

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ESSAI DE 3^E CYCLE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE (D.PS)

PAR
ÉMILIE PERREAULT

EFFETS AIGUS D'UNE SÉANCE COMBINANT L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET
L'ENGAGEMENT COGNITIF SUR LES FONCTIONS EXÉCUTIVES DES ÉLÈVES
DE 2^E CYCLE DU PRIMAIRE (8-12 ANS)

JUIN 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PROGRAMME OFFERT PAR L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

EFFETS AIGUS D'UNE SÉANCE COMBINANT L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET
L'ENGAGEMENT COGNITIF SUR LES FONCTIONS EXÉCUTIVES DES ÉLÈVES
DE 2^E CYCLE DU PRIMAIRE (8-12 ANS)

PAR ÉMILIE PERREAULT

Julie Bouchard, Ph.D. Directrice de recherche	Université du Québec à Chicoutimi
Laurie Simard, Ph.D. Codirectrice de recherche	Université du Québec en Outaouais
Patrick Vachon, Ph.D. Évaluateur interne	Université du Québec à Chicoutimi
Tommy Chevette Ph.D. Évaluation externe	Université du Québec à Chicoutimi

Résumé

Contexte. Les fonctions exécutives (FEs) jouent un rôle important et actif dans l'ensemble de nos actions quotidiennes qui demandent un contrôle ou un apprentissage, en particulier lorsqu'elles sont nouvelles et non routinières (Chevalier, 2010). Elles permettent de réfléchir avant d'agir, de manipuler mentalement des idées et des informations diverses, de répondre adéquatement à des situations nouvelles ou inattendues, de résister aux tentations et de maintenir la concentration (Burgess & Simons, 2005; Espy, 2004; Miller & Cohen, 2001). Elles sous-tendent de nombreuses compétences émotionnelles (Riggs et al., 2006) et sociales (Hofmann et al., 2012) et jouent un rôle crucial dans la réussite scolaire (Borella et al., 2010; Duncan et al., 2007; Gathercole et al., 2004), professionnelle (Bailey, 2007) et dans l'harmonie maritale (Eakin et al., 2004). Parmi les principales composantes des FEs figurent la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité cognitive (Miyake et al., 2000). L'importance de ces fonctions pour le développement humain fait l'objet d'une attention croissante. Elles sont particulièrement cruciales durant l'enfance, jouant un rôle important dans le développement des compétences cognitives et sociocognitives (Chevalier, 2010). En raison de la grande plasticité cérébrale des enfants en âge scolaire, les FEs sont particulièrement réceptives à l'entraînement et à la pratique (Diamond & Ling, 2016). Ainsi, la mise en place de programmes spécifiques au sein de l'environnement scolaire, un lieu idéal dans lequel les enfants passent en moyenne 25 heures par semaine, peut renforcer les FEs chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire (Anderson, 2002; Hensch, 2005). Des études récentes suggèrent que l'activité physique (AP) peut améliorer les FEs, notamment lorsqu'elle est combinée à un engagement

cognitif (Best & Miller, 2010; Crova et al., 2013; Egger et al., 2019; Mazzoli et al., 2021; van der Niet et al., 2016). **Objectif.** La présente étude vise donc à documenter les effets immédiats d'une séance de 15 minutes du jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif*, qui combine l'AP et l'engagement cognitif, sur les trois composantes clés des FE : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail. **Méthode.** Un total de 95 élèves âgés de 8 à 12 ans issus de quatre classes du primaire a été réparti en deux groupes distincts, avec 50 élèves dans le groupe expérimental et 45 élèves dans le groupe contrôle. Les élèves du groupe contrôle ont participé à une intervention neutre impliquant l'écoute passive d'une vidéo standardisée de 15 minutes, tandis que les élèves du groupe expérimental ont pris part à une séance de 15 minutes combinant l'AP et l'engagement cognitif. Cette séance était tirée du jeu *Cogni-Actif*, élaboré par une équipe de recherche interdisciplinaire de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), dans le cadre d'une recherche-action en collaboration avec des enseignants et des conseillers pédagogiques (Simard et al., 2023). Les participants des deux groupes ont été soumis à des tests neurocognitifs avant et après l'intervention. Deux sous-tests du Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS) (Delis et al., 2001) et un sous-test de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (WISC-V) (Wechsler, 2016) ont été employés pour mesurer les trois FE (flexibilité cognitive, mémoire de travail et inhibition). **Résultats.** Les résultats n'ont pas confirmé l'hypothèse selon laquelle une séance de 15 minutes du jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif*, combinant AP et engagement cognitif, pourrait avoir des effets bénéfiques sur les trois FE de base. Bien que l'étude n'ait pas validé les hypothèses initiales, l'utilisation d'un jeu d'apprentissage physiquement actif

tel que *Cogni-Actif* ne présente pas d'inconvénient pour le fonctionnement exécutif et pourrait être bénéfique dans le cadre scolaire pour promouvoir l'AP et la santé des enfants.

Conclusion. L'exploration des effets immédiats d'une séance de jeu d'apprentissage de 15 minutes, combinant des éléments physiques et cognitifs, sur l'amélioration des FEs nécessite une approche plus nuancée, incluant la réplication de l'étude avec un échantillon plus large et l'utilisation de méthodes de mesure plus sensibles et adaptées à l'évaluation de l'impact immédiat d'une intervention brève. De plus, il est crucial de prendre en compte l'intensité de la demande cognitive et physique du jeu afin de mieux comprendre ses effets spécifiques sur le développement des FEs chez l'enfant. Les recherches futures devraient se concentrer sur l'identification des niveaux optimaux en termes de type, d'intensité et de durée de l'AP et de l'engagement cognitif susceptibles de constituer une intervention efficace pour améliorer l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail chez les enfants d'âge scolaire.

Table des matières

Résumé	iii
Liste des tableaux	x
Liste des figures	xi
Liste des abréviations	xii
Remerciements	xiii
Introduction	14
Contexte théorique	18
Les fonctions exécutives	19
Inhibition	23
Mémoire de travail	24
Flexibilité cognitive	25
Le rôle primordial des fonctions exécutives dans tous les domaines de la vie	26
Interventions pour soutenir le développement des fonctions exécutives des enfants	28
Relation entre l'activité physique et les fonctions exécutives	34
Définitions de l'activité physique	35
Effets neurobiologiques de l'activité physique	36
Le développement cognitif et moteur	37

Recommandations pour les enfants en matière d'activité physique	39
Portrait actuel de la pratique d'activités physiques chez les enfants	40
Les différentes formes d'activités physiques et les fonctions exécutives	41
Effets aigus de l'activité physique sur les fonctions exécutives	42
L'activité physique cognitivement engageante	47
L'activité physique cognitivement engageante et les fonctions exécutives	49
Effets de l'activité physique cognitivement engageante dans les salles de classe	54
Le jeu <i>Cogni-Actif</i>	54
Objectif de recherche et hypothèses	56
Objectif principal	56
Hypothèses	57
Méthode	59
Considération éthique	60
Devis de recherche	60
Variables	61
Participants	62
Procédure	64
Collecte de données	64
Formations auxiliaires de recherche	64

Déroulement de l'expérimentation.....	65
Groupe expérimental.....	67
Groupe témoin.....	68
Instruments.....	68
Questionnaire sociodémographique.....	68
Instruments de mesure administrés aux participants-élèves.....	69
Test Traçage de pistes du Delis-Kaplan Executive Function System.....	70
Test d'interférence couleur-mot du Delis-Kaplan Executive Function System...	71
Le sous-test de Séquences de chiffres de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants- Cinquième édition.....	73
Résultats.....	75
Analyses descriptives.....	76
Caractéristiques sociodémographiques de l'échantillon.....	76
Analyses statistiques.....	78
Résultats aux tâches évaluant la flexibilité cognitive.....	82
Résultats à la tâche évaluant l'inhibition.....	86
Résultats à la tâche évaluant la mémoire de travail.....	88
Discussion.....	90
Interprétation des résultats obtenus aux tâches évaluant la flexibilité cognitive	91

Interprétation des résultats obtenus à la tâche évaluant l'inhibition	96
Interprétation des résultats obtenus à la tâche évaluant la mémoire de travail	99
Forces et limites de l'étude	100
Recommandations et perspectives	106
Retombées de l'étude	109
Conclusion.....	112
Références	115
Appendice A.....	140
Appendice B.....	142
Appendice C.....	144
Appendice D.....	150
Appendice E	152
Appendice F	159

Liste des tableaux

Tableau

- 1 Statistiques descriptives des participants selon le groupe et résultats des Tests Khi-carré de Person..... 74
- 2 Synthèse des scores bruts : scores moyens, écarts-types et plages minimum et maximum aux tests..... 77
- 3 Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 4 du Test Traçage de Piste..... 80
- 4 Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 4 du Test d'interférence couleur-mot..... 82
- 5 Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 3 du Test d'interférence couleur-mot..... 84

Liste des figures

Figure

1	Déroulement de l'expérimentation.....	63
---	---------------------------------------	----

Liste des abréviations

AP.....	Activité physique
EEG.....	Électroencéphalographique
FE.....	Fonction exécutive
FEs.....	Fonctions exécutives
D-KEFS.....	Delis-Kaplan Executive Functions System
TICM.....	Test d'interférence couleur-mot du D-KEFS
TTP.....	Test de traçage de pistes du D-KEFS
WISC-V.....	Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants- Cinquième édition
SC.....	Séquences de chiffres du WISC-V
SCoi.....	Séquences de chiffres en ordre inverse
SCoc.....	Séquences de chiffres en ordre croissant
UQAC.....	Université du Québec à Chicoutimi
M.....	Moyenne
ÉT.....	Écart-type
<i>n</i>	Nombre de données
TDA/H.....	Trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité
ANOVA.....	Analyses de la variance

Remerciements

Je dédie cet essai doctoral à la mémoire de ma maman et de mon grand-papa, dont l'amour et la joie de vivre continuent de m'inspirer chaque jour.

Cela dit, j'aimerais remercier ma directrice de recherche, Dre Julie Bouchard, Ph. D., neuropsychologue et directrice du département des sciences de la santé de l'UQAC. Merci, Julie, pour ta confiance, de n'avoir jamais douté de mes échéanciers, même lorsque moi-même j'en doutais. Merci de m'avoir laissé l'autonomie nécessaire pour guider ce projet à ma façon, tout en étant là pour me permettre d'avancer. Je souhaite également remercier Laurie Simard, Ph. D., pour ton engagement et ta générosité, notamment à travers ton projet Cogni-Actif. Ton soutien a été essentiel à la réalisation de cette étude. Merci !

Sur un plan plus personnel, je tiens à remercier mon conjoint, Christophe. Ta confiance en moi et ton soutien ont été inestimables. Merci pour ta patience, ta compassion et ta douceur, surtout dans les moments plus difficiles. Un grand merci également à ma sœur. Merci de m'avoir écoutée lors de nos FaceTime matinaux et de m'avoir soutenue tout au long de ce parcours. Enfin, un merci spécial à Dahlia pour avoir été une amie incroyable. Ce parcours ardu, parfois presque insurmontable, a été plus doux grâce à toi.

Introduction

Dans le contexte de la neuropsychologie, les FEs sont largement reconnues comme des éléments complexes et cruciaux du comportement adaptatif humain (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Elles sont définies comme la capacité d'exercer un contrôle intentionnel sur les comportements et la pensée, et elles jouent un rôle important dans le développement des compétences cognitives et sociocognitives chez les enfants (Chevalier, 2010). Le modèle proposé par Miyake et ses collaborateurs (2000) offre une distinction claire entre les activités automatisées et celles exigeant l'implication des FEs. Selon ce modèle, les FEs se déclinent en trois composantes majeures : l'inhibition, nécessaire pour supprimer des informations ou des réponses automatiques obsolètes en vue d'atteindre un objectif (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000), la mémoire de travail, qui consiste à maintenir et manipuler brièvement des informations en mémoire pour accomplir une tâche (Diamond, 2013) et la flexibilité cognitive, qui facilite le passage fluide entre différentes tâches, le changement de stratégie et l'adoption de perspectives multiples (Chevalier, 2010).

Les FEs influencent divers aspects de la vie, y compris les relations interpersonnelles (Tangney et al., 2004), les performances académiques (Diamond, 2013), l'adaptation sociale et professionnelle (Bailey, 2007), ainsi que la qualité de vie (Hunter et al., 2012). En outre, les FEs peuvent se voir altérées dans de nombreux troubles de santé mentale (Barch, 2006; Blume et al., 2018; Bouchard et al., 2010; Penadés et al., 2007;

Tavares et al., 2007; Ventura Miller et al., 2011). En ce sens, le développement des FE chez les enfants s'avère un sujet extrêmement important.

À cet égard, l'environnement scolaire se révèle être un contexte propice pour favoriser le développement des FE, tirant ainsi parti de la grande plasticité cérébrale des enfants en âge scolaire (Hensch, 2005). Étant donné que les enfants passent en moyenne de 25 à 30 heures par semaine à l'école, le contexte éducatif peut jouer un rôle essentiel dans la maturation des FE, d'autant plus que ces fonctions sont sensibles à l'entraînement et à la pratique (Diamond & Ling, 2016). Cela dit, l'instauration de programmes spécifiques peut favoriser l'essor des FE chez les enfants d'âges préscolaire et scolaire (Anderson, 2002). Dans l'étude menée par Diamond et Lee (2011), plusieurs approches ont été identifiées telles que le programme informatisé Cogmed©, les arts martiaux, la pleine conscience et le yoga, le programme *Tools of the Mind*, ainsi que l'AP aérobique. Ces programmes ont mené à des progrès notables des FE chez les enfants âgés de 4 à 12 ans par rapport aux groupes témoins (Diamond & Lee, 2011).

Les effets bénéfiques de l'AP sur la santé physique et mentale tout au long de la vie sont bien documentés (Organisation mondiale de la Santé, 2024; Penedo & Dahn, 2005; Poirel, 2017). Régulièrement étudiée sous l'angle de la santé, l'AP suscite désormais un intérêt croissant en tant que catalyseur potentiel des capacités cognitives (Best & Miller, 2010; Brisswalter et al., 2002; Diamond & Lee, 2011; Tomporowski et al., 2008). Par ailleurs, plusieurs études supportent l'idée qu'il existe une relation positive entre l'AP

et les fonctions cognitives, en particulier avec les FEs (Egger et al., 2019). En effet, l'AP est considérée comme l'une des interventions les plus efficaces pour améliorer une large gamme de fonctions cognitives (Alvarez-Bueno et al., 2017), ayant aussi un impact positif sur la réussite scolaire (Erickson et al., 2019). Ainsi, des études ont affirmé qu'une seule séance d'exercices aérobiques de 20 à 30 minutes d'intensité modérée engendre un effet significatif sur les FEs (Chang et al., 2012; Ludyga et al., 2020). De plus, intégrer une composante cognitive à l'AP (ex. : répondre à des tables de mathématiques en courant sur un tapis roulant) pourrait entraîner des améliorations au niveau des FEs qui sont supérieures à celles obtenues avec l'AP seule ou les activités cognitives seules (de Greeff et al., 2018). Intervenir auprès des enfants d'âge scolaire par le biais de l'AP cognitivement engageante s'avère donc être une perspective prometteuse. Toutefois, les travaux conduits sont encore récents et les connaissances sur les liens entre l'AP cognitivement engageante et les FEs sont à affiner.

