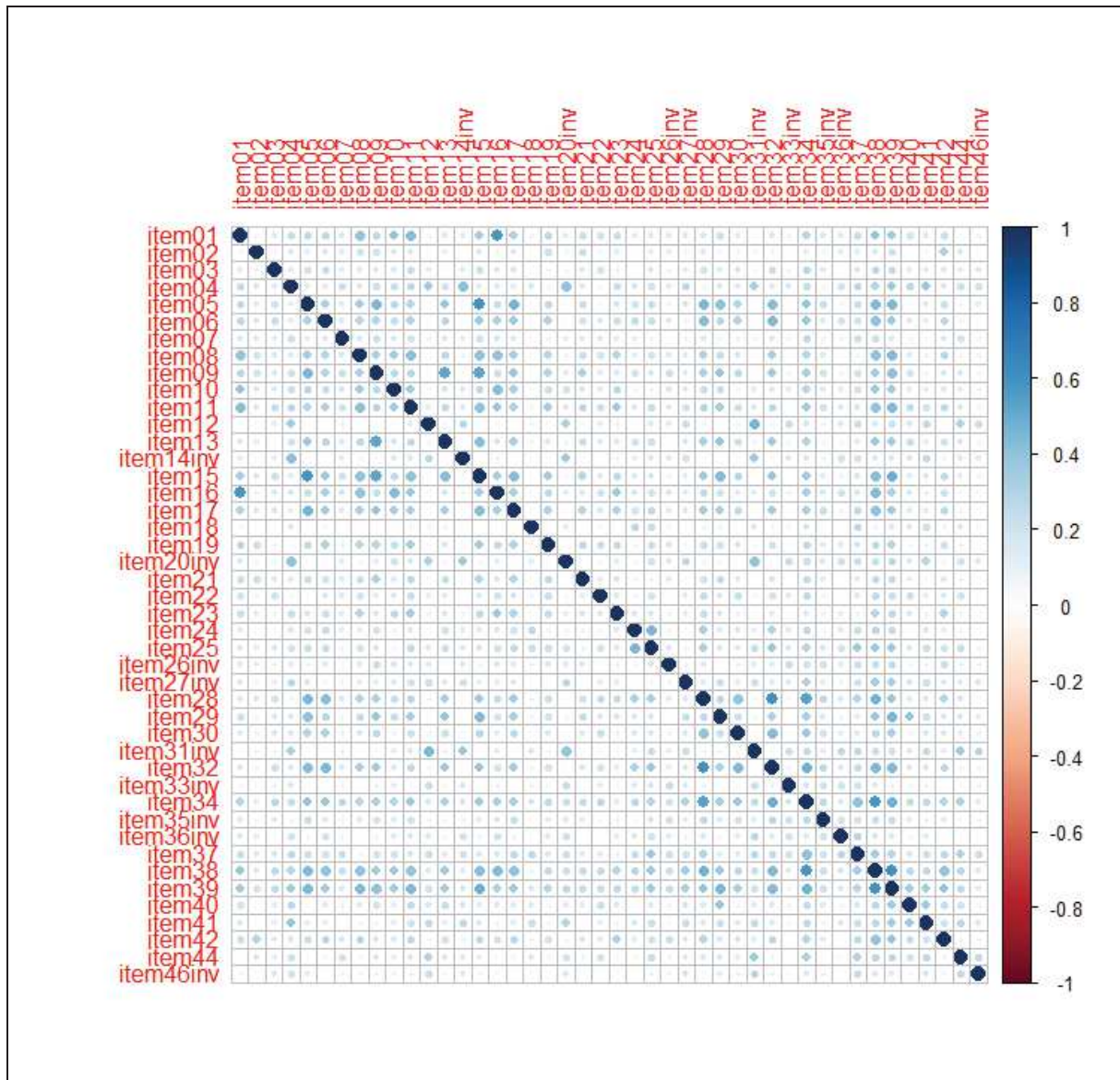
Compte-tenu du nombre particulièrement faible de données manquantes et de leur nature résolument MAR, pour ne pas perdre en puissance statistique, nous avons mené une imputation des données manquantes à partir d'imputations multiples. Suite à une analyse en composantes principales, nous avons conduit l'imputation des données via un algorithme itératif selon quatre dimensions. L'analyse factorielle exploratoire a été menée à partir de la matrice complète des données : données observées et 22 données imputées par méthode d'imputation multiple.

3.2.2 Analyse factorielle exploratoire

Nous avons étudié le potentiel de factorisation des données à l'aide d'indices statistiques. Nous avons d'abord observé la matrice de corrélations bivariées entre les variables via la méthode de Spearman (voir figure 77). L'inspection visuelle de la matrice via les codes couleur a révélé des liens positifs d'intensité globalement moyenne entre les items. Nous précisons que les items ayant un impact négatif sur la qualité de vie à l'école étaient côtés de manière inversée.

Figure 77

Matrice de corrélations bivariées par la méthode de Spearman entre les items du questionnaire QoLS-fr



Note : Le sens et la force des liens entre les variables sont représentés respectivement par la couleur des cercles (corrélations positives en bleu, corrélations négatives en rouge) et l'intensité de la couleur (plus le lien est fort, plus la couleur est intense ; plus le lien est faible, moins la couleur est intense). Notons que les liens sont tous positifs, en effet, nous avons côté les items « négatifs » selon une cotation inversée.

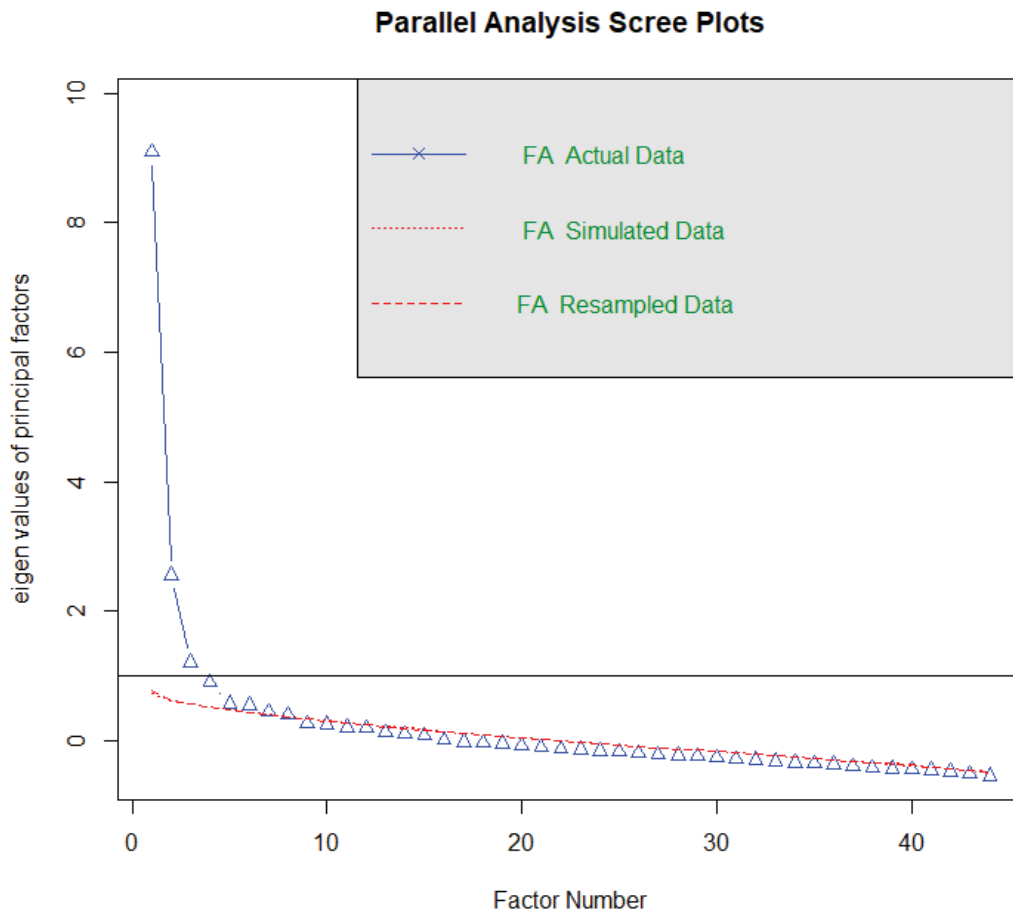
La mesure d'adéquation de l'échantillonnage KMO (ou Kaiser-meyer-Olkin) renvoyait pour nos observations une adéquation globale de l'échantillon de ,90. Les corrélations inter-items étaient donc qualifiables de très correctes (Carlsberg et al., 2016). Les indices KMO propres à chaque item étaient insuffisants pour les items 43, 45 et 47. Ces items ont été retirés de l'échelle. L'item 02 avait un KMO = ,77 (KMO le plus faible que nous ayons conservé) et les KMO des autres items étaient supérieurs à ,82 (et allaient jusqu'à ,96). Le résultat du test de Bartlett était significatif pour nos observations, $\chi^2(946) = 6355,94, p < ,05$. Ainsi, notre matrice de corrélations s'éloignait suffisamment d'une matrice

de liens nuls (Carlsberg et al., 2016). Les données étaient donc suffisamment « factorisables » pour poursuivre nos analyses.

Pour déterminer le nombre de facteurs de l'échelle QoLS-fr, nous avons exploré visuellement le graphique des valeurs propres (voir figure 78). Nous avons remarqué sur la figure que la courbe coupe la ligne horizontale des valeurs propres pour quatre facteurs environs. Aussi, nous observons le coude de Cattell (i.e., croisement entre pente et premier aplatissement) pour quatre facteurs. En complément, nous avons réalisé une analyse parallèle. Elle permet de comparer les valeurs propres obtenues pour nos données aux valeurs propres issues de la factorisation d'une matrice de corrélations compilée au hasard. L'analyse a révélé que nous pouvions envisager la factorisation de l'échelle QoLS selon 8 facteurs (8 facteurs de notre échelle au-dessus de la courbe générée à partir de la matrice au hasard).

Figure 78

Graphique des valeurs propres de l'échelle QoLS-fr



Nous avons conduit une série d'analyses factorielles exploratoires (AFE) selon la méthode d'extraction en axes principaux (puisque la distribution des items ne suivait pas la loi normale) avec rotation orthogonale (ici « varimax »). En fin d'analyses, nous avons remarqué des corrélations au moins moyennes entre les facteurs définis. La rotation orthogonale ne constituait donc pas une solution d'extraction de facteurs adaptée. Nous avons alors conduit de nouvelles AFE avec rotation oblique (ici « oblimin »), type de rotation adaptée aux facteurs liés entre eux (script, voir figure 79). Le modèle en quatre facteurs s'est montré suffisant pour expliquer la qualité de vie à l'école de notre échantillon avec $RMSR = ,04$, $TLI = ,88$, $RMSEA = ,05$. Nous avons examiné les variances propres de chaque item proposé et les saturations de chaque item avec les facteurs sortants. Les variances propres des items 02, 03, 07, 18 et 19 étaient largement supérieures à ,60. Ils avaient donc peu en commun avec les autres items. Aussi, les items 02, 03, 07, 18, 22, 26, 33, 35, 36 et 42 présentent des saturations inférieures à ,30 et les items 11, 37 et 40 saturaient à plus de ,30 dans deux dimensions à des valeurs relativement proches (e.g., l'item 11 sature à ,39 et ,34 dans les dimensions 4 et 3

respectivement). Ces items ne favorisaient pas la parcimonie du modèle et étaient à exclure de l'échelle finale (Carlsberg et al., 2016).