Cette étude vise à mieux documenter l'impact aigu, soit les effets immédiats, d'une séance d'intervention combinant l'AP et l'engagement cognitif sur la flexibilité cognitive, la mémoire de travail et l'inhibition des enfants d'âge scolaire. Ce type d'intervention prometteur peut d'ailleurs s'intégrer facilement aux pratiques éducatives en milieu scolaire. Les résultats de cette recherche peuvent influencer la formulation de politiques en santé publique et en éducation, contribuant ainsi à améliorer les performances scolaires des élèves en optimisant leur potentiel cognitif. En outre, il est important de noter qu'au Canada, malgré les preuves scientifiques et les recommandations, une grande majorité

d'enfants et de jeunes ne parviennent pas à respecter les directives en matière d'AP (Organisation mondiale de la Santé [OMS], 2020). Seulement 39 % des Canadiens âgés de 5 à 17 ans atteignent les 60 minutes d'AP d'intensité modérée à élevée recommandées quotidiennement (OMS, 2020). Cette intervention pourrait contribuer à réduire ce déficit en augmentant le temps consacré à l'AP des enfants tout en optimisant leur fonctionnement exécutif, offrant ainsi des avantages durables autant pour leur santé physique que pour leur développement cognitif.

Contexte théorique

Les fonctions exécutives

Le domaine des FEs a suscité un intérêt croissant depuis les années 1990, mais il reste difficile d'établir une définition claire et unifiée de ce concept en raison de la variété des terminologies utilisées (Espy, 2004; Willoughby & Blair, 2016). Les FEs sont souvent désignées par différents termes tels que fonctionnement exécutif (Chevalier, 2010; Collette & Salmon, 2014), contrôle exécutif (Diamond, 2013; Espy, 2004; Gall et al., 2009), fonctions cognitives frontales (Calso et al., 2015; Godefroy et al., 2008), contrôle cognitif (Diamond, 2013; Godefroy et al., 2008) ou compétences exécutives (Espy et al., 2008). Cette diversité terminologique témoigne de la difficulté inhérente à définir opérationnellement ce concept complexe. En effet, Goldstein et ses collègues (2013) ont recensé plus de 30 définitions différentes des FEs dans leur chapitre de livre. Ainsi, les chercheurs adoptent des approches divergentes pour définir les FEs et plusieurs modèles théoriques ont été proposés pour les expliquer (Diamond, 2013; Lezak, 2012; Miyake et al., 2000; Norman & Shallice, 1986; Stuss, 2011; Suchy, 2015).

Cependant, malgré ces divergences, il existe un consensus sur la complexité et l'importance du fonctionnement exécutif dans les comportements adaptatifs de l'être humain (Best & Miller, 2010; Diamond, 2013; Miyake et al., 2000; Welsh et al., 1991). Ainsi, les FEs sont essentielles à la mise en place de comportements efficaces et appropriés au contexte d'une personne (Votruba-Drzal et al., 2013). Le modèle des FEs de Miyake et ses collègues (2000) met en évidence la distinction entre les activités routinières, qui reposent sur des réponses automatisées associées à la mémoire procédurale et aux praxies

(p. ex.: se brosser les dents, faire de la bicyclette, attacher ses chaussures, etc.) et les activités qui exigent une attention soutenue et mobilisent les ressources cognitives en faisant appel aux FEs (p. ex.: résoudre un problème complexe, acquérir une nouvelle compétence, s'adapter à une situation nouvelle et imprévue, etc.). La définition des FEs proposée par Diamond (2013) est en accord avec celle de Miyake et ses collaborateurs (2000) en les considérant comme un ensemble de fonctions volontaires et descendantes (*top-down*) qui permettent d'accomplir des tâches non routinières lorsque des réponses automatiques ne sont pas suffisantes pour réaliser une nouvelle tâche. Selon ces auteurs, les FEs sont essentielles dans les processus de pensées, d'émotions et d'actions dirigées vers un but conscient (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000).

Les premiers modèles conceptuels des FEs, tels que ceux proposés par Baddeley et Hitch (1974) et Norman et Shallice (1986), considèrent les FEs comme une fonction unitaire et singulière, contrôlée par une seule région cérébrale. Cependant, des recherches ultérieures ont remis en question cette perspective et ont montré que les FEs sont en réalité constituées de multiples composantes distinctes, interconnectées et impliquant différentes régions cérébrales (Lehto et al., 2010; Miyake et al., 2000). En tenant compte de cela, la perspective scientifique actuelle met en évidence le concept de diversité des FEs tout en soulignant leur base commune (Miyake & Friedman, 2012). Ce concept fait référence à l'idée que, bien qu'il existe un ensemble de processus cognitifs de base partagés qui sous-tendent les FEs, il y a également une grande variété dans la manière dont ces fonctions sont exprimées. L'analyse factorielle confirmatoire de Miyake et ses collaborateurs (2000)

a contribué à délimiter trois principales composantes des FE : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail. Par ailleurs, de nombreux chercheurs s'accordent sur l'importance de ces trois FE fondamentales (Burgess & Simons, 2005; Diamond, 2013; Espy, 2004; Lehto et al., 2010; Miller & Cohen, 2001). Ainsi, selon Miyake et ses collègues (2000), l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail sont à la fois des composantes distinctes et interconnectées entre elles.

Le lobe frontal, en particulier le cortex préfrontal, est largement reconnu comme étant le siège principal des FE (Luria, 2012; Rosch & Mostofsky, 2019). Ainsi, de nombreux cas cliniques ont été étudiés (p. ex. : Barceló & Knight, 2002; Goldstein et al., 2004; Stuss et al., 2000) afin d'examiner les altérations du fonctionnement exécutif causées par des lésions frontales, l'un des plus célèbres étant le cas de Phineas Gage en 1848 (Macmillan, 2000; Roy et al., 2012). Une caractéristique notable est que cette région cérébrale subit une maturation plus tardive et plus prolongée par rapport aux autres régions cérébrales (Gogtay et al., 2004; Rosch & Mostofsky, 2019). Il est reconnu que le développement des FE commence dès la naissance et se poursuit jusqu'à l'adolescence, voire jusqu'au début de l'âge adulte, moment où leur pleine efficacité est finalement atteinte (Best & Miller, 2010; Diamond, 2002; Zelazo & Müller, 2002). Cette période de croissance est temporellement alignée avec la maturation du cortex préfrontal, qui n'atteint sa pleine maturité que vers l'âge d'environ 25 ans (Censabella, 2007; Chevalier, 2010; Giedd, 2008; Jurado & Rosselli, 2007; Stuss, 1992).

Par ailleurs, il est important de souligner que les différentes régions du cerveau ne fonctionnent pas de façon cloisonnée (Li et al., 2022). En réalité, le cerveau est constitué de circuits neuronaux interconnectés et complexes, formant un réseau dynamique (Collette & Salmon, 2014; Li et al., 2022). Des recherches plus spécifiques ont montré que chaque composante des FEs (telle que l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail) est liée à des structures cérébrales distinctes (Chung et al., 2014; Leber et al., 2008). Ainsi, des recherches, comme celle menée par Chung et ses collègues (2014), ont mis en évidence une corrélation entre les processus d'inhibition et l'activation du cortex préfrontal ventrolatéral ainsi que du gyrus frontal inférieur. De même, les travaux d'Aron et ses collaborateurs (2004) suggèrent une relation entre l'inhibition et l'activation du cortex frontal inférieur droit. En ce qui concerne la flexibilité cognitive, le cortex pariétal a été identifié comme une région clé par le biais de la neuro-imagerie (Chung et al., 2014). De plus, une étude utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) a démontré que l'activité neuronale dans les noyaux gris centraux, le cortex cingulaire antérieur et le cortex pariétal postérieur permet de prédire les performances dans les tâches de flexibilité cognitive (Leber et al., 2008). Enfin, des observations ont révélé une activation constante dans le cortex pariétal et le cortex préfrontal, plus spécifiquement dans les régions dorsolatérales, lors d'une tâche impliquant la mémoire de travail (Chung et al., 2014).

Enfin, bien que chaque fonction soit considérée comme ayant ses propres caractéristiques, elles partagent des processus cognitifs communs et travaillent en

collaboration pour soutenir le fonctionnement cognitif global, ce qui est cohérent avec le concept de diversité des FEs mentionné précédemment (Miyake et al., 2000). Par exemple, l'inhibition permet de supprimer de la mémoire de travail les informations inutiles et permet un meilleur maintien et une meilleure manipulation d'informations cibles, rendant interdépendants les processus d'inhibition et de la mémoire de travail (Lehto et al., 2010; Miyake et al., 2000).

Les trois prochaines sections seront consacrées à la définition des trois composantes fondamentales du fonctionnement exécutif.

Inhibition

La première composante qui se retrouve dans l'analyse factorielle confirmatoire de Miyake et ses collègues (2000), à savoir l'inhibition, correspond à la capacité d'un individu à bloquer ou à supprimer des informations, une réponse automatique ou obsolète qui ne sont plus pertinentes pour atteindre l'objectif initial (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000; Simpson & Riggs, 2007). Cette composante permet de mettre de côté les distractions et de se concentrer sur la tâche à accomplir (Diamond, 2013). En termes généraux, l'inhibition est une FE qui joue un rôle de supervision ou de contrôle sur les actions (Best & Miller, 2010). Elle permet de réguler l'attention, les comportements, les émotions et les pensées afin de résister à des prédispositions internes afin d'agir de manière plus appropriée (Diamond, 2013). L'inhibition se révèle essentielle pour un fonctionnement exécutif efficace dans divers contextes, tels que la résolution de conflits,

la suppression de réponses prédominantes, ou le contrôle de l'attention sélective (Diamond, 2013). Sans l'inhibition, l'humain serait dominé et influencé par ses impulsions, ses anciennes habitudes de pensées ou d'actions, ainsi que par les multiples stimuli perturbateurs de son environnement (Diamond, 2013). Par conséquent, le contrôle inhibiteur offre la possibilité de sélectionner et d'ajuster nos réactions et comportements de manière réfléchie, au lieu de succomber à des réponses automatiques et/ou impulsives (Miyake et al., 2000).

Mémoire de travail

La deuxième FE essentielle dans le modèle de Miyake et ses collègues (2000) est la mémoire de travail. Contrairement à la mémoire à court terme qui se limite à la rétention d'informations, la mémoire de travail implique la manipulation active et le maintien d'informations (Diamond, 2013). Or, la mémoire à court terme s'avère un élément important afin de pouvoir accéder à une mémoire de travail efficace (Reznick, 2008). Ainsi, la mémoire de travail est définie comme la capacité à maintenir des informations en mémoire pendant une courte période, allant de plusieurs secondes à quelques minutes tout en les manipulant mentalement pour exécuter une tâche (Diamond, 2013). Par exemple, lorsque l'enfant doit réciter à rebours une série de chiffres ou faire un calcul mental, c'est sa mémoire de travail qui est sollicitée, car en plus de garder les informations actives dans sa mémoire à court terme, il doit les manipuler mentalement pour arriver à donner une réponse ou à résoudre un problème sans sauter d'étapes. De plus, la mémoire de travail est essentielle pour établir des liens entre différentes informations afin de les

regrouper en une entité globale (Er-Rafiqi et al., 2017). Elle est également nécessaire pour dissocier les éléments afin de les organiser de différentes façons (Er-Rafiqi et al., 2017).

Flexibilité cognitive

La flexibilité cognitive, la troisième composante du modèle, également connue sous le nom de flexibilité mentale, flexibilité attentionnelle, capacité de « *updating* », « *switching* » ou de « *shifting* », se caractérise par la capacité à effectuer des transitions fluides et rapides entre différentes opérations cognitives (Chevalier, 2010; Miyake et al., 2000). En d'autres termes, la flexibilité cognitive implique la capacité à effectuer des transitions rapides entre différentes tâches ou consignes, ainsi qu'à changer de stratégie et à analyser l'environnement selon diverses perspectives (Diamond, 2013). La flexibilité cognitive est importante dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne puisqu'elle permet d'adapter son comportement en fonction de son environnement (Clément, 2006). Elle permet de tolérer les modifications qui peuvent survenir à tout moment dans la vie de tous les jours (Gagné et al., 2009). Ainsi, lorsqu'un plan prévu est modifié à la dernière minute, la flexibilité cognitive nous permet d'ajuster nos pensées et nos actions pour nous adapter à la situation afin de nous permettre d'établir un nouveau plan (Clément, 2006). Cette FE joue également un rôle important dans le processus de prise de décision, en nous permettant d'envisager différentes options et d'évaluer leurs avantages et leurs inconvénients rapidement (Stahl & Pry, 2005). La résolution de problèmes est un autre domaine où la flexibilité cognitive est essentielle, car elle permet de générer des idées

alternatives, d'adopter différents points de vue et d'explorer diverses stratégies afin de générer une réponse adéquate (Clément, 2006).

Le rôle primordial des fonctions exécutives dans tous les domaines de la vie

Plusieurs auteurs rapportent une meilleure qualité de vie chez les personnes qui ont des FEs plus développées (Brown & Landgraf, 2010; Davis et al., 2010). À l'inverse, des lacunes au niveau du fonctionnement exécutif peuvent avoir des conséquences significatives dans de nombreux domaines de la vie d'un individu, ainsi que dans la vie de son entourage (Diamond, 2013; Hunter et al., 2012). Par exemple, une faible capacité d'inhibition peut entraîner des difficultés à résister aux tentations et à réguler les comportements impulsifs, ce qui peut avoir un impact négatif sur les relations interpersonnelles et les performances académiques (Diamond, 2013). De même, des difficultés au niveau de la flexibilité cognitive peuvent rendre difficiles l'adaptation à de nouvelles situations et l'ajustement aux changements, ce qui peut entraîner des problèmes d'adaptation sociale et professionnelle (Bailey, 2007; Diamond, 2013). Toutes ces difficultés peuvent avoir un impact considérable sur la vie quotidienne et le bien-être global de l'individu et de son entourage (Eakin et al., 2004). Ainsi, Tangney et ses collaborateurs (2004), ont démontré que les FEs sont également corrélées à de meilleures relations et compétences interpersonnelles, à un attachement sécurisé et à des réponses émotionnelles plus optimales. Ainsi, les FEs sont liées au développement socioaffectif, y compris les compétences sociales, interpersonnelles et communicationnelles (Mischel et al., 1989; Riggs et al., 2006; Sasser et al., 2015), ainsi qu'à l'agressivité (Raaijmakers et

al., 2008; Sasser et al., 2015) et à la régulation émotionnelle (Gyurak et al., 2009; Schmeichel et al., 2009). En effet, Diamond, (2013) souligne l'importance cruciale des FEs dans presque tous les aspects de la vie.