Figure 79

Script de l'analyse factorielle exploratoire en langage R utilisé

```

Packages utilisés pour l'analyse factorielle exploratoire :
Psych
GPArotation
Script simplifié :
#Factorisation des données
corr.test(iqolscomp,method = "spearman")
KMO(iqolscomp)
cortest.bartlett(iqolscomp,n=432)

#Normalité de la distribution des items
shapiro.test(iqols$item01)
...
shapiro.test(iqols$item46inv)

#Nombre de facteurs à extraire
fa.parallel(iqolscomp,fa="fa",fm="pa")

#AFE en oblique
fa(iqolscomp,nfactors = 4,rotate = "oblimin",fm="pa")
fourfactor<-fa(iqolscomp,nfactors = 4,rotate = "oblimin",fm="pa")

```

Nous avons réitéré les analyses après retrait des items susmentionnés. Avec un modèle en quatre dimensions, nous obtenons des indices d'ajustement très satisfaisants : RMSR = ,04, TLI = ,88, RMSEA = ,05, IC 90% = [,04 ; ,05]. Le modèle en quatre facteurs explique 39% de la variance de la QDV à l'école des participants. Les coefficients de saturation supérieurs à ,30 sont présentés dans le tableau 24 et la matrice complète dans la figure 80.

Tableau 24

Coefficients standardisés des items aux quatre facteurs issus de l'AFE supérieurs à ,30

Items\facteurs	Facteur 2	Facteur 4	Facteur 1	Facteur 3
1				.69
4	,62			
5			,51	
6		,41		

<i>Items\facteurs</i>	<i>Facteur 2</i>	<i>Facteur 4</i>	<i>Facteur 1</i>	<i>Facteur 3</i>
8				,40
9			,61	
10				,51
12	,63			
13			,56	
14inv	,53			
15			,74	
16				,83
17			,41	
20inv	,60			
21			,40	
23				,36
24		,47		
25		,56		
27 inv	,39			
28		,76		
29			,55	
30		,47		
31 inv	,67			
32		,75		
34		,55		
38		,43		
39			,40	
41	,47			
44	,45			
46inv	,33			

Quatre facteurs ont été retenus et sont corrélés entre eux. Les quatre facteurs retenus expliquaient 39% de la variance. Les facteurs 1 et 4 participaient à 27% de la variance expliquée, le facteur 2 pour 26% et le facteur 3 pour 19%.

Figure 80

Matrice complète des coefficients standardisés de l'analyse factorielle exploratoire en quatre facteurs

```
Factor Analysis using method = pa
Call: fa(r = datafinalcomp, nfactors = 4, rotate = "oblimin", fm = "pa")
Standardized loadings (pattern matrix) based upon correlation matrix
```

	PA2	PA4	PA1	PA3	h2	u2	com
item01	0.03	-0.06	0.07	0.69	0.50	0.50	1.0
item04	0.62	-0.10	0.17	0.12	0.45	0.55	1.3
item05	-0.13	0.26	0.51	0.08	0.49	0.51	1.7
item06	-0.16	0.41	0.17	0.20	0.37	0.63	2.2
item08	0.00	0.05	0.27	0.40	0.36	0.64	1.8
item09	0.06	0.08	0.60	0.02	0.45	0.55	1.1
item10	0.09	-0.08	0.15	0.51	0.34	0.66	1.3
item12	0.63	0.02	-0.06	-0.03	0.39	0.61	1.0
item13	0.08	0.08	0.56	-0.06	0.35	0.65	1.1
item14inv	0.53	-0.01	-0.12	0.08	0.29	0.71	1.2
item15	-0.07	0.04	0.65	0.17	0.56	0.44	1.2
item16	-0.04	0.05	-0.09	0.82	0.63	0.37	1.0
item17	-0.10	0.20	0.36	0.24	0.39	0.61	2.6
item20inv	0.60	-0.05	0.00	0.08	0.37	0.63	1.1
item21	-0.03	-0.03	0.36	0.13	0.17	0.83	1.3
item23	0.05	0.02	0.10	0.38	0.21	0.79	1.2
item24	0.03	0.54	-0.12	0.09	0.28	0.72	1.2
item25	0.17	0.66	-0.18	0.04	0.46	0.54	1.3
item27inv	0.39	0.05	0.19	0.00	0.23	0.77	1.5
item28	-0.11	0.67	0.14	0.03	0.54	0.46	1.1
item29	0.11	0.00	0.63	-0.01	0.42	0.58	1.1
item30	-0.01	0.40	0.21	-0.09	0.25	0.75	1.6
item31inv	0.67	0.09	-0.09	-0.06	0.46	0.54	1.1
item32	-0.07	0.68	0.22	-0.08	0.59	0.41	1.2
item34	0.21	0.49	0.15	0.09	0.52	0.48	1.7
item37	0.31	0.44	-0.15	0.10	0.35	0.65	2.2
item38	0.22	0.40	0.21	0.26	0.61	0.39	2.9
item39	0.31	0.22	0.40	0.14	0.58	0.42	2.8
item40	0.35	-0.07	0.30	0.01	0.22	0.78	2.1
item41	0.47	0.07	0.16	-0.06	0.29	0.71	1.3
item44	0.45	0.15	0.08	-0.12	0.26	0.74	1.5
item46inv	0.33	0.03	0.04	-0.03	0.12	0.88	1.1

3.2.3 Qualités psychométriques

3.2.3.1 Cohérence interne

Nous avons évalué la fidélité de l'outil à l'aide de l'indice de consistance interne (homogénéité) alpha de Cronbach au sein de chaque facteur et avons étudié les effets planchers et plafond des différentes dimensions (voir tableau 25).