Ainsi, des FEs plus faibles peuvent avoir des répercussions sur la santé physique (Moffitt et al., 2011). Elles peuvent accroître la vulnérabilité face à certains comportements et conditions, tels que la sédentarité (Cappelli et al., 2019; Riggs et al., 2010), l'obésité (Cappelli et al., 2019; Duckworth et al., 2010), la suralimentation (Cappelli et al., 2019; Riggs et al., 2010) et une faible adhérence aux traitements médicaux (Ventura Miller et al., 2011). Ces liens suggèrent une interaction bidirectionnelle, où des déficits exécutifs peuvent limiter la capacité à adopter et à maintenir des comportements sains, tandis que ces habitudes, en retour, peuvent nuire au bon fonctionnement des FEs à long terme.

En outre, les FEs sont altérées dans de nombreux troubles de la santé mentale, notamment dans les troubles de l'utilisation de substances (Ventura Miller et al., 2011), dans les troubles dépressifs (Tavares et al., 2007), dans la schizophrénie (Barch, 2006; Thomas et al., 2009), dans le trouble obsessionnel compulsif (Penadés et al., 2007), dans le trouble de personnalité limite (Bouchard et al., 2010) et dans les troubles alimentaires (Blume et al., 2018). Les troubles neurodéveloppementaux et acquis, tels que le TDA/H, le spectre de l'autisme, les troubles spécifiques de l'apprentissage, l'épilepsie, les

traumatismes crâniens, les tumeurs cérébrales, et d'autres encore, sont aussi associés à des altérations au niveau des FEs (Roy et al., 2012).

Enfin, plusieurs études abordent le rôle primordial des FEs dans l'apprentissage (Alloway et al., 2005; Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008). En effet, les déficits au niveau des FEs sont associés à l'apparition de difficultés scolaires, ce qui compromet la réussite des élèves (Best & Miller, 2010; Borella et al., 2010; Duncan et al., 2007; Gathercole et al., 2004; Swanson & Alloway, 2012). Les FEs sont également identifiées comme des indicateurs prédictifs du succès scolaire chez les enfants (Chevalier, 2010). Ainsi, la mémoire de travail est fortement liée à la réussite en mathématique et en anglais (Espy et al., 2008; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), tandis que l'inhibition contribue aux mêmes domaines, en plus d'être associée à la réussite en sciences (Espy et al., 2004; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006) et liée à la lecture (Gernsbacher, 1993) et à l'apprentissage du vocabulaire (Dempster & Cooney, 1982). De plus, les FEs sous-développées ou altérées peuvent avoir un impact négatif sur la performance au travail et sur la stabilité professionnelle (Bailey, 2007).

Interventions pour soutenir le développement des fonctions exécutives des enfants

Considérant que les enfants d'âge scolaire passent en moyenne 25 à 30 heures à l'école par semaine et que la plasticité cérébrale est importante chez ces sujets en plein développement, le contexte scolaire offre un environnement propice, voire idéal, pour mettre en place des interventions visant à stimuler le développement des FEs des enfants

(Hensch, 2005; Markham & Greenough, 2004). Plusieurs études existent, illustrant que différents facteurs liés au milieu éducatif peuvent contribuer à influencer le développement des FE de l'enfant tels que, la qualité de l'enseignement, l'interaction avec les pairs, le climat scolaire, les ressources pédagogiques et le soutien à l'autonomie (Barker et al., 2014; Diamond et al., 2007; Groeneveld et al., 2010). Étant donné que les FE sont sensibles aux entraînements et à la pratique (Diamond & Ling, 2016), l'implémentation de programmes spécifiques ciblant ces fonctions cognitives peut favoriser leur développement chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire (Anderson, 2002; Diamond et al., 2007). En tirant parti du contexte scolaire, les interventions visant à stimuler les FE des enfants peuvent être mises en œuvre de manière cohérente et systématique, offrant une continuité et une progression dans le développement des compétences exécutives tout au long du parcours scolaire.

Dans l'étude menée par Diamond et Lee (2011), plusieurs approches ont été identifiées et ont démontré des améliorations significatives des FE chez les enfants âgés de 4 à 12 ans ayant participé à différents programmes, par rapport aux groupes témoins. Un des programmes examinés est le programme Cogmed©, qui est un programme informatisé d'entraînement de la mémoire de travail (Pearson, 2016). Le programme d'entraînement Cogmed© propose des sessions informatisées de 30 à 45 minutes, réparties sur une période de 5 à 7 semaines. Chaque session comprend une variété de tâches conçues pour améliorer différents aspects de la mémoire de travail (Pearson, 2016). Ce programme a été étudié dans plus de 50 recherches (Beck et al., 2010; Diamond & Lee, 2011; Green

et al., 2012; Klingberg et al., 2005; Shipstead et al., 2012). Plusieurs d'entre elles ont confirmé l'efficacité de ce programme en affirmant qu'il augmente à court terme la capacité de la mémoire de travail en comparaison aux groupes témoins (Holmes et al., 2009; Nutley et al., 2011; Rabipour & Raz, 2012). D'autres études, ayant examiné les effets six mois après la participation au programme, ont également montré que les améliorations au niveau de la mémoire de travail persistent dans le temps (Holmes et al., 2009; Klingberg et al., 2005; Roughan & Hadwin, 2011). Enfin, le programme Cogmed© a aussi été associé à une diminution potentielle des symptômes du TDA/H et d'autres troubles d'apprentissage, ainsi qu'à des améliorations de la capacité de raisonnement et des processus attentionnels (Klingberg et al., 2005; Mezzacappa & Buckner, 2010; Olesen et al., 2004).

Les arts martiaux ont aussi été reconnus pour leur impact positif sur le contrôle inhibiteur (Diamond & Lee, 2011). Une étude a révélé que les enfants pratiquant régulièrement le *Tae-Kwon-Do* traditionnel ont obtenu de meilleurs résultats en ce qui concerne les FEs que ceux suivant un programme d'éducation physique standard (Lakes & Hoyt, 2004). Cette amélioration des FEs se révèle plus marquée chez les participants plus âgés, et légèrement plus élevée chez les garçons par rapport aux filles. En outre, les participants du groupe expérimental ont enregistré des améliorations plus importantes en calcul mental, sollicitant plus spécifiquement la mémoire de travail (Lakes & Hoyt, 2004).

Ensuite, la pleine conscience et le yoga ont été mis de l'avant comme étant des pratiques bénéfiques pour le fonctionnement exécutif (Diamond & Lee, 2011). L'étude de Flook et ses collègues (2010) s'est penchée sur l'efficacité d'un programme scolaire dédié aux pratiques de pleine conscience, ciblant un groupe de 64 enfants âgés de 7 à 9 ans. S'étalant sur 8 semaines avec deux séances hebdomadaires de 30 minutes, ce programme visait spécifiquement à renforcer les FEs des jeunes participants. L'évaluation des impacts du programme a été réalisée grâce à des questionnaires remplis par les enseignants et les parents, mesurant les FEs des enfants tant au début qu'à la fin du programme. Les analyses ont révélé que les enfants présentant initialement des FEs moins efficaces et participant au programme de pleine conscience ont manifesté des améliorations notables par rapport au groupe témoin, ce dernier s'étant adonné à une activité de lecture silencieuse. Les progrès observés chez ces enfants étaient particulièrement évidents dans les domaines de la régulation comportementale, de la métacognition et du contrôle exécutif global (Flook et al., 2010). En ce qui a trait au yoga, une étude a été menée impliquant des filles âgées de 10 à 13 ans qui ont été séparées en deux groupes : un groupe soumis à des séances de yoga et un groupe à l'entraînement physique (Manjunath & Telles, 2001). Au début et à la fin d'une période d'un mois, le temps de planification et d'exécution, ainsi que le nombre de mouvements requis pour accomplir la tâche de la *Tour de Londres*, a été mesuré pour les deux groupes. Le groupe ayant suivi les séances de yoga a significativement réduit leur temps de planification et d'exécution, tandis que le groupe d'entraînement physique n'a montré aucun changement à ce niveau (Manjunath & Telles, 2001).

Le programme *Tools of the Mind* a lui aussi été identifié comme ayant un impact positif sur le développement des compétences exécutives chez les enfants d'âge préscolaire et de la maternelle (Bodrova & Leong, 2012). Fondé sur les travaux de Vygotsky (1978), ce programme met l'accent sur le jeu de rôle social pour favoriser les compétences exécutives. Il encourage les enfants à utiliser des stratégies de réflexion et de planification, ainsi qu'à s'engager dans des jeux de rôle et des activités collaboratives (Bodrova & Leong, 2012). Bien que les enfants ayant suivi le programme aient montré des améliorations significatives dans les modules pratiqués, il n'y a pas eu de généralisation des acquis, suggérant qu'il est nécessaire d'intégrer ce programme de manière plus holistique dans le parcours scolaire pour que les bénéfices puissent se généraliser (Bodrova & Leong, 2012).

Par ailleurs, on retrouve aussi dans la littérature des programmes qui sont complémentaires à l'enseignement régulier et qui se sont avérés efficaces afin d'améliorer les FEs des enfants, tel que le programme *Promoting Alternative Thinking Strategies* (PATHS; Greenberg et al., 1995). Dans ce programme les enseignants ont été formés à développer les compétences des enfants en matière de maîtrise de soi, de reconnaissance et de gestion des émotions, ainsi que de résolution de problèmes interpersonnels (Riggs et al., 2006). Après un an de participation au programme PATHS, les enfants de 7 à 9 ans ont montré une amélioration au niveau de l'inhibition et de la flexibilité cognitive par rapport au groupe témoin n'ayant pas participé au programme PATHS (Riggs et al., 2006). De plus, les enfants ayant montré des améliorations lors de l'évaluation finale ont présenté

moins de problèmes de comportement internalisés ou externalisés un an plus tard (Riggs et al., 2006).

Enfin, l'AP aérobique a été reconnue comme un moyen efficace pour améliorer les FEs tout en jouant un rôle sur le cortex préfrontal (Chaddock et al., 2011; Hillman et al., 2008). L'étude de Tuckman et Hinkle (1986) a mis en évidence que l'augmentation progressive de l'intensité de la course aérobique au fil du temps entraînait une amélioration de la flexibilité cognitive et de la créativité chez les jeunes âgés de 8 à 12 ans. Une autre étude a établi une corrélation entre l'AP et la mémoire de travail chez des enfants âgés de 7 à 9 ans (Kamijo et al., 2011). Dans cette étude, les enfants ont été répartis en deux groupes : un groupe expérimental qui a participé à deux heures d'AP axée sur l'amélioration de la condition cardiorespiratoire après chaque journée scolaire, et un groupe témoin qui n'a pas suivi cet entraînement. L'objectif de l'étude était d'examiner l'impact de ce programme d'AP sur la mémoire de travail. Une version modifiée de la tâche de *Sternberg* a été utilisée pour évaluer les exigences de la mémoire de travail. Les résultats ont révélé que l'amélioration de la condition cardiorespiratoire grâce à l'intervention était associée à une meilleure précision des réponses, contrairement au groupe témoins. Les effets bénéfiques étaient plus marqués pour les tâches nécessitant une charge de mémoire de travail faible à modéré, mais n'étaient pas observés pour les tâches plus complexes (Kamijo et al., 2011).

Relation entre l'activité physique et les fonctions exécutives

La section précédente avait pour objectif de présenter différentes interventions utilisées pour améliorer les FEs (Diamond & Lee, 2011). Parmi ces interventions, l'AP aérobique a été abordée. Les effets bénéfiques de l'AP sur la santé physique et mentale tout au long de la vie sont bien documentés (Jacquart et al., 2019; Legrand et al., 2023). Régulièrement étudiée sous l'angle de la santé physique, l'AP suscite désormais un intérêt croissant en tant que catalyseur potentiel des capacités cognitives (Best & Miller, 2010; Brisswalter et al., 2002; Cheval et al., 2023; Diamond & Lee, 2011; Hamer et al., 2018; Tomporowski et al., 2008). En effet, l'AP est désormais reconnue comme la stratégie non pharmacologique la plus efficace pour promouvoir la santé cérébrale (Cefis, 2019). Ainsi, plusieurs études supportent l'idée qu'il existe une relation positive entre l'AP et les fonctions cognitives, en particulier avec les FEs (Egger et al., 2019). Depuis les années 1960, des centaines d'études ont été publiées en lien avec les effets de l'AP sur le fonctionnement exécutif (Audiffren & André, 2014). Dans cette optique, les FEs, telles que la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et l'inhibition, dont la maturation se déploie tardivement, retiennent particulièrement l'attention en raison de leur capacité à se développer et à s'améliorer en réponse à divers stimuli et environnements (Best & Miller, 2010; Diamond & Lee, 2011; Tomporowski, Davis, Miller & Naglieri, 2008).

Il est entre autres possible de retrouver deux types d'interventions qui semblent favoriser les FEs : l'AP aérobique et l'AP cognitivement engageante (Best & Miller, 2010; Tomporowski et al., 2008). Les paragraphes suivants fourniront un aperçu plus approfondi

de l'état actuel de la littérature concernant l'AP et ses liens avec le fonctionnement exécutif des enfants.

Définitions de l'activité physique

L'OMS décrit l'AP comme tout mouvement du corps généré par les muscles squelettiques qui conduit à une dépense énergétique (OMS, 2024). Selon le Comité scientifique de Kino-Québec (2011), l'AP est un terme qui désigne « les activités de loisirs et utilitaires qui sollicitent suffisamment les ressources physiques du corps pour être associées à un effet positif sur la santé » (p.98). En ce sens, l'AP englobe tous les mouvements effectués dans divers contextes, tels que les loisirs (p. ex. : marche, jardinage, etc.), le travail (p. ex. : classer du matériel, marcher vers une réunion, etc.), les déplacements (p. ex. : se rendre au travail en marchant, se rendre à l'école à bicyclette, etc.), les tâches quotidiennes (p. ex. : se laver, faire le ménage, etc.), les sports, etc. (Bouchard & Shephard, 1994; OMS, 2024).

Afin de ne pas confondre les termes « exercice physique » et « activité physique », il convient de préciser que l'exercice est une forme d'AP planifiée, structurée et réalisée dans le but d'améliorer au moins un aspect de la condition physique (Caspersen et al., 1985; Donnelly et al., 2016).

Effets neurobiologiques de l'activité physique

L'influence de l'AP sur la neurobiologie cérébrale engendre des implications directes pour le fonctionnement exécutif. Parmi les mécanismes clés, le facteur neurotrophique dérivé du cerveau (BDNF : *Brain-Derived Neurotrophic Factor*) joue un rôle crucial (Best & Miller, 2010; Binder & Scharfman, 2004; Winter et al., 2007). En tant que protéine, le BDNF favorise la croissance et la survie des connexions neuronales, tout en agissant comme un modulateur de neurotransmetteurs, transférés d'une cellule à une autre (Bathina & Das, 2015). Cette protéine participe activement à la plasticité cérébrale qui est essentielle pour l'apprentissage et la mémoire (Bathina & Das, 2015). Plusieurs études soulignent que l'AP, tant ponctuelle que régulière, stimule la production accrue de BDNF dans diverses régions cérébrales (Etnier et al., 1997; Fabel & Kempermann, 2008; Ferris et al., 2007; Neeper et al., 1996).

En outre, l'AP engendre un accroissement du flux sanguin cérébral, engendrant ainsi une augmentation du métabolisme de l'oxygène et du glucose (Ainslie et al., 2008; van Praag, 2009). Dans ce contexte, il est bien établi que l'AP aérobique renforce la vascularisation de l'hippocampe, une zone cérébrale fondamentale pour la mémoire (Erickson et al., 2011; Pereira et al., 2007). De plus, des études ont révélé qu'une pratique intense d'AP chez les enfants de 9 à 10 ans entraîne une augmentation du volume de la substance blanche ainsi que de l'hippocampe, améliorant le fonctionnement de la mémoire et de l'attention (Chaddock et al., 2010, 2011). Par ailleurs, l'augmentation du volume de la substance blanche suggère que les enfants en bonne condition physique pourraient

bénéficier d'une conduction neuronale plus efficace (Chaddock et al., 2011), augmentant ainsi l'activation cérébrale (Ludyga et al., 2017; Pontifex et al., 2013) et favorisant l'activité dopaminergique au niveau cérébral (Tantillo et al., 2002). De plus, Schneider et ses collaborateurs (2009) avancent qu'à court terme, l'AP permettrait une activation des neurones corticaux associée à un état de relaxation favorable à l'apprentissage.

Globalement, la pratique de l'AP durant l'enfance est liée à un développement cérébral accru, favorisant ainsi une meilleure santé cognitive à l'âge adulte (Bidzan-Bluma & Lipowska, 2018; Pluncevic, 2012). Dans cette optique, l'AP pourrait jouer un rôle protecteur pour le cerveau, renforçant sa résilience face à divers troubles neurologiques, grâce à une forme de réserve cognitive (Voss et al., 2013).

Le développement cognitif et moteur

Durant l'enfance, les habiletés motrices, au même titre que les capacités cognitives, évoluent rapidement, jusqu'à atteindre un niveau relativement stable à l'âge adulte (Cech & Martin, 2012). Une relation étroite a par ailleurs été mise en évidence entre les trajectoires du développement cognitif et celles du développement moteur et physique (Diamond, 2000). Les trajectoires développementales sont le résultat d'interactions complexes entre la maturation biologique (cérébrale, nerveuse, musculosquelettique), les apprentissages, et les influences de l'environnement (Cech & Martin, 2012; Diamond, 2000), telles que l'AP (Alvarez-Bueno et al., 2017). Cela dit, la trajectoire du développement moteur est étroitement liée à celle du développement cognitif, cette

association reposant sur une relation bidirectionnelle entre ces deux domaines du développement global de l'enfant (Diamond, 2000, 2007). Le développement de compétences motrices chez l'enfant contribue au renforcement des connexions neuronales liées aux fonctions cognitives, tandis qu'à l'inverse, des progrès sur le plan cognitif peuvent faciliter l'acquisition de compétences motrices plus complexes (Diamond, 2000, 2007).

Cela dit, au-delà des effets neurobiologiques généraux de l'AP sur les FEs, un lien plus direct peut également être observé entre ces deux composantes. En effet, la réalisation de tâches motrices, notamment dans le cadre de certaines AP, mobilise directement les FEs. Par exemple, l'inhibition est sollicitée dans de nombreux sports où les participants doivent réfréner des réponses automatiques pour adopter un comportement plus adapté à la situation (Albaladejo-García et al., 2023). C'est le cas lorsqu'un joueur inhibe l'impulsion de tirer au but pour effectuer une passe stratégique. De même, la flexibilité cognitive est fortement mobilisée dans des sports impliquant des changements rapides de contexte, comme le basketball (Xu, Zhang, Zhang, Feng, et al., 2022) ou le tennis (Xu, Zhang, Zhang, Wang, et al., 2022), où il est nécessaire de s'ajuster en continu aux actions de l'adversaire ou aux imprévus du jeu. Enfin, la mémoire de travail est sollicitée dans les activités qui exigent de retenir et de manipuler des informations en temps réel, comme suivre des séquences de mouvements en danse (Shen et al., 2020).

Recommandations pour les enfants en matière d'activité physique

Selon les directives de l'OMS publiées en 2020, il est recommandé aux enfants et adolescents âgés de 5 à 17 ans de s'engager dans au moins 60 minutes d'AP d'intensité modérée à intense chaque jour de la semaine. De plus, il est recommandé de pratiquer des activités d'endurance d'intensité soutenue qui renforcent le système musculaire, au moins trois fois par semaine. Une autre recommandation est de limiter les comportements sédentaires, en particulier le temps passé devant les écrans (OMS, 2020). Les recommandations canadiennes en matière de mouvements sur 24 heures pour les enfants et les jeunes (5 à 17 ans) émises par la Société canadienne de physiologie de l'exercice (SCPE) en 2020 sont conformes à celles de l'OMS. En plus des 60 minutes d'AP modérée à intense, il est recommandé d'inclure plusieurs heures d'AP légères, qu'elles soient structurées ou non structurées. De plus, il est recommandé de limiter le temps passé devant les écrans à deux heures par jour et de minimiser autant que possible les périodes prolongées en position assise (SCPE, 2020).

Enfin, au Québec, le ministère de l'Éducation requiert que les élèves du primaire participent à deux heures de cours d'éducation physique hebdomadairement, conformément à la réglementation en vigueur (Éditeur officiel du Québec, 2024). Toutefois, même avec cette exigence, il est constaté que les enfants ont du mal à atteindre les recommandations en matière d'AP par semaine. En ce sens, pour garantir des opportunités équitables et des moments appropriés permettant à tous les enfants et

adolescents de respecter ces directives, il devient impératif de leur assurer un accès égal aux ressources et aux environnements favorables à l'AP (OMS, 2020).

Portrait actuel de la pratique d'activités physiques chez les enfants

Malgré les preuves scientifiques qui démontrent les nombreux avantages de l'AP, la grande majorité des enfants et des jeunes ne parviennent pas à respecter toutes les recommandations en matière d'AP au Canada (OMS, 2020; Tapia-Serrano et al., 2022). En effet, seulement 39 % des Canadiens âgés de 5 à 17 ans parviennent à accumuler 60 minutes d'AP d'intensité modérée à élevée par jour, conformément aux recommandations en vigueur (OMS, 2020). En ce qui concerne les résultats obtenus entre 2009 et 2013 en lien avec les recommandations canadiennes en matière de mouvement sur 24 heures, seuls 17,5 % des enfants et des jeunes respectaient les recommandations en termes de temps alloué à l'AP, ainsi que de temps d'écran et de sommeil (SCPE, 2020).

Des études affirment que les mesures restrictives mises en place en raison de la pandémie de COVID-19 en 2020 et 2021 ont eu un impact négatif sur les comportements liés aux mouvements sur une période de 24 heures chez les enfants et les adolescents, entraînant une détérioration de la situation qui est devenue critique (Paterson et al., 2021). Ainsi, les conclusions tirées de l'examen de la littérature mené par Paterson et ses collaborateurs (2021) mettent en évidence une réduction du temps consacré à l'AP, une augmentation du temps passé devant un écran et du comportement sédentaire en général, ainsi qu'un décalage vers des heures de coucher et de réveil plus tardives. Outre la

pandémie, on observe une diminution de l'AP avec l'âge, la baisse la plus importante étant observée à partir de l'âge de 9 ans (Farooq et al., 2019). Cette diminution touche à la fois les filles et les garçons, mais est plus marquée chez les filles (Farooq et al., 2019).

Chez les enfants, un faible niveau d'AP entraîne des conséquences néfastes sur leur santé physique, mentale et développementale (Micheli et al., 2011). L'inactivité physique s'avère être un facteur contributif de plusieurs maladies chroniques, telles que le diabète de type 2, les maladies coronariennes et certains cancers, et est responsable d'environ 9 % des décès prématurés (Lee et al., 2012). Il est donc essentiel d'encourager une pratique régulière d'AP chez les enfants et de combattre l'inactivité dès le plus jeune âge (Farooq et al., 2019).

Les différentes formes d'activités physiques et les fonctions exécutives

La littérature révèle une diversité d'effets selon les spécificités de l'AP exercée (Brisswalter et al., 2002; Budde et al., 2008; Pesce et al., 2009) telles que l'intensité (Budde et al., 2008; Gabbard & Barton, 1979), la fréquence, le type et la durée de l'AP (Tomprowski et al., 2008). Ainsi, dans leur méta-analyse Chang et ses collègues (2012), soulèvent l'hypothèse que les effets de l'AP sur les FE pourraient être davantage significatifs en tenant compte des paramètres suivants : la durée et l'intensité de l'AP, la condition physique du participant, ainsi que le type de fonction cognitive évaluée (Chang et al., 2012).

Cela dit, l'AP ponctuelle et l'AP régulière doivent être distinguées, car elles induisent des changements différents dans le corps (Audiffren, 2009; Daly-Smith et al., 2018). Par ailleurs, l'AP ponctuelle concerne une séance unique, tandis que l'AP régulière implique la répétition de séances d'AP (Audiffren, 2009). Les effets chroniques de l'AP s'étendent sur des périodes allant de quelques semaines à plusieurs années et engendrent des changements durables dans la plasticité cérébrale et l'efficacité des fonctions cognitives. D'un autre côté, les effets aigus sont transitoires, ils se manifestent peu de temps après le début de l'activité et se dissipent rapidement après son arrêt. Par ailleurs, l'AP aiguë semble moduler temporairement l'activité électrochimique des réseaux neuronaux au sein du système nerveux central (Audiffren, 2009).

Parmi les différentes interventions étudiées dans la littérature qui sont liées à l'AP, deux types semblent avoir un impact positif sur les FE : l'exercice aérobique tel que la marche, la course et le vélo (Budde et al., 2008; Caterino & Polak, 1999; Hillman et al., 2009) et l'AP cognitivement engageante (Egger et al., 2019; Mazzoli et al., 2021; Tomporowski et al., 2015).

Effets aigus de l'activité physique sur les fonctions exécutives

La présente section se penchera davantage sur les résultats et les limites des études expérimentales évaluant les effets de l'AP aiguë sur les FE.

Des recherches ont démontré qu'une seule séance d'exercice aérobique de 20 à 30 minutes à intensité modérée peut avoir un impact significatif sur les FEs (Chang et al., 2012; Ludyga et al., 2020). De même, une récente méta-analyse a révélé qu'une seule session d'AP de 15 à 30 minutes, allant de modérée à intense, peut améliorer temporairement les FEs chez les enfants souffrant d'un Trouble du Déficit de l'Attention avec ou sans Hyperactivité (TDA/H) (Chueh et al., 2022). Ces améliorations seraient attribuables à des mécanismes complexes découlant de processus biochimiques qui favorisent la neuroplasticité cérébrale, tels qu'une augmentation de l'afflux sanguin, de l'oxygénation cérébrale et de la libération de facteurs de croissance comme le BDNF (Diamond & Ling, 2020; Stillman et al., 2020). De plus, cette amélioration temporaire au niveau du fonctionnement exécutif suite à l'AP est reconnue pour avoir un effet positif sur la performance académique et la réussite quotidienne (Bailey, 2007; Borella et al., 2010). Ainsi, des données de plus en plus nombreuses suggèrent que l'AP ponctuelle d'intensité modérée améliore les capacités cognitives (Chang et al., 2012; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris, 2021). Cela se traduit par des effets notables au niveau des FEs tels que l'inhibition, la flexibilité mentale, l'attention, la vitesse de traitement de l'information et la concentration (Ludyga et al., 2017; Medina et al., 2010; Piepmeier et al., 2015; Pontifex et al., 2013; Suarez-Manzano et al., 2018). De plus, des améliorations des performances en lecture (Pontifex et al., 2013; Suarez-Manzano et al., 2018) et en mathématiques (Pontifex et al., 2013) ont également été observées. Cela dit, une séance d'AP unique est reconnue comme étant une stratégie efficace pour faciliter les comportements dirigés vers un objectif et les processus associés, qui à leur tour

influencent la performance dans une variété de tâches complexes dans différents contextes (Diamond, 2013).

Dans l'étude de Drollette et ses collègues (2012), 20 filles et 16 garçons, âgés en moyenne de $9,9 \pm 0,7$ ans, ont complété une version adaptée de la tâche *Flanker*, conçue pour évaluer principalement l'inhibition cognitive, ainsi qu'une adaptation de la tâche *N-back*, mesurant la mémoire de travail. Ces tâches ont été réalisées avant, pendant et cinq minutes après une séance de marche de 20 minutes sur tapis roulant, ainsi qu'avant, pendant et après une période de repos assis de 20 minutes. Les résultats montrent qu'au cours de la séance de marche, les performances des enfants sur les deux tâches cognitives n'ont pas significativement différé de celles observées durant la période de repos assis, suggérant que l'exercice physique n'a ni amélioré ni détérioré leurs capacités cognitives. Cependant, cinq minutes après la marche, une amélioration significative a été notée sur la tâche flanker, notamment en ce qui concerne l'attention et le contrôle des distractions, comparativement à la condition de repos. En revanche, aucun changement significatif n'a été observé sur la tâche *N-back*, qui évalue la mémoire de travail.