Le facteur 1 expliquait 11% de la variance des réponses à l'échelle. Il avait une consistance interne $\alpha = ,83$. Le retrait de l'item 21 améliorait la consistance interne de la dimension. Avec son retrait, nous avons obtenu une consistance interne $\alpha = ,84$ et une homogénéité $> ,70$ est très satisfaisante (Carlsberg et al., 2016). Le facteur est constitué des items :

- ❖ Item 05 « j'aime bien ma maîtresse (mon maître) »
- ❖ Item 09 « ma maîtresse (mon maître) me comprend »
- ❖ Item 13 « je peux discuter de mes soucis avec ma maîtresse (mon maître) »
- ❖ Item 15 « ma maîtresse (mon maître) me fait me sentir bien en classe »
- ❖ Item 17 « les maîtres et les maîtresses de mon école sont bien »
- ~~❖ Item 21 « ma salle de classe est assez éclairée »~~
- ❖ Item 29 « ma maîtresse (mon maître) m'aide à réussir »
- ❖ Item 39 « Je me sens bien dans ma classe »

→ **Le facteur 1 se composait de 7 items et était lié à la relation à l'enseignant.**

Le facteur 2 expliquait 10% de la variance des réponses à l'échelle. Il avait une consistance interne $\alpha = ,78$. Le retrait d'un item n'améliorait pas la consistance interne du facteur et une homogénéité $> ,70$ est très satisfaisante (Carlsberg et al., 2016). Le facteur est constitué des items :

- ❖ Item 04 « mes camarades de classe me respectent »
- ❖ Item 12 « j'ai des amis à l'école »
- ❖ Item 14 inv « je me sens rejeté(e) par mes camarades de classe »
- ❖ Item 20 inv « mes camarades de classe se moquent de moi »
- ❖ Item 27 inv « j'aimerais changer d'école »
- ❖ Item 31 inv « je me sens seul(e) »
- ❖ Item 41 « mes camarades me soutiennent quand ça ne va pas »
- ❖ Item 44 « je m'amuse bien pendant la récréation »
- ❖ Item 46 inv « je préfère être seul(e) »

→ **Le facteur 2 se composait de 9 items et était lié à la relation aux pairs.**

Le facteur 3 expliquait 8% de la variance des réponses à l'échelle. Il avait une consistance interne $\alpha = ,78$. Le retrait d'un item n'améliorait pas la consistance interne du facteur et une homogénéité $> ,70$ est très satisfaisante (Carlsberg et al., 2016). Le facteur est constitué des items :

- ❖ Item 01 « mon école est bien entretenue et agréable »
- ❖ Item 08 « les chaises et les bureaux de ma classe sont confortables »

- ❖ Item 10 « je me sens en sécurité à l'école »
- ❖ Item 16 « mon école est propre »
- ❖ Item 23 « c'est calme, silencieux dans ma classe »

→ *Le facteur 3 se composait de 5 items et était lié à l'environnement scolaire.*

Le facteur 4 expliquait 11% de la variance des réponses à l'échelle. Il avait une consistance interne $\alpha = ,87$. Le retrait d'un item n'améliorait pas la consistance interne du facteur et une homogénéité $>,70$ est très satisfaisante (Carlsberg et al., 2016). Le facteur est constitué des items :

- ❖ Item 06 « les matières que j'apprends à l'école sont intéressantes »
- ❖ Item 24 « je réussis à l'école »
- ❖ Item 25 « je suis satisfait(e) de mon niveau à l'école »
- ❖ Item 28 « j'aime aller à l'école »
- ❖ Item 30 « il est important pour moi d'aller à l'école »
- ❖ Item 32 « je m'intéresse à l'école »
- ❖ Item 34 « je suis heureux(se) quand je suis à l'école »
- ❖ Item 38 « je me sens bien dans mon école »

→ *Le facteur 4 se composait de 8 items et était lié à la satisfaction.*

Tableau 25

Pourcentage d'effets plancher et plafond aux dimensions étudiées par l'échelle QoLS

Dimensions étudiées	Plage des scores	Effet plancher (%)	Effet plafond (%)
1 « relation à l'enseignant »	[7 ; 28]	,2 (n=1)	12,5
2 « relation aux pairs »	[9 ; 36]	0	6,9
3 « environnement scolaire »	[5 ; 20]	0	2,3
4 « satisfaction et cognition »	[8 ; 32]	0	6,7
QDV à l'école globale	[29 ; 116]	0	,2 (n=1)

3.2.3.2 Validité de construit

La validité de construit de l'échelle QoLS-fr a été envisagée via l'analyse des liens qu'elle entretenait avec des outils de référence qui évaluent des concepts proches à similaires. La qualité de vie à l'école est un concept qui participe à l'explication de la qualité de vie globale, concept évalué dans l'échelle

éprouvée KIDSCREEN-27. De plus, l'échelle KIDSCREEN-27 comprend une dimension de QDV à l'école, soit le même concept que celui que se propose d'apprécier l'échelle QoLS-fr.

Ainsi, l'analyse du lien entre l'échelle QoLS-fr et la QDV de l'échelle KIDSCREEN-27 nous permettait d'évaluer la validité concourante de l'outil et l'analyse de son lien avec la dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN-27 nous permettait d'évaluer sa validité convergente. Nous nous attendions à ce que l'échelle QoLS-fr puisse expliquer au moins ¼ de la variance de la QDV évaluée par la KIDSCREEN-27 ; et nous nous attendions à ce que l'échelle QoLS-fr explique près de la moitié de la variance de la dimension de QDV à l'école de la KIDSCREEN-27.