Les résultats de l'étude précédente corroborent ceux des travaux de Hillman et ses collègues (2009). Ils ont examiné l'impact de 20 minutes de marche sur les FEs de 20 enfants âgés en moyenne $9,6 \pm 0,7$ an. Ainsi, les participants ont été soumis à deux conditions distinctes : une séance de 20 minutes de marche à intensité modérée sur un tapis roulant et une période de repos de 20 minutes. Après chaque condition, les

participants ont réalisé une tâche mesurant l'inhibition, soit une adaptation de la tâche de *Flanker*. Les résultats ont révélé que l'activité de marche améliorait significativement la précision des réponses des enfants dans la tâche d'inhibition, ainsi que leur compréhension en lecture, en comparaison avec la période de repos de 20 minutes. De plus, les mesures électroencéphalographiques (EEG) ont révélé une augmentation de l'activité cérébrale, notamment dans les régions fronto-centrales, centrales et pariétales, ce qui peut être lié à une amélioration de l'attention (Hillman et al., 2009).

Par ailleurs, les travaux de Hill et de ses collègues (2011) ont souligné les bienfaits de 15 minutes d'AP aérobique d'intensité modérée sur les FEs des jeunes âgés de 8 à 11 ans. Les effets étaient toujours présents près d'une heure après la fin de l'AP aérobique. Cependant, il est essentiel de noter que les effets de cette étude ont été observés uniquement chez les élèves ayant déjà été exposés aux tests utilisés, ce qui soulève la question de l'effet d'apprentissage lié aux instruments de mesure (Hill et al., 2011).

L'étude réalisée par Budde et ses collaborateurs (2010) a pour sa part exploré l'effet de l'AP sur la mémoire de travail des adolescents. Ils ont découvert qu'une séance de course à pied de 12 minutes à une intensité modérée améliorait significativement la mémoire de travail chez les adolescents présentant initialement une capacité limitée au niveau de cette FE. Par ailleurs, aucune amélioration significative n'a été observée au niveau de la mémoire de travail dans le groupe contrôle, ni dans le groupe à haute intensité d'exercice, à l'exception des participants initialement moins performants aux tâches de

mémoire de travail. Ces résultats suggèrent que les adolescents présentant des performances initialement faibles en mémoire de travail bénéficient davantage de l'AP, quelle que soit son intensité (Budde et al., 2010). Cette conclusion corrobore les travaux de Sibley et Beilock (2007), qui affirment que l'AP aiguë est particulièrement avantageuse pour les individus affichant des performances sous-optimales dans les évaluations cognitives initiales.

Toujours en lien avec l'inhibition, plusieurs recherches ont signalé une amélioration notable après une seule séance d'aérobic (Ludyga et al., 2017; Piepmeier et al., 2015; Pontifex et al., 2013). De plus, des changements neurobiologiques ont été détectés au moyen de l'EEG chez des jeunes atteints de TDA/H après ce type de séance (Huang et al., 2017) Plus précisément, l'EEG a enregistré une réduction significative du rapport thêta/bêta au niveau des électrodes centrales (C3, Cz et C4), conformément au système international 10-20, ce qui pourrait être associé à une amélioration de l'inhibition et du contrôle de soi (Huang et al., 2017).

En ce qui a trait à la flexibilité cognitive, les résultats varient en fonction des études. Ludyga et ses collaborateurs (2020) rapportent une amélioration significative de la flexibilité cognitive tant chez les sujets atteints de TDAH que chez ceux sans diagnostic de TDAH après une séance d'AP de 20 minutes. Dans cette étude les enfants ont été évalué à l'aide du *Alternate Uses task*, 15 minutes après une séance d'AP de 20 minutes, ainsi qu'après une condition neutre qui consistait à visionner un documentaire de 20 minutes.

Dans l'étude de Piepmeier et ses collègues (2015), 32 jeunes avec et sans TDAH ont été invités à réaliser des tâches cognitives après deux conditions expérimentales : une séance de 30 minutes d'exercice d'intensité modérée et une condition contrôle consistant en l'écoute passive d'un segment de 30 minutes d'un documentaire. La tâche utilisée pour évaluer la flexibilité cognitive était la condition B du *Trail Making Test*, qui demande aux participants d'alterner entre des chiffres et des lettres dans l'ordre croissant et alphabétique. Indépendamment de la condition (expérimentale ou de contrôle) et du diagnostic de TDAH, aucun changement significatif de la flexibilité cognitive n'a été observé. Dans le même ordre d'idées, les travaux de Tomporowski, Labourne, Gregoski et Tkacz (2008) indiquent que les résultats au *Switch Task Protocol*, utilisé pour évaluer la flexibilité cognitive chez 60 enfants de 7 à 11 ans en surpoids et considérés comme inactifs, sont restés inchangés après 23 minutes de marche sur un tapis roulant ainsi qu'après l'écoute passive d'une vidéo de 23 minutes.

L'activité physique cognitivement engageante

L'AP cognitivement engageante est un type spécifique d'AP qui intègre une composante cognitive, ce qui signifie qu'elle demande un engagement mental supplémentaire à l'activation physique (Tomprowski et al., 2015). En d'autres termes, il s'agit d'une activité qui exige des efforts cognitifs tout en impliquant des mouvements corporels. Toutefois, ce type d'AP n'est pas clairement défini dans la littérature scientifique. Selon Tomporowski et ses collaborateurs (2015), l'engagement cognitif se définit comme étant un comportement qui reflète la réflexion et l'effort nécessaires pour

comprendre de nouvelles informations et acquérir de nouvelles compétences. En combinant cette définition avec celle de l'AP présentée précédemment, l'AP cognitivement engageante peut être définie comme l'ensemble des mouvements corporels provoquant une dépense énergétique, associés à des tâches exigeant réflexion et effort cognitif indispensables à l'acquisition de nouvelles connaissances (Caspersen et al., 1985; Tomporowski et al., 2015). L'engagement cognitif peut être soit intrinsèque ou extrinsèque à la tâche (Tomporowski & Pesce, 2019). L'engagement cognitif intrinsèque implique l'accomplissement d'une tâche nécessitant des processus cognitifs pour être réalisée avec succès. C'est notamment le cas de la danse, qui requiert l'apprentissage d'une chorégraphie complexe. Dans ce contexte, il est essentiel de mémoriser les mouvements, de coordonner ses actions avec la musique et d'anticiper les transitions entre les différents pas (Shen et al., 2020). En revanche, l'engagement cognitif extrinsèque correspond à la réalisation simultanée de deux tâches distinctes, comme courir sur un tapis roulant tout en effectuant des calculs mathématiques (Tomporowski & Pesce, 2019).

Comme mentionné précédemment, l'AP, qu'elle soit réalisée de façon ponctuelle ou régulière, a généralement un impact positif sur les FE des enfants. Néanmoins, de nombreuses recherches ont suggéré que l'AP cognitivement engageante pourrait offrir des avantages supérieurs pour améliorer les FE chez les enfants (Crova et al., 2013; Hillman et al., 2014; Schmidt et al., 2015; van der Niet et al., 2016). Ainsi, l'ajout d'une composante cognitive à l'AP pourrait entraîner des améliorations des FE supérieures à celles

observées avec des activités strictement physiques ou strictement cognitives (de Greeff et al., 2018; Lauenroth et al., 2016).

La prochaine section se penchera davantage sur la relation entre l'AP cognitivement engageante et les FEs des enfants.

L'activité physique cognitivement engageante et les fonctions exécutives

Dans leur revue systématique, Best et Miller (2010) mettent en évidence que même de légères différences dans les conditions expérimentales, lorsqu'il est question d'AP, peuvent avoir un impact sur les résultats. À titre d'exemple, il cite l'étude précédemment mentionnée d'Ellemborg et St-Louis-Deschênes (2010), suggérant que le simple fait de permettre aux enfants de regarder une vidéo pendant l'exercice a pu rendre cette condition d'AP plus exigeante du point de vue cognitif, ce qui aurait potentiellement influencé les résultats. Par ailleurs, il a été démontré que des activités d'aérobic cognitivement engageantes peuvent influencer positivement l'inhibition (Hillman et al., 2009; van der Niet et al., 2016), la mémoire de travail (Kamijo et al., 2011; van der Niet et al., 2016), la flexibilité cognitive (Hillman et al., 2014) et l'attention (Schmidt et al., 2015).

L'étude menée par van der Niet et ses collègues (2016) a examiné les effets d'un programme d'AP aérobies et cognitivement engageantes sur les FEs des enfants. Les participants étaient des enfants de 3 écoles primaires, âgés de 8 à 12 ans. Le groupe expérimental (n = 53 ; 19 garçons, 34 filles) a suivi un programme d'AP de 22 semaines,

comprenant 30 minutes d'activités aérobies et cognitivement engageantes durant l'heure du dîner, deux fois par semaine. Les activités ont été sélectionnées en fonction de leur intensité, du niveau de sollicitation cognitive et de leur faisabilité. Le programme comprenait des exercices d'intensité modérée à élevée, tels que des jeux de course et des entraînements en circuit, où les enfants réalisaient des mouvements comme des redressements assis, des pompes ou du saut à la corde. De plus, des activités demandant un engagement cognitif ont été intégrées, tel que des courses à relais où les enfants devaient composer des mots à partir de lettres récupérées. Le groupe témoin ($n = 52$; 32 garçons, 20 filles) a maintenu sa routine habituelle du midi. Les FEs ont été évaluées à l'aide de tâches mesurant l'inhibition (*Test de Stroop*), la mémoire de travail (*Test de Séquences de chiffres*), la flexibilité cognitive (*Test de traçage de pistes*) et la planification (*Tour de Londres*). Les résultats ont montré que le programme d'AP pouvait améliorer certains aspects des FEs chez les enfants du primaire, en particulier l'inhibition et la mémoire de travail. Van der Niet et ses collègues (2016) soulignent que, considérant que l'inhibition connaît son plus grand développement pendant la fin de l'enfance (6-10 ans), avec une maîtrise quasi totale de cette compétence vers l'âge de 12 ans, celle-ci fut possiblement plus sensible aux facteurs environnementaux, ce qui pourrait expliquer l'amélioration de cette fonction chez le groupe d'intervention. En outre, étant donné que la mémoire de travail est reconnue pour être liée à l'inhibition, et que les activités du programme d'AP demandaient aux enfants de conserver des informations en mémoire de travail tout en éliminant les distractions, cela pourrait justifier les améliorations significatives observées dans ces deux capacités exécutives. Il est important de noter que

cette étude présente certaines limites, telles que l'attribution non aléatoire des enfants aux groupes d'intervention et de contrôle, ce qui a entraîné une répartition inégale des garçons et des filles dans les deux groupes (van der Niet et al., 2016).

Par ailleurs, les recherches menées par Crova et ses collaborateurs (2013) ont révélé qu'un programme d'éducation physique de 6 mois, intégrant des AP cognitivement engageantes, a conduit à des améliorations à la tâche *Random Number Generation*, qui évalue principalement l'inhibition et la mémoire de travail, chez des enfants en surpoids âgés de 9 à 10 ans, contrairement à un programme d'éducation physique classique.

Ainsi, les pauses actives en classe, comme révélées par l'étude d'Egger et ses collaborateurs (2019), ont le potentiel d'améliorer à la fois les performances académiques et les FEs des élèves. Trois groupes d'intervention ont été analysés, chacun combinant un niveau différent d'AP et d'engagement cognitif. Le premier groupe, associant une AP intense à des défis cognitifs, a participé à des jeux tels que « *Horserace* », où les enfants couraient sur place en cercle et devaient réagir rapidement à un mot-clé en exécutant un mouvement spécifique, comme sauter. La difficulté du jeu augmentait progressivement avec l'ajout de nouveaux mots-clés ou la modification des mouvements, exigeant des enfants qu'ils s'adaptent, retiennent de nouvelles consignes et modifient leurs actions en fonction des instructions. Les résultats indiquent que ce groupe a enregistré des améliorations notables en flexibilité cognitive et en mathématiques, suggérant que la combinaison d'un effort physique soutenu et d'un engagement cognitif favorise le

développement des compétences exécutives et académiques. Le deuxième groupe, impliquant des activités cognitives exigeantes avec une AP légère, a joué à une version adaptée de « *Horseshoe* », où les enfants restaient assis en cercle et réagissaient aux mots-clés uniquement avec des mouvements des bras et des doigts, sans effort physique. La difficulté augmentait également après 3 minutes, soit par l'ajout de nouveaux mots-clés, soit par la modification des mouvements associés. Ce groupe a montré une amélioration uniquement en mathématiques, indiquant que l'engagement cognitif seul peut soutenir les apprentissages académiques, mais sans effet notable sur les FEs. Enfin, le troisième groupe, pratiquant une AP intense avec peu d'engagement cognitif, a également joué à « *Horseshoe* », mais sans exigence cognitive. Les enfants, debout en cercle, couraient sur place et imitaient simplement les mouvements démontrés par l'enseignant (ex. : sauter lorsqu'il sautait), sans avoir à mémoriser ou associer des gestes spécifiques à des mots-clés. Contrairement aux autres groupes, aucune amélioration significative n'a été observée, ce qui suggère que l'activité physique seule ne suffit pas à améliorer les FEs et les performances scolaires. Ces résultats soulignent l'importance de l'intégration simultanée de l'AP et de la stimulation cognitive pour maximiser les bénéfices sur l'apprentissage et le développement des fonctions exécutives (Egger et al., 2019).

De plus, l'étude récente de Mazzoli et ses collègues (2021) suggère que l'inhibition peut être améliorée grâce à un programme de pauses actives cognitivement engageantes. Cette recherche a comparé les effets des pauses actives simples et des pauses actives engageantes sur les fonctions cognitives des enfants. Parmi les activités, « *Quick Fit!* »

illustre une pause active simple, consistant en une imitation basique d'une séquence de mouvements. En revanche, les pauses actives engageantes incluent des jeux comme « *Simon says...* », où les enfants exécutent uniquement les actions précédées de l'instruction « *Simon says...* », restant immobiles en l'absence de cette phrase, ou encore « *Dance off!* », où ils dansent sur une musique et doivent figer leur position à chaque arrêt du son. Ce programme a contribué à améliorer les résultats à la tâche *Go/No-Go* évaluant principalement l'inhibition, en partie grâce à une réduction du temps passé en position assise et à une augmentation de la marche. Toutefois, aucune des interventions n'a montré d'amélioration significative de la mémoire de travail ou de l'attention par rapport au groupe contrôle.

L'étude menée auprès d'enfants âgés de 11 à 12 ans par Schmidt et ses collègues (2015) se distingue en comparant trois conditions expérimentales : un groupe combiné ayant réalisé une tâche à la fois physiquement et cognitivement exigeante, un groupe ayant effectué uniquement une tâche physique exigeante, et un groupe témoin. Les résultats ont mis en évidence une amélioration de la flexibilité cognitive uniquement dans le groupe combiné. Les auteurs concluent que le niveau d'engagement cognitif, c'est-à-dire le degré de sollicitation cognitive associé à l'AP, constitue un facteur déterminant dans l'amélioration de certains aspects des FEs (Schmidt et al., 2015).

Effets de l'activité physique cognitivement engageante dans les salles de classe

Différentes stratégies ont été mises en œuvre dans divers contextes pour aider les enfants à atteindre les recommandations en matière d'AP. Parmi ces contextes, l'école primaire se distingue particulièrement (Kriemler et al., 2011). En effet, l'environnement scolaire du primaire offre un cadre idéal pour promouvoir l'AP chez les enfants en raison du nombre d'heures qu'ils passent chaque semaine à l'école (Kriemler et al., 2011; Watson et al., 2017). Cassar et ses collègues (2019) mettent en évidence que l'intégration d'AP dans l'environnement scolaire confère divers avantages aux élèves, y compris l'amélioration du comportement en classe, le renforcement des fonctions cognitives et l'augmentation de la réussite académique. Ces avantages deviennent particulièrement marqués lorsque, en complément du programme standard d'éducation physique, le temps consacré à l'AP est augmenté grâce à l'introduction de pauses actives durant les heures de classe (Cassar et al., 2019). Ainsi, de septembre à juin, les enfants passent en moyenne sept heures par jour et cinq jours par semaine à l'école (ParticipACTION, 2020). Dans cette optique, l'introduction d'AP cognitivement engageantes en classe pourrait non seulement les aider à atteindre les recommandations en matière d'AP (Kolimechkov, 2017), mais également, grâce à la composante cognitive intégrée, contribuer à l'amélioration de leur fonctionnement exécutif.

Le jeu Cogni-Actif

Le jeu Cogni-Actif est un outil soutenant le développement global des enfants, qu'ils présentent ou non un diagnostic du trouble de déficit de l'attention avec ou sans

hyperactivité (Simard, 2024). Il a été conçu dans le cadre d'une recherche participative impliquant des enseignants et des conseillers pédagogiques pour augmenter l'AP des enfants en milieu scolaire tout en y intégrant l'apprentissage des mathématiques et du français (Simard, 2024). Le projet Cogni-Actif contribue ainsi à surmonter les limites identifiées par Daly-Smith et ses collaborateurs (2018). En effet, ces chercheurs ont souligné que les protocoles de recherche élaborés en laboratoire pourraient être moins adaptés aux diverses réalités du milieu scolaire, rendant difficile la généralisation de leurs résultats à des situations concrètes (Daly-Smith et al., 2018).

La première itération du jeu Cogni-Actif, qui comprenait 24 capsules vidéo combinant l'apprentissage des mathématiques et du français à l'AP, a montré des résultats prometteurs. Une étude menée auprès de 81 élèves de quatrième année du primaire en 2021 a révélé une réduction significative des symptômes du TDAH rapportés par les parents et les enseignants.

Suite à ces résultats encourageants, les chercheurs ont développé une version plus pérenne du jeu, intégrant une programmation informatique avancée et des principes de ludification pour maintenir la motivation et l'engagement des élèves. C'est cette deuxième itération qui est utilisée dans la présente étude, bien que le jeu en soit aujourd'hui à sa quatrième itération (Simard et al., 2025). Dans la présente étude, la séance d'intervention se déroule sur une période de 15 minutes durant laquelle les élèves reproduisent les mouvements d'un personnage virtuel (Matoub, 2023) projeté

sur tableau blanc interactif. La séance suit une structure bien définie, débutant par un échauffement associant activité physique et révision du contenu, puis enchaînant avec deux défis de type Tabata de 4 minutes. Lors de ces défis, les élèves alternent entre des exercices de haute et basse intensité tout en répondant à des questions académiques (Simard, 2024). Une phase d'activité passive sans exercices est ensuite intégrée entre les défis, permettant aux élèves de compléter des fiches de travail en lien avec le thème de la leçon. Ce temps leur offre une pause tout en consolidant leurs apprentissages. Enfin, la séance se conclut par une méditation guidée favorisant un retour au calme et facilitant la transition vers la suite de leur routine score (Simard, 2024).

Objectif de recherche et hypothèses

Objectif principal

Comme mentionné dans la section précédente, la présente étude s'inscrit dans un plus grand projet, soit le projet *Cogni-Actif* (Simard et al., 2023). Cet essai vise donc à approfondir les connaissances en lien avec la sphère cognitive du développement de l'enfant, plus spécifiquement les effets aigus de l'utilisation du jeu qui combine AP et l'engagement cognitif (apprentissage des mathématiques et du français). Plus précisément, l'objectif principal de cette étude est donc d'explorer les effets immédiats d'une séance de 15 minutes du jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif*, qui combine l'AP et l'engagement cognitif, sur les trois composantes clés des FE : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail. Ces effets seront évalués en comparant

cette séance à une condition de contrôle, dans laquelle les participants visionnent passivement une vidéo standardisée.

Hypothèses

Hypothèse principale 1 : Une augmentation de l'efficacité de la flexibilité cognitive est attendue immédiatement après une séance de 15 minutes du jeu sérieux *Cogni-Actif*.

- Hypothèse secondaire : Il est attendu d'observer, une différence significative entre le groupe expérimental (15 minutes du jeu d'apprentissage physiquement actif Cogni-Actif) et le groupe témoin (visionnement passif d'une vidéo standardisé) en termes de diminution du nombre total d'erreurs et du temps d'exécution au post-test dans la condition 4 du *Test Traçage de pistes* (TDP) et dans la condition 4 du *Test d'interférence couleur-mot* (TICM), évaluant tous deux la flexibilité cognitive.

Hypothèse principale 2 : Une augmentation de l'efficacité de l'inhibition est attendue immédiatement après une séance de 15 minutes du jeu sérieux *Cogni-Actif*.

- Hypothèse secondaire : Il est attendu d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes de diminution du nombre d'erreurs non corrigées et de réduction du temps d'exécution au post-test dans la condition 3 du TICM, évaluant l'inhibition.

Hypothèse principale 3 : Une augmentation de l'efficiencia de la mémoire de travail est attendue immédiatement après une séance de 15 minutes du jeu sérieux *Cogni-Actif*.

- Hypothèse secondaire : Il est attendu d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes d'augmentation du score brut total au post-test dans la tâche de Séquences de chiffres en ordre inverse (SCoi) et en ordre croissant (SCoc) évaluant tous deux la mémoire de travail.

Méthode

Considération éthique

Considérant la nature de cette étude qui implique la participation d'êtres humains, notamment des enfants, toutes les précautions nécessaires ont été prises pour garantir qu'ils subissent le moins de préjudices possible. Conformément aux protocoles éthiques en vigueur, ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité d'éthique de la recherche (CÉR) de l'UQAC. Un certificat attestant de la conformité de l'étude aux normes éthiques a été délivré et le numéro du certificat est disponible en Appendice A.

Devis de recherche

Dans le cadre de cette étude, un devis de recherche quasi expérimental a été utilisé pour répondre aux objectifs de recherche. Ce type de devis offre une alternative solide lorsque les essais contrôlés randomisés sont difficiles ou impossibles à réaliser, comme ce fut le cas dans la présente étude (Cook & Campbell, 1979). Ainsi, les responsables du projet ont réparti le nombre total d'élèves entre les deux groupes : expérimental et témoin. Cette méthode ne respecte donc pas toutes les exigences d'un plan expérimental classique, en raison de l'absence de répartition aléatoire (randomisation) des participants dans les deux groupes. Néanmoins, ce devis s'aligne avec les objectifs de recherche en permettant la comparaison des effets de différentes conditions d'intervention sur les variables étudiées. Ainsi, l'utilisation de ce devis permettra d'analyser les disparités entre les deux groupes exposés à différentes conditions d'intervention et de développer une compréhension approfondie des effets de l'intervention.

Variables

Dans la présente étude, la présence ou l'absence du jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif* correspond à la variable indépendante (VI). Ainsi, la VI a été manipulée par les chercheurs, afin d'observer son effet sur les variables dépendantes (VD) suivantes : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail. Les participants ont été assignés soit au groupe expérimental, où les participants ont été exposés au jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif*, soit au groupe témoin, où ils ont plutôt visionné passivement une vidéo standardisée. Plusieurs mesures opérationnelles ont été utilisées pour quantifier et évaluer les effets de la VI sur les VD de l'étude.

Les VD opérationnelles liées à la composante de la flexibilité cognitive comprennent 1) le temps de complétion en secondes de la condition d'alternance lettres-chiffres du sous-test de traçage de piste (TTP) du D-KEFS, 2) le nombre total d'erreurs de cette même condition 3) le temps de complétion en secondes de la condition d'inhibition-alternance du sous-test d'interférence couleur-mot (TICM) du D-KEFS 4) ainsi que le nombre total d'erreurs de cette même condition.

Les VD opérationnelles liées à la composante de l'inhibition comprennent 1) le temps de complétion en secondes de la condition d'inhibition du TICM du D-KEFS, 2) le nombre total d'erreurs de cette même condition.

Enfin, la VD reliée à la composante de la mémoire de travail est le score brut total obtenu dans la tâche de Séquences de chiffres (SC) en ordre croissant (SCoc) et en ordre inverse (SCoi) du sous-test de SC de la cinquième édition de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfant (WISC-V).

Participants

Les participants visés par cette étude sont des élèves âgés de 8 à 12 ans, issus de quatre classes de 2^e cycle du primaire (3^e et 4^e années) du Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean.

Les enseignants participant à cette étude ont été recrutés sur une base volontaire et sollicités par le biais d'une infographie de recrutement (Appendice B) envoyée par courriel par le conseiller pédagogique du Centre de services scolaire aux enseignants qui avaient participé au codéveloppement du jeu *Cogni-Actif* en 2021. Au total, quatre enseignantes de quatrième année du primaire et une enseignante de troisième année ont consenti à l'étude.

Pour déterminer la taille d'échantillon nécessaire pour cette étude, un calcul de puissance basé sur l'analyse ANOVA à mesures répétées a été effectué à l'aide du logiciel G*Power, qui est spécialement conçu pour effectuer diverses opérations statistiques (Faul et al., 2007). À priori, l'estimation calculée du nombre de participants requis était de 98

sujets, et ce, en prévoyant une puissance de 0.80 ($1-\beta$), une taille d'effet moyenne de 0.25 (f de Cohen) et un niveau alpha (α) de 0.05 (Cohen, 1988).

En tout, ce sont 119 parents/tuteurs qui ont été informés du projet par le biais d'une lettre explicative (Appendice D), ainsi que par le formulaire d'informations et de consentement (FIC) transmis via un lien Microsoft Forms et envoyés par les enseignants via la plateforme scolaire (Appendice E). Parmi eux, 100 parents/tuteurs ont consenti à l'étude et leurs enfants ont également donné leur consentement, complétant ainsi le FIC qui a été directement transmis aux responsables de l'étude. En tenant compte des absences lors des journées de collecte de données, un total de 95 élèves ont pris part à l'étude. Ces élèves ont été répartis en deux groupes distincts, avec 50 élèves dans le groupe expérimental et 45 élèves dans le groupe témoin.

Concernant l'éligibilité des participants, des critères d'inclusion et d'exclusion ont été établis dans le but de sélectionner les participants qui correspondent aux objectifs de l'étude et qui peuvent participer à l'étude en toute sécurité. Les critères d'inclusion sont les suivants : 1) Être un élève de 3^e ou 4^e année du primaire, faisant partie d'une classe dont l'enseignant participe à l'étude; 2) Avoir un âge compris entre 8 et 12 ans. Enfin, les critères d'exclusion sont: 1) Avoir un diagnostic de maladie neuromusculaire; 2) Avoir un handicap physique ou sensoriel pouvant limiter la pratique d'AP; 3) Avoir un diagnostic de déficience intellectuelle; 4) Avoir un diagnostic de trouble développemental de la coordination; 5) Avoir un suivi avec un professionnel de la santé pour la prise en charge d'une blessure physique pouvant s'aggraver par la pratique d'AP et/ou limiter la pratique

d'AP; 6) Avoir un diagnostic de maladie chronique non contrôlée/stable; 7) Avoir des symptômes d'un traumatisme crânien (TCC).

Procédure

De prime abord, les parents et leurs enfants ayant donné leur consentement pour participer à l'étude ont été invités à remplir le formulaire sociodémographique. Ce formulaire leur a été transmis par la responsable de l'étude via un lien Microsoft Forms envoyé par courriel (Appendice F). L'objectif principal de ce dernier était de vérifier si les élèves participants répondaient aux critères d'inclusion et de recueillir des informations complémentaires telles que les diagnostics éventuels et/ou la prise de médicaments. Ces informations complémentaires ont été collectées afin de mieux comprendre les éventuelles différences dans les résultats. Pour garantir la confidentialité, un code alphanumérique a été attribué aux parents/tuteurs légaux, qu'ils devaient utiliser pour identifier leur enfant dans les questionnaires. Ces mêmes codes ont été utilisés sur tous les instruments de mesure lors de la collecte des données, assurant ainsi la cohérence et la confidentialité des données recueillies.

Collecte de données

Formations auxiliaires de recherche

Avant le début de la collecte de données, quinze auxiliaires de recherche ont été recrutés pour administrer les tests neuropsychologiques lors des cinq journées d'expérimentation. Ils ont reçu un guide complet détaillant les procédures des tests, les consignes d'administration et d'évaluation, ainsi qu'une vidéo explicative. Ensuite, les

assistants ont participé à une formation obligatoire d'environ deux heures, dispensée par les responsables du projet de recherche: l'une étant doctorante en psychologie, et l'autre doctorante en psychologie, profil neuropsychologie. Cette formation comprenait une explication détaillée du déroulement de la collecte de données, ainsi que des sessions de pratique avec les différents instruments de mesure.