Analyse de validité concourante. Nous avons conduit une analyse de régression linéaire simple avec VD = score total KIDSCREEN et VI = score total QoLS-fr. Au cours de l'analyse des résidus, nous avons remarqué que la distribution des résidus présentait des difficultés pour l'interprétation des résultats. Les résidus ne suivaient pas une distribution normale, $X^2(2) = 9,85, p = ,007$ (Jarque & Bera, 1987). Nous avons alors mené une transformation normale des données. Après transformation normale, les résidus présentaient les conditions nécessaires à l'analyse des résultats du modèle de régression : indépendance, normalité, homoscélasticité et pas de valeurs atypiques (Carlsberg et al., 2016).

L'analyse de régression linéaire simple (voir tableau 26) montre que l'échelle QoLS-fr participait significativement à l'explication de la qualité de vie. L'équation de régression de type $y = ax + b$ permettait de prédire 29% de la variance du score de y (score de QDV globale de l'échelle KIDSCREEN) à partir de x (score total à l'échelle QoLS-fr) avec $a = ,65$ et $b = 41,22$. La taille d'effet $f^2 = R^2 / (1 - R^2) = .38$ était qualifiable de forte (Cohen, 1988).

Tableau 26

Régression linéaire simple du score de QDV de l'échelle KIDSCREEN par le score de QDV à l'école de l'échelle QoLS-fr

	Coefficient	Erreur standard	Test T
F(1,430) = 177,5***			R ² _{ajusté} = ,29
Intersection	41,22	4,52	9,13***
Score total à l'échelle QoLS-fr	,65	,05	13,32***

*Significativité : *** p < ,001*

Analyse de validité convergente. Nous avons conduit une analyse de régression linéaire simple avec VD = score KIDSCREEN dimension école et VI = score total QoLS-fr. Au cours de l'analyse des résidus, nous avons remarqué que la distribution des résidus présentait des difficultés pour l'interprétation des résultats. Les résidus ne suivaient pas une distribution normale, $X^2(2) = 27,18, p < .00$ (Jarque & Bera,

1987). Nous avons alors mené une transformation normale des données. Après transformation normale, les résidus présentaient les conditions nécessaires à l'analyse des résultats du modèle de régression : indépendance, normalité, homoscedasticité et pas de valeurs atypiques (Carlsberg et al., 2016).

L'analyse de régression linéaire simple (voir tableau 27) montrait que l'échelle QoLS-fr participait significativement à l'explication de la qualité de vie. L'équation de régression de type $y = ax + b$ permettait de prédire 43% de la variance du score de y (score de QDV globale de l'échelle KIDSCREEN) à partir de x (score total à l'échelle QoLS-fr) avec $a = ,17$ et $b = -,00$. La taille d'effet $f^2 = R^2 / (1 - R^2) = .75$ était qualifiable de forte (Cohen, 1988), près de deux fois celle obtenue en analyse concurrente.

Tableau 27

Régression linéaire simple du score de la dimension école de l'échelle KIDSCREEN par le score de QDV à l'école de l'échelle QoLS-fr

	Coefficient	Erreur standard	Test T
F(1,430) = 321,10***			$R^2_{\text{ajusté}} = ,43$
Intersection	-,00	,87	-,00 ns
Score total à l'échelle QoLS-fr	,17	,01	17,92***

SIGNIFICATIVITE : NS = NON SIGNIFICATIF, *** $p < ,001$

3.2.3.3 Sensibilité

Nous nous sommes proposés d'étudier la sensibilité de l'échelle QoLS-fr à travers deux indices : le coefficient de variation (CV) et l'indice delta de Ferguson (Hankins, 2008). Nous avons comparé les valeurs obtenues à celles que nous avons pu obtenir avec une échelle de référence : la sous-dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN-27.

Un premier indice de sensibilité peut être la dispersion des données autour d'un indice de tendance centrale. L'écart-type nous permet d'apprécier dans quelle mesure les données sont ramassées ou éparpillées autour de la moyenne. Ainsi, un faible ET témoigne de données toutes massées au plus proche de la moyenne et un fort ET témoigne de données diversifiées, variées et donc plus discriminantes, sensibles. L'indice CV permet de calculer un ET relatif, un taux de discrimination, soit $CV = \frac{\sigma}{\mu}$. Nous avons obtenu $CV_{\text{QoLS-fr}} = ,13$ et $CV_{\text{KIDSCREEN}_{\text{école}}} = ,22$, l'échelle QoLS-fr admettait alors des valeurs moins diversifiées que la dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN.

L'indice delta de Ferguson permet d'apprécier la sensibilité d'une échelle. L'indice delta est compris entre 0 et 1 : la valeur « 0 » indiquant que tous les participants admettent un même « score » et la

valeur « 1 » indiquant une discrimination parfaite des participants avec un score différent pour chaque individu, soit $\delta = \frac{(1+k(m-1)(N^2-\sum fi^2))}{N^2 \cdot k \cdot (m-1)}$ (avec $k =$ nombre d'items, $m =$ nombre de modalités de réponse, $N =$ taille d'échantillon et $fi =$ fréquence des scores). Nous avons obtenu $\delta_{\text{QoLS-fr}} = ,99$ et $\delta_{\text{KIDSCREENécole}} = ,96$. L'échelle QoLS-fr permettait une très bonne discrimination des participants et celle-ci était légèrement supérieure à celle de la dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN.

3.2.4 Analyse de modération

Nous avons conduit des analyses de comparaison de groupes afin d'étudier dans quelle mesure les scores obtenus à l'échelle QoLS-fr pouvaient différer en fonction du genre, de la classe et du niveau académique en français et en mathématiques (voir tableau 28).

Genre. Les analyses ont révélé que les filles avaient des scores de QDV totale à l'école significativement plus élevés que les garçons. Elles manifestaient davantage de satisfaction à l'école et dans ce qu'elles y apprennent et étaient plus satisfaites de leur environnement scolaire que les garçons. Les analyses n'ont pas montré de différence entre les filles et les garçons sur l'évaluation de leur relation à leurs pairs et les filles avaient tendance à avoir une meilleure relation à leur enseignant que les garçons.