Déroulement de l'expérimentation

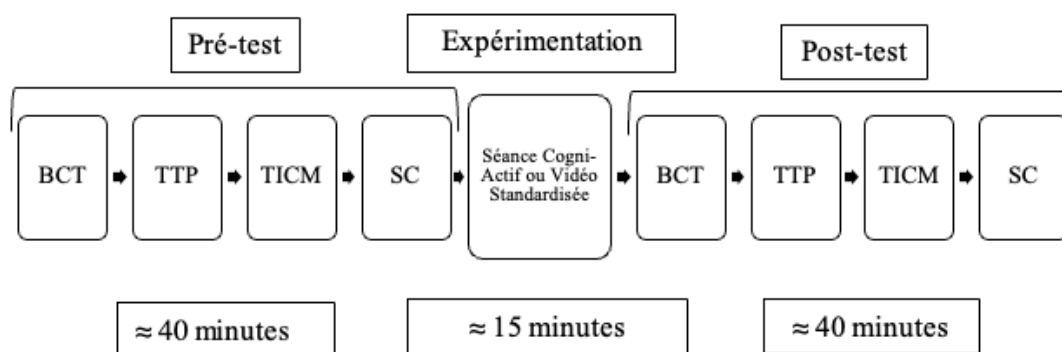
La phase d'expérimentation s'est déroulée exclusivement à l'UQAC. Chacune des cinq classes participantes a été assignée à une date en fonction de leur disponibilité respective, et il a été demandé aux classes de se présenter à l'heure indiquée dans une salle de classe désignée au sein de l'UQAC. Un transport en autobus scolaire a été organisé pour chacune des classes. Une communication préalable a été établie avec tous les parents, soulignant l'importance pour leurs enfants de suivre leur traitement médicamenteux habituel selon leur routine lors de la journée de collecte de données, le cas échéant.

Lorsque la classe arrivait à l'UQAC à l'heure convenue, les responsables de l'étude accueillaient l'enseignante et ses élèves et leur donnaient des explications détaillées sur le déroulement de la journée. L'enseignante était invitée à poursuivre son enseignement régulier dans la salle de classe réservée tout au long de l'expérimentation. Les élèves, quant à eux, étaient pris en charge individuellement et à tour de rôle par les auxiliaires de recherche, afin de procéder à l'évaluation et à l'expérimentation dans des salles réservées à cet effet.

Tous les participants des deux groupes ont été soumis à quatre instruments de mesure neuropsychologiques précédant (pré-test) et succédant (post-test) la séance expérimentale ou de contrôle. Les tests ont été administrés dans l'ordre présenté dans la Figure 1. Bien que le *Boston Cancellation Test* (BCT) ait été administré, ses résultats n'ont pas été analysés dans cette étude.

Figure 1

Déroulement de l'expérimentation



Afin de préserver la confidentialité, des dossiers individuels ont été créés pour chaque participant, comprenant deux enveloppes distinctes identifiées pré-test et post-test. Les auxiliaires de recherche ont été chargés de placer les questionnaires dans les enveloppes correspondantes après l'administration de chaque instrument. Aucun nom d'enfant n'était mentionné sur les instruments de recherche. Chaque participant a reçu un code alphanumérique unique permettant de regrouper les questionnaires complétés par un même individu. Les dossiers ont ensuite été récupérés et comptabilisés par l'équipe de

recherche. En utilisant des enveloppes anonymes et un code alphanumérique, l'équipe de recherche pouvait associer les réponses des participants avant et après la séance expérimentale ou de contrôle sans avoir accès aux informations personnelles et identificatoires.

Groupe expérimental

Entre l'évaluation pré-test et post-test, les participants du groupe expérimental ont participé à une séance de 15 minutes qui combinait AP et engagement cognitif. Cette séance était basée sur le jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif* et impliquait de suivre les mouvements d'un avatar à l'écran, tout en effectuant des exercices de tables de mathématiques et des exercices de littérature (tels que le jeu du bonhomme pendu), avant de terminer par une période de retour au calme.

Il est important de souligner que le jeu sérieux *Cogni-Actif* était initialement conçu pour les élèves de quatrième année du primaire. Cependant, des adaptations ont été nécessaires pour le rendre adapté aux élèves de troisième année du groupe expérimental. Ces ajustements ont été réalisés par un étudiant en informatique et visaient principalement à adapter la difficulté des exercices de mathématiques afin de les rendre appropriés au niveau scolaire des participants de troisième année du groupe expérimental, notamment en remplaçant les multiplications par des additions. Pour faciliter cette adaptation, une fonctionnalité spécifique a été ajoutée au jeu sérieux *Cogni-Actif*. Cette fonctionnalité

permettait aux auxiliaires de recherche de sélectionner le niveau scolaire (3e ou 4e année) avant de commencer l'expérimentation avec chaque élève du groupe expérimental.

Groupe témoin

En ce qui concerne le groupe témoin, les participants ont été invités à regarder passivement une vidéo de 15 minutes entre l'évaluation pré-test et post-test. Cette vidéo portait sur les bienfaits de l'AP chez les jeunes. Les auxiliaires de recherche ont reçu pour consigne de rediriger l'attention des enfants vers la vidéo si nécessaire.

Parmi toutes les recherches consultées présentant une méthodologie similaire à celle de la présente étude, peu d'informations concernant l'intervention contrôlée étaient disponibles (Hillman et al., 2009; Ludyga et al., 2020; Mazzoli et al., 2021; Piepmeier et al., 2015). Par conséquent, afin d'assurer une certaine comparabilité avec d'autres études, le visionnage d'une vidéo a été choisi comme condition de contrôle physiquement inactive. Cela dit, la vidéo utilisée dans cette étude a été sélectionnée selon les critères suivants : une durée de 15 minutes, adaptée aux deux niveaux scolaires, une pertinence par rapport à l'étude et un faible niveau de stimulation.

Instruments

Questionnaire sociodémographique

Le questionnaire sociodémographique utilisé pour cette étude peut être consulté à l'appendice F. Ce dernier a été développé par l'équipe de recherche afin de constituer une

brève description de la situation de vie des participants. Ce questionnaire fut rempli par les parents et il contient, d'une part, des questions au sujet de l'âge et du sexe de l'enfant. D'autre part, il contient des questions sur les diagnostics des enfants, ainsi que sur la médication, le cas échéant.

Instruments de mesure administrés aux participants-élèves

Les participants ont été soumis à quatre tests différents visant à évaluer leurs FEs lors de la collecte de données. Plus précisément, ces tests ont mesuré leur capacité d'attention, d'inhibition, de mémoire de travail et de flexibilité cognitive. Il est important de noter que seules les tâches évaluant l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive ont été incluses dans la présente étude. Les trois instruments de mesure utilisés ont été sélectionnés en se basant sur l'étude de Strauss et ses collègues (2006) qui les ont répertoriés parmi les 10 tests les plus fréquemment utilisés pour évaluer les différentes FEs. De plus, les différents instruments de mesure utilisés étaient administrés sous forme de tests papier-crayon et dans un délai limité, offrant ainsi une méthodologie pratique et accessible. Cette approche ne nécessitait donc pas de ressources informatiques spécifiques et s'adaptait parfaitement aux contraintes temporelles rencontrées lors de la collecte de données.

L'ordre de présentation des différents instruments de mesure décrits ci-dessous correspond à l'ordre dans lequel les épreuves ont été administrées lors de la collecte de données. Cet ordre a été préétabli en fonction du type de tâche cognitive évaluée par

chaque test et il a été respecté afin d'assurer que l'effet de réalisation de l'ensemble des tests soit le même pour tous les participants.

Test Traçage de pistes du Delis-Kaplan Executive Function System

Le test Traçage de pistes (TTP) du Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS) est une épreuve conçue pour évaluer principalement l'attention, la vitesse et la flexibilité cognitive (Delis et al., 2004; Strauss et al., 2006). Elle se compose de cinq conditions distinctes et le temps de complétion est d'environ 5 à 10 minutes. La première consiste à barrer tous les chiffres 3 répartis aléatoirement parmi des items distracteurs sur une feuille. La deuxième consiste à relier, dans l'ordre, les chiffres de 1 à 16 répartis aléatoirement parmi des items distracteurs sur une feuille. La troisième consiste à relier, dans l'ordre, les lettres de A à P, réparties aléatoirement parmi des items distracteurs sur une feuille. La quatrième est considérée comme étant le cœur du TTP. Elle consiste à relier, dans l'ordre et en alternance, un chiffre et une lettre (p. ex. A-1-B-2...), soit les chiffres de 1 à 16 et les lettres de A à P, répartis aléatoirement, sans distracteur sur une feuille. Enfin, la cinquième consiste à relier les cercles déjà reliés par une ligne pointillée de la position de départ à la position finale. Le TTP fournit plusieurs types de scores, notamment basés sur les temps de complétion et une mesure d'erreurs. Il fournit également un score pondéré de composite (les scores pondérés des conditions 2 et 3 sont additionnés), un score standardisé de contraste, ainsi que des rangs percentiles cumulatifs pour la plupart des mesures d'erreur (types d'erreurs : omissions, commission, erreurs de séquençage, erreurs de perte de série et erreurs de discontinuité temporelle) (Delis et al.,

2004). Dans la présente étude, les cinq conditions ont été administrées, mais seuls les scores bruts et pondérés du nombre total d'erreurs et du temps de complétion en secondes de la condition 4 ont été utilisés, mesurant respectivement la capacité d'inhibition des cibles inadéquates (mesure de l'impulsivité) et la flexibilité cognitive. Les scores bruts obtenus ont été transformés en scores pondérés selon l'âge de l'enfant, avec une moyenne de 10 et un écart-type de 3.

Le TTP présente de bonnes qualités psychométriques. Par ailleurs, le TTP du D-KEFS est inspiré de versions antérieures possédant des propriétés psychométriques très bien établies, ce qui suggère une validité de contenu satisfaisante (Sherman et al., 2011). De plus, sa capacité à détecter des déficits exécutifs dans diverses populations cliniques est soutenue par de nombreuses études, témoignant d'une bonne validité critériée (Delis et al., 2004) avec une bonne cohérence interne variant entre 0,57 et 0,80 selon le groupe d'âge (Delis et al., 2001) indiquant que le TTP mesure de façon consistante les FE à travers différents groupes d'âge. Enfin, les tests du D-KEFS montrent généralement une bonne fidélité test-retest variant entre 0,38 et 0,77 pour le TTP, assurant que les résultats sont stables et reproductibles dans le temps (Delis et al., 2001; Swanson, 2005).

Test d'interférence couleur-mot du Delis-Kaplan Executive Function System

Le Test d'interférence couleur-mot (TICM) du D-KEFS est une épreuve conçue pour évaluer les capacités exécutives en utilisant la lecture de mots et l'identification de couleurs, en se fondant sur le modèle d'interférence de mots colorés de Stroop (Delis et

al., 2001; Stroop, 1935). La FE principale mesurée avec ce test est la capacité d'une personne à inhiber une réponse verbale surapprise afin de générer une réponse contradictoire (Delis et al., 2001; Strauss et al., 2006). En ce sens, cet instrument permet d'évaluer, en modalité verbale, la flexibilité cognitive, la sensibilité à l'interférence, l'inhibition et le temps de réaction (Delis et al., 2001). La tâche se compose de quatre conditions distinctes et le temps de complétion est d'environ 7 minutes (Delis et al., 2001). La première consiste à nommer les couleurs, ce qui permet de mesurer la vitesse d'identification des couleurs. La deuxième consiste à lire les mots, ce qui permet d'évaluer la vitesse de lecture. La troisième consiste à identifier la couleur de l'encre utilisée pour écrire les mots, ce qui permet d'évaluer la capacité à inhiber la lecture du mot. Enfin, la quatrième consiste à nommer la couleur ou le mot écrit (en fonction de la présence ou de l'absence d'un rectangle encadrant le mot), nécessitant de passer d'une instruction à une autre et permettant d'évaluer la flexibilité cognitive. Trois types de scores peuvent être calculés pour le TICM en fonction du temps de complétion en secondes pour les 4 conditions. Les scores bruts (temps en secondes) sont ensuite convertis en scores pondérés ($M = 10$; $ET = 3$) en fonction des 2 groupes d'âge pour les 4 conditions. Dans la présente étude, les quatre conditions ont été administrées, mais les scores d'intérêt sont les scores bruts et pondérés pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs aux conditions 3 et 4, mesurant respectivement l'inhibition et la flexibilité cognitive. Cet instrument de mesure a été standardisé sur un échantillon stratifié comprenant 1 750 enfants, adolescents et adultes américains, âgés de 8 à 89 ans.

Tout comme le TTP, les qualités psychométriques du TICM sont considérées comme étant bonnes. Par ailleurs, le TICM est une adaptation du test de l'effet Stroop, un outil largement documenté dans la littérature et possédant de bonnes propriétés psychométriques (Stroop, 1935), ce qui suggère que la validité de contenu de la version du D-KEFS est adéquate (Sherman et al., 2011). De plus, cet instrument présente un indice de cohérence interne variant entre 0,62 et 0,86 et un coefficient test-retest variant entre 0,62 et 0,76 (Delis et al., 2001), témoignant de sa fiabilité et de la stabilité de ses mesures dans le temps.

Le sous-test de Séquences de chiffres de l'Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants- Cinquième édition

L'épreuve de Séquences de chiffres (SC) est un sous-test de l'échelle de *Mémoire de travail* que l'on retrouve dans le WISC-V (Wechsler, 2016). Ce sous-test comprend trois tâches distinctes. L'administration de ce sous-test consiste en la lecture à haute voix d'une série de chiffres que le sujet doit répéter dans le même ordre pour la première tâche, en ordre inverse pour la deuxième, et dans l'ordre croissant pour la troisième. La tâche de *Séquences de chiffres en ordre direct* (SCod) fait appel à la mémoire immédiate, tandis que les deux autres c'est-à-dire *Séquences de chiffres en ordre inverse* (SCoi) et *Séquences de chiffres en ordre croissant* (SCoc) mettent davantage l'accent sur la mémoire de travail. Dans la présente étude, ce sont ces deux dernières tâches (SCoi et SCoc) qui ont été analysées.

Le sous-test SC présente de bonnes qualités psychométriques. Le coefficient de fidélité pour ce sous-test varie entre 0,85 et 0,93 en fonction du groupe d'âge, allant de 6 à 16 ans, ce qui indique une excellente fidélité (Wechsler et al., 2016). De plus, la validité est également bonne, le sous-test de SC étant corrélé fortement ($r = 0,80$) à l'indice de mémoire de travail (IMT) de la batterie complète (Wechsler et al., 2016).

Résultats

Analyses descriptives

Caractéristiques sociodémographiques de l'échantillon

Les analyses descriptives de l'échantillon ont été effectuées en utilisant les données recueillies à partir du questionnaire sociodémographique complété par les parents. L'échantillon est composé de 95 élèves de 2^{ème} cycle du primaire (3^e et 4^e années) répartis en deux groupes distincts: un groupe expérimental composé de 50 participants et un groupe témoin composé de 45 participants. Les caractéristiques sociodémographiques sont présentées en détail dans le Tableau 1. En s'y référant, il est possible de constater l'absence de différences significatives entre les deux groupes pour l'ensemble des caractéristiques sociodémographiques. Ainsi, les deux groupes présentent une homogénéité en termes d'âge, avec une moyenne de 9,32 ans pour le groupe expérimental ($\text{ÉT} = 0,65$) et 9,33 ans pour le groupe témoin ($\text{ÉT} = 0,67$). De plus, les deux groupes sont indifférenciés en ce qui a trait au sexe; le groupe expérimental étant constitué de 26 filles (52 %) et 24 garçons (48 %), tandis que le groupe témoin compte 25 filles (55,6 %) et 20 garçons (44,4 %; $\chi^2=0,120$, $p=0,729$). En termes de niveau scolaire, les deux groupes sont également indifférenciés, 11 élèves du groupe expérimental étaient en 3^e année du primaire (22 %) contre 39 en 4^e année (78 %).