Classe. Les analyses ont révélé des différences entre les différents scores de QDV à l'école des enfants selon leur classe. Les comparaisons par paires ont révélé que les élèves de CE2 avaient un score de QDV totale et de satisfaction à l'école significativement plus important que les CM1, respectivement $p = ,01$ et $p = ,03$. Aussi, les élèves de CM2 manifestaient significativement davantage de satisfaction dans leurs relations avec leurs pairs que les élèves de CE2, $p = ,03$. Les élèves de CE2 étaient plus satisfaits de leur environnement scolaire que les élèves de CM1 et de CM2, respectivement $p = ,002$ et $p = ,001$. La relation aux enseignants était évaluée significativement moins positivement par les élèves de CM1 que par ceux de CE2 et de CM2, respectivement $p = ,000$ et $p = ,02$. Les élèves issus de classes ULIS n'ont pas été pris en compte dans les comparaisons de groupe liées à la classe, ils étaient trop peu nombreux à renseigner le questionnaire.

Niveau académique en français. Les analyses ont révélé des différences entre les scores de QDV à l'école des enfants selon leur niveau académique en français par rapport au niveau moyen de leur classe. Les tests statistiques de comparaison de groupes menés ont montré des différences significatives liées au niveau en français pour chacun des scores de QDV à l'école à l'exception de la qualité de l'environnement scolaire.

Les comparaisons par paires ont montré que les élèves situés au-dessus (4) et très au-dessus (5) de la moyenne de la classe présentaient une QDV totale à l'école significativement supérieure à celle des

élèves les plus en dessous du niveau de la classe (1), respectivement $p = ,02$ et $p = ,000$. Les élèves très au-dessus du niveau moyen de la classe (5) présentaient une meilleure satisfaction envers l'école et ce qu'ils y apprennent que les élèves très en dessous du niveau moyen de la classe (1), $p = ,000$. Les élèves au-dessus (4) et très au-dessus du niveau moyen de la classe (5) présentaient de meilleures relations à leurs pairs que les élèves en dessous (2) du niveau moyen de la classe, respectivement $p = ,004$ et $p = ,001$. Les élèves très en dessous du niveau de la classe (1) présentaient une moins bonne relation à leur enseignant que les élèves dans la moyenne de la classe (3), ceux au-dessus (4) et très au-dessus (5), respectivement $p = ,03$, $p = ,03$, $p = ,01$. Pour rappel, la perception de la qualité de l'environnement scolaire n'est pas impactée par le niveau académique en français.

Niveau académique en mathématiques. Les analyses ont révélé des différences entre les différents scores de QDV à l'école des enfants selon leur niveau académique en mathématiques par rapport au niveau moyen de leur classe. Plus spécifiquement, nous notons une différence tendancielle entre le niveau en mathématiques et le score de QDV totale et une différence significative entre le niveau en mathématiques et la qualité de la relation aux pairs des élèves. Les comparaisons par paires ont révélé que les élèves très au-dessus de la moyenne en mathématiques (5) de la classe percevaient leurs relations à leurs pairs comme de meilleure qualité que les élèves en dessus de la moyenne (4), dans la moyenne (3) et en dessous de la moyenne (2), respectivement, $p = ,04$, $p = ,000$, $p = ,03$. La différence évoquée n'était que tendancielle et de même sens pour la comparaison entre les deux groupes extrêmes (1 et 5), $p = ,08$. Aucune autre différence de score de QDV en fonction du niveau en mathématiques n'a été observée.

Tableau 28

Comparaison des scores bruts obtenus à l'échelle QoLS-fr en fonction du genre, de l'âge et du niveau académique en français et en mathématiques via des tests statistiques non paramétriques

Variable	Total QDV école Mdn (EI)	Facteur 4 Satisfaction Mdn (EI)	Facteur 2 Relation aux pairs Mdn (EI)	Facteur 3 Environnement Mdn (EI)	Facteur 1 Relation à l'enseignant Mdn (EI)
Genre					
Fille	95 (16,25)	27 (5)	34 (6,25)	15 (4)	20,5 (5)
Garçon	91 (18)	25 (7)	34 (6)	14 (5)	19 (6)
Test ^a	$X^2(1) = 7,75, p = ,005$	$X^2(1) = 4,47, p = ,035$	$X^2(1) = ,05, p = ns$	$X^2(1) = 7,75, p = ,005$	$X^2(1) = 3,67, p = ,055$
Classe					
CE2	96 (16)	28 (6)	33 (8)	15 (4)	21 (5)
CM1	91 (18)	26 (6)	33 (6)	14 (5)	19 (7)
CM2	93 (15)	26 (6)	35 (6)	14 (4)	20 (5)
Test ^b	$X^2(2) = 9,82, p = ,007$	$X^2(2) = 7,20, p = ,03$	$X^2(2) = 8,23, p = ,02$	$X^2(2) = 15,14, p = ,001$	$X^2(2) = 15,93, p = ,000$
Niveau en français					
1 « très en dessous de la moyenne de la classe »	83,50 (18,75)	24 (6,5)	31 (5,5)	13 (5,5)	16,5 (9)
2	91 (20,50)	26 (7,5)	30 (6)	15 (5,5)	19 (6)
3	92,50 (17,75)	26 (6)	34 (7,5)	14,5 (6)	20 (6)
4	93 (14)	27 (6)	34 (5,5)	14 (4)	20 (5)
5 « très au-dessus de la moyenne de la classe »	96 (14,75)	28 (5,75)	35 (5,75)	14 (4)	20 (5)
Test ^b	$X^2(4) = 21,44, p = ,000$	$X^2(4) = 34,11, p = ,000$	$X^2(4) = 19,65, p = ,001$	$X^2(4) = 6,34, p = ,18$	$X^2(4) = 11,74, p = ,02$
Niveau en mathématiques					
1	85 (17)	25 (7)	31 (5)	14 (2)	18 (6)
2	92 (21,25)	25,5 (6,5)	31,5 (6,5)	14,5 (7)	20 (5,25)
3	91,5 (23)	25 (7)	34 (6,25)	14 (6)	20 (7)
4	93 (15,25)	27 (6)	34 (7)	14 (4)	20 (5)
5	95 (13)	28 (6)	34 (6)	14 (4)	20 (5)
Test ^b	$X^2(4) = 8,87, p = ,07$	$X^2(4) = 23,50, p = ,000$	$X^2(4) = 6,77, p = ,15$	$X^2(4) = 1,60, p = ,81$	$X^2(4) = 6,33, p = ,18$

a : Test de la médiane pour échantillon indépendant avec correction de Yates ; b : Test KS pour échantillons indépendants.

4 Discussion

Cette étude avait pour objectif d'adapter et de valider l'échelle QoLS dans une version française : QoLS-fr. Les résultats indiquent que l'échelle QoLS-fr a une structure factorielle proche de l'échelle originale et de sa version canadienne. Les indices d'ajustement et la comparaison à d'autres échelles proches montrent que QoLS-fr est acceptable et capable de rendre compte de la QDV à l'école des enfants français âgés de 9 à 11 ans. De plus, la passation de l'échelle peut se faire en classe entière, ce qui rend cet outil pertinent pour des études de grande ampleur.

4.1 Qualités psychométriques de l'outil

Les indices d'ajustement de l'échelle QoLS étaient très satisfaisants et l'AFE oblique a permis de révéler une structure de l'échelle en quatre dimensions capables de rendre compte de 39% de la variance de la QDV à l'école à travers 29 items. Cette version de l'outil participe à expliquer une part de variance de la QDV à l'école similaire à celle de la version canadienne avec moins d'items au total (Ghotra et al., 2016) mais nous ne pouvons pas faire de comparaison avec la version originale de l'outil puisque l'étude ne fournit pas de résultats d'analyse factorielle. La version française de l'outil est donc plus parcimonieuse que les précédentes.

Nos analyses ont rejeté 12 items de l'échelle originale qui ne participaient pas substantiellement à l'explication de la QDV à l'école ou n'étaient pas suffisamment discriminants. Par exemple, les élèves s'accordent à évaluer de manière positive la propreté de leur salle de classe, sa température ou encore la lisibilité du tableau. Aussi, cinq des items que nous avons proposés dans l'adaptation française de l'outil ont été retenus dans la version finale de l'échelle. Nous pensons que ces différences sont imputables aux différences culturelles de la vie à l'école, comme ce fut le cas pour la validation de la version canadienne de l'outil (Ghotra et al., 2016). Toutefois, nous manquons de comparaisons pour pouvoir conclure.

Les quatre facteurs que nous retrouvons ont des similarités et des différences vis-à-vis des autres versions de l'outil, mais sont cohérents vis-à-vis de la littérature en lien avec les dimensions de la QDV et du bien-être à l'école (Bacro et al., 2014; Huang et al., 2017). En effet, dans notre échelle, la qualité de la relation aux pairs constitue un facteur alors qu'elle se confond dans d'autres dimensions dans les autres versions de l'outil : les items en lien avec la relation aux pairs font partie des dimensions de sentiments positifs et négatifs envers l'école de l'échelle originale et de la dimension de qualité de vie à l'école psychosociale de la version canadienne. Aussi, notre dimension de satisfaction à l'école recoupe des items en lien avec les activités à l'école de l'échelle originale et les items d'attitudes envers l'école de la version canadienne de l'outil. Les dimensions de relation à l'enseignant et

d'environnement scolaire sont communes aux trois versions de l'outil (Ghotra et al., 2016; Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009). Chacune des dimensions de l'échelle QoLS-fr est composée de 5 à 9 items comme dans les autres versions de l'outil et nous QoLS-fr. De plus, les indices de cohérence interne de chacune des dimensions étaient très satisfaisants.

L'étude de la validité de construit de l'échelle a révélé que QoLS-fr était capable d'expliquer 29% de la variance des résultats des participants à la mesure de leur QDV via l'échelle KIDSCREEN-27. L'évaluation de la QDV à l'école par l'échelle QoLS se rapproche donc de la notion de QDV, les conditions de validité concourante sont vérifiées. Les analyses ont aussi révélé que QoLS-fr était capable d'expliquer 43% de la variance des résultats des participants à la mesure de la dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN-27. L'échelle QoLS est davantage capable de prédire la QDV à l'école que la QDV globale des enfants d'âge scolaire, la validité convergente est vérifiée. Les analyses de la sensibilité de l'outil donnent des résultats contradictoires avec un coefficient de variation proposant davantage de diversité de scores pour l'évaluation de la dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN-27 et l'indice delta de Fergusson montrant une discrimination entre les participants pour l'échelle QoLS-fr. Toutefois, les résultats sont relativement proches entre les deux échelles. La dimension de QDV à l'école de l'échelle KIDSCREEN-27 permet donc d'évaluer la QDV à l'école de manière parcimonieuse et l'échelle QoLS-fr pourrait s'avérer pertinente pour l'étude d'effets d'interventions sur différentes dimensions de la QDV à l'école.

4.2 Modérateurs à prendre en considération

La sensibilité de l'échelle QoLS-fr a permis de révéler des différences de QDV à l'école en fonction du genre, du niveau scolaire (i.e., la classe) et de la performance académique. Conformément aux validations précédentes de l'échelle (Ghotra et al., 2016; Weintraub & Bar-Haim Erez, 2009), nous observons un effet du genre et les filles présentent de meilleurs scores de QDV à l'école que les garçons sauf pour la relation à l'enseignant et l'environnement scolaire qui sont perçus de manière similaire dans ces deux groupes.

Nous retrouvons aussi une différence liée au niveau scolaire ; comme dans les validations précédentes, les scores de QDV à l'école baissent avec l'avancée en âge des élèves et dans toutes les dimensions étudiées sauf pour la relation aux pairs qui augmente avec l'avancée en âge. Ce résultat est cohérent avec les travaux français menés sur le bien-être à l'école qui montrent qu'avec l'avancée en âge, les enfants sont de plus en plus préoccupés par les liens sociaux aux pairs (Bacro et al., 2011; Coudronnière et al., 2015). La performance académique des élèves peut être liée à la QDV à l'école. Nous retrouvons que plus les élèves sont performants en français meilleure est leur QDV à l'école. Cet effet ne s'observe pas pour la perception de l'environnement scolaire – cette variable est aussi la moins

fortement liée à la performance en français dans la version canadienne de l'outil (Ghotra et al., 2016). Cependant, nous ne retrouvons l'effet de la performance en mathématiques que sur la dimension de satisfaction à l'école alors que Ghotra et al. (2016) l'ont rapporté sur toutes les dimensions de la version canadienne de l'outil. Ce résultat est surprenant, la littérature montre que la performance académique est liée à la QDV à l'école (Fabien Bacro et al., 2017; Coudronnière et al., 2015). Nous pensons que d'autres mesures de la performance académique devraient être faites pour conclure.

4.3 Force limites et perspectives de l'étude

Cette étude a montré que les enfants scolarisés à l'école primaire étaient capables, dès le CE2, d'apprécier leur QDV à l'école à travers des mesures auto-rapportées sur des échelles de type Likert. De plus, l'outil utilisé ici, l'échelle QoLS-fr, est la première échelle de QDV à l'école validée à la fois en France et dans d'autres pays de culture différente, ce qui constitue une force de l'outil développé par Weintraub & Bar-Haim Erez (2009). L'échelle s'est montrée capable de discriminer les élèves entre eux et était suffisamment sensible pour identifier des différences de QDV à l'école en fonction de l'âge, du genre et de la performance académique. Elle constitue alors un outil pertinent d'évaluation fine de la QDV à l'école selon quatre dimensions d'intérêt et une dimension globale. Dès lors, cette étude de validation française de l'outil a permis de répondre à la nécessité d'évaluer les effets des interventions menées en milieu scolaire en France sur les variables affectives en lien avec la vie à l'école encore souvent négligées (Huebner & Gilman, 2004). En effet, aussi efficace qu'une intervention puisse être sur la performance académique des élèves, il ne serait pas souhaitable qu'elle ait des effets délétères sur la QDV à l'école des élèves.

Cependant, certaines limites doivent être considérées. D'abord, cette étude est transversale et nous n'avons pas pu étudier la stabilité des résultats dans le temps. Des études longitudinales et mixtes sont nécessaires pour vérifier les patterns de stabilité de l'échelle dans le temps. Ensuite, nous n'avons pas pu avoir accès aux données en lien avec la qualité de l'environnement familial et la classe socio-économique des parents qui sont des variables qui peuvent affecter la QDV à l'école (Ghotra et al., 2016). Le rectorat nous a uniquement permis de proposer notre étude à des écoles avec lesquelles il nous a mis en lien et dans lesquelles une majorité d'enfants issus de familles de classe moyenne étaient scolarisés. De plus, l'étude a été menée dans une ville de moins de 50 000 habitants. Les résultats ne peuvent donc pas être généralisés à tous les élèves du territoire français. D'autres études sont nécessaires auprès d'élèves issus de milieux urbains et ruraux, auprès d'élèves issus de différents milieux socio-économiques, de différentes régions géographiques dont les départements et régions d'outre-mer et des analyses de sous-groupes porteurs de handicap et/ou de troubles (e.g., dyslexie, trouble de l'acquisition de la coordination) sont nécessaires pour que les résultats soient représentatifs

de la population française. Enfin, l'échelle QoLS a rencontré des difficultés de validité sociale. En effet, lors des réunions avec la direction des écoles participantes, celles-ci ont montré une certaine réticence à l'égard de l'échelle qui a été perçue comme un possible instrument d'évaluation des écoles, les items en lien avec la relation à l'enseignant ont pu susciter des interrogations. Il est alors important de veiller à ce que l'outil reste un moyen d'étudier la QDV à l'école dans le contexte des interventions en milieu scolaire, mais que l'outil ne soit pas utilisé de manière détournée pour comparer des classes ou des écoles entre elles

4.4 Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'adapter et de valider l'échelle QoLS dans une version française QoLS-fr. L'adaptation culturelle s'est faite à l'aide de la méthode de Beaton et la validation s'est faite auprès d'enfants scolarisés en classe de CE2, CM1 et CM2. L'analyse factorielle de l'outil a révélé une structure en quatre dimensions : qualité de la relation à l'enseignant, qualité de la relation aux pairs, qualité de l'environnement scolaire et niveau de satisfaction à l'école. L'échelle QoLS-fr remplit les conditions de validité concurrente, de validité convergente et de sensibilité par rapport à d'autres outils proches validés en français. L'échelle s'est montrée suffisamment sensible pour repérer des effets de l'âge, du genre et de la performance académique sur la QDV à l'école des élèves. Cette échelle est donc indiquée pour étudier les effets d'interventions en milieu scolaire sur la QDV des élèves. Toutefois, des travaux sont nécessaires pour poursuivre le processus de validation de l'outil dont des mesures répétées pour évaluer sa stabilité et une diversification des populations étudiées pour établir des normes représentatives la population française.