Tableau 1

Statistiques descriptives des participants selon le groupe et résultats des Tests Khi-carré de Person (n=95)

Caractéristique	Groupe										
	Groupe expérimental				Groupe témoin				Groupes		
	(n= 50)				(n= 45)				(n =95)		
	M	ET	n	(%)	M	ET	n	(%)	χ^2	df	Sig.
Âge	9,32 _a	,65	-	-	9,33 _a	,67	-	-	-	-	-
Sexe	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	1	0,72
Garçons	-	-	24 _a	48,0%	-	-	20 _a	44,4%	-	-	-
Fille	-	-	26 _a	52,0%	-	-	25 _a	55,6%	-	-	-
Niveau scolaire	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	1	0,81
3 ^e année	-	-	11 _a	22,0%	-	-	9 _a	20,0%	-	-	-
4 ^e année	-	-	39 _a	78,0%	-	-	36 _a	80,0%	-	-	-
Diagnostic	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66	1	0,19
Oui	-	-	18 _a	36,0%	-	-	11 _a	24,4%	-	-	-
Non	-	-	30 _a	60,0%	-	-	33 _a	73,3%	-	-	-
Médication	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	1	0,62
Oui	-	-	12 _a	24,0%	-	-	13 _a	28,9%	-	-	-
Non	-	-	36 _a	72,0%	-	-	31 _a	68,9%	-	-	-

Remarque : Les lettres indices^a sont utilisées pour signaler la comparabilité statistique des valeurs entre les groupes. Deux lettres identiques pour une même valeur dans chaque groupe suggèrent qu'il n'y a pas de différence significative entre eux.

Notes. n= nombre de données; M= moyenne; ET= écart-type.

Dans le groupe témoin, 9 étaient en 3^e année (20 %) et 36 en 4^e année (80 %), ce qui suggère une représentation moindre des élèves de 3^e année au sein de l'échantillon, malgré une absence de différence dans la répartition entre les deux groupes ($\chi^2= 0,05$, p=0,81). Parmi les 95 participants, 41 parents (43,2 %) ont indiqué que leur enfant avait été

diagnostiqué avec une condition particulière, 18 (36,0 %) dans le groupe expérimental et 11 (24,4 %) dans le groupe témoin ($\chi^2=1,66$, $p=0,19$). Enfin, en date de la collecte de données, soit en mars 2023, 25 participants (26,3 %) rapportaient être sous médication, soit 12 (24 %) dans le groupe expérimental et 13 (28,8 %; $\chi^2=0,24$, $p=0,62$) dans le groupe témoin.

Analyses statistiques

La présente étude utilise une approche de recherche quantitative afin de répondre aux hypothèses de recherche. Différentes analyses de la variance (ANOVA) à plan mixte ont été utilisées avec le temps total par item (résultat brut de vitesse) et le nombre d'erreurs total (résultat brut) à la condition 4 du TDP ainsi qu'à la condition 3 et 4 du TICM. En ce qui concerne la tâche SC, seuls les scores bruts totaux pour les sous-tests SCoi et SCoc ont été utilisés. Chaque analyse avait le groupe d'appartenance (expérimental ou contrôle) comme variable intersujet et le temps de mesure comme variable à mesures répétées intrasujet (pré-test et post-test). Un ajustement de Bonferroni a été appliqué afin de contrôler les erreurs de type 1 dues aux comparaisons multiples, en ajustant le seuil de significativité (p) pour chaque test statistique. En ce qui a trait au postulat de base nécessaire pour mener des analyses statistiques comparatives entre des groupes, l'indépendance des groupes est respectée et comme mentionné précédemment, il y a absence de différences significatives entre les deux groupes en ce qui concerne l'ensemble des caractéristiques sociodémographiques. L'homogénéité de la variance a été vérifiée à l'aide du test de Levene, révélant seulement un cas d'hétérogénéité des variances pour le

nombre total d'erreurs (score brut) à la condition 4 du TDP ($p = 0,026$). Pour adresser ce problème, les recommandations de Tabachnick et Fidell (2007) sur le traitement des scores extrêmes ont été suivies. Trois scores extrêmes identifiés pour cette variable influençaient l'hétérogénéité observée. Ces scores ont été ajustés selon un critère de scores Z de $\pm 3,29$. Ce processus de winsorisation, qui implique le remplacement des valeurs extrêmes par la valeur extrême la plus proche non considérée comme telle, a pour but de réduire leur effet de distorsion sur l'analyse. Après cet ajustement, la variable a été soumise à nouveau au test de Levene et le postulat d'homogénéité des variances a été respecté ($p = 0,175$). En ce qui a trait au postulat de normalité, chaque variable a été soumise au test de normalité de Shapiro-Wilk. Cependant, la grande majorité des résultats n'ont pu correspondre aux critères de normalité. Cette situation est relativement courante dans le domaine des tests neuropsychologiques, car ceux-ci reflètent la variabilité du fonctionnement cognitif individuel au sein d'une population (Monette & Bigras, 2008). Une faible variance observée peut s'expliquer par la taille réduite de l'échantillon et par l'utilisation de scores pondérés. De plus, il est à noter que les groupes testés ne sont probablement pas représentatifs de l'ensemble de la population. Ces particularités peuvent conduire à une distribution des scores qui ne respecte pas strictement l'hypothèse de normalité. Cependant, en se référant au Tableau 2, il est possible de constater que les minimums et maximums des deux groupes pour chaque tâche se trouvent dans un intervalle plausible et réaliste en fonction de la tâche, ce qui indique l'absence de données aberrantes. Cette observation suggère que bien que les données ne suivent pas une

distribution parfaitement normale, elles demeurent cohérentes avec les caractéristiques attendues pour ces mesures.

Tableau 2

Synthèse des scores bruts : scores moyens, écarts-types et plages minimum et maximum aux tests

	Groupe									
	<i>Groupe expérimental</i>					<i>Groupe témoin</i>				
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>ET</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Flexibilité cognitive										
TDP (condition 4)										
Pré-test: Score brut (sec.)	50	130	50	57	240	45	134	45	59	240
Post-test: Score brut (sec.)	50	105	43	48	240	45	110	42	50	218
Pré-test: Score brut (err.)	50	2,42	4,84	0	23	45	1,89	2,08	0	7
Post-test: Score brut (err.)	50	1,98	4,05	0	22	45	1,98	3,09	0	15
TICM (condition 4)										
Pré-test: Score brut (sec.)	50	86	18	57	147	45	86	22	53	151
Post-test: Score brut (sec.)	50	78	25	28	180	45	73	17	46	139
Pré-test: Score brut (err.)	50	3,82	3,06	0	14	45	2,98	2,97	0	12
Post-test: Score brut (err.)	50	3,62	3,36	0	15	45	2,53	2,35	0	12
Inhibition										
TICM (condition 3)										
Pré-test: Score brut (sec.)	50	87	23	58	180	45	86	17	57	131
Post-test: Score brut (sec.)	50	79	20	51	154	45	76	24	44	171
Pré-test: Score brut (err.)	50	3,82	2,67	0	13	45	3,49	2,47	0	8
Post-test: Score brut (err.)	50	4,28	3,09	0	14	45	2,82	2,72	0	10
Mémoire de travail										
SC (Orde inverse (SCoi) et croissant (SCoc))										
Pré-test: SCoi	50	6,88	2,11	4	13	45	7,42	2,05	2	11
Post-test: SCoi	49*	6,96	1,97	1	13	45	7,50	2,16	4	13
Pré-test: SCoc	50	6,40	2,05	2	13	45	6,87	2,17	4	13
Post-test: SCoc	49*	6,33	2,07	2	11	45	6,76	2,14	4	11

Notes. *n*= nombre de données; M= moyenne; ET= écart-type; TDP= Test Traçage de pistes; TICM= Test d'interférence couleur-mot; SC= Séquences de chiffres; Score pond. = Score pondéré; sec. = seconde; err. = erreur.

*Données manquantes

Par ailleurs, il est important de noter que l'ANOVA est reconnue pour sa robustesse (Field, 2018). Cette robustesse signifie qu'elle peut tolérer certaines violations des hypothèses statistiques, notamment la non-normalité des données, sans compromettre significativement la validité des résultats, en grande partie grâce au théorème central limite (TCL) (Girden, 1992). Le TCL stipule que, pour un échantillon suffisamment grand, la distribution des moyennes d'échantillon d'une variable sera approximativement normale, peu importe la forme de la distribution de la population d'origine. Par conséquent, pour garantir la puissance de notre étude, la taille d'échantillon requise a été préalablement déterminée à l'aide d'un calcul de puissance (Faul et al., 2007). L'estimation initiale du nombre de participants nécessaires était de 98 sujets, en prévoyant une puissance de 0.80 ($1-\beta$), une taille d'effet moyenne de 0.25 (f de Cohen) et un niveau alpha (α) de 0.05 (Cohen, 1988). Au final, l'échantillon comptait 95 participants, ce qui reste très proche de l'estimation initiale. Cette taille d'échantillon adéquate permet ainsi de maintenir une puissance statistique suffisante, même en présence de non-normalité des données.

Enfin, les prochains paragraphes se concentrent davantage sur les données brutes. Les analyses ont toutefois été réalisées aussi avec les scores pondérés afin d'être certains de ne pas manquer une différence qui s'y retrouverait. La décision de se concentrer sur les données brutes est basée sur le constat que les tâches neuropsychologiques sont normées en comparant les résultats à la moyenne et à l'écart-type d'une population donnée en fonction de l'âge, ce qui conduit à l'obtention d'un score pondéré. Dans cette optique, il est

possible que deux performances distinctes se situent dans l'intervalle d'un même libellé (p. ex. : moyenne faible, moyenne, moyenne élevée). Cela dit, le fait de privilégier l'utilisation des scores bruts permet de mieux saisir les variations individuelles dans les performances. Toutefois, à l'exception du Tableau 2, qui présente les résultats moyens, les écarts-types, ainsi que les valeurs minimales et maximales de toutes les tâches neuropsychologiques administrées en fonction de chaque groupe et des différents temps de mesure (pré-test et post-test), l'équivalence entre les scores bruts et les données pondérées est accessible via les tableaux pour chaque hypothèse.

Résultats aux tâches évaluant la flexibilité cognitive

Selon la première hypothèse, il était attendu d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes de diminution du nombre d'erreurs totales et de réduction du temps de complétion au post-test dans la condition 4 du TDP, et dans la condition 4 du TICM, évaluant tous deux la flexibilité cognitive. Or, cette hypothèse n'est pas supportée par les résultats obtenus. En effet, en analysant les données de l'ANOVA, présentées dans le Tableau 3, il apparaît qu'il existe un effet significatif entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F(1,93) = 47,971, p < 0,001$), mais aucun effet significatif entre le groupe expérimental et le contrôle ($F(1,93) = 0,289, p = 0,592$), ni d'interaction significative entre les deux groupes (expérimental et contrôle) et les temps de mesure (pré-test et post-test) ($F(1, 93) = 0,004, p = 0,951$) en ce qui concerne le score de vitesse dans la condition 4 du TDP.

Tableau 3

Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 4 du Test Traçage de Piste

Variable	Facteur	F (ddlN, ddlD)	Valeur-p	n^2 partiel
Secondes brutes	Groupe	F (1,93) = 0,289	0,592	0,003
	Temps	F (1,93) = 47,971	<0,001***	0,340
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,004	0,951	0,000
Secondes pondérées	Groupe	F (1,93) = 0,238	0,627	0,003
	Temps	F (1,93) = 36,002	<0,001***	0,279
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,126	0,723	0,001
Erreurs brutes	Groupe	F (1,93) = 0,174	0,678	0,002
	Temps	F (1,93) = 0,179	0,673	0,002
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,406	0,525	0,004
Erreurs pondérées	Groupe	F (1,93) = 0,171	0,680	0,002
	Temps	F (1,93) = 0,615	0,435	0,007
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,393	0,532	0,004

Notes. n^2 partiel = Éta-carré partiel

*** : Significativité à $p < 0,001$

En d'autres termes, les deux groupes ont évolué de la même manière au fil de l'intervention, que ce soit avec le jeu d'apprentissage *Cogni-Actif* ou le visionnage passif d'une vidéo standardisée. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes en ce qui concerne le temps d'exécution de la condition 4 du TDP, que ce soit au pré-test ou au post-test (-4,611 secondes, $p = 0,592$, IC 95 % [-21,649 ; 12,426]). Cependant, il est possible de noter une amélioration de la vitesse d'exécution de cette tâche au post-test illustrant l'effet d'apprentissage à cette épreuve chez le groupe expérimental et le contrôle (24,304 secondes, $p < 0,001$, IC 95 % [17,336 ; 31,273]). En ce qui a trait au nombre total d'erreurs commises dans la condition 4 du

TDP, les résultats de l'ANOVA (Tableau 3) ne montrent aucune différence significative entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F(1,93) = 0,179$, $p = 0,673$) ni entre le groupe expérimental et le groupe contrôle ($F(1,93) = 0,174$, $p = 0,678$), et aucune interaction significative n'a été observée ($F(1,93) = 0,406$, $p = 0,525$). En d'autres termes, les deux interventions (expérimentale et contrôle) ont eu des effets similaires sur les élèves. Par conséquent, aucune différence significative n'a été constatée entre les deux groupes en ce qui concerne le nombre d'erreurs commises lors de la condition 4 du TDP, indépendamment du temps de mesure (pré-test et post-test) (0,267 erreur, $p = 0,678$, IC 95 % [-1,004 ; 1,538]), et aucune amélioration significative du nombre d'erreurs n'a été observée au fil du temps indépendamment du groupe d'appartenance (expérimental et contrôle) (0,176 erreur, $p = 0,673$, IC 95 % [-0,648 ; 0,999]).

En ce qui concerne le score de vitesse dans la condition 4 du TICM, qui évalue également la flexibilité cognitive, les résultats de l'ANOVA répertoriés dans le Tableau 4 reflètent les mêmes tendances que celles observées dans la condition 4 du TDP. Ainsi, les analyses révèlent un effet significatif entre les différents temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F(1,93) = 41,019$, $p < 0,001$), mais pas d'effet significatif entre les groupes expérimental et contrôle ($F(1,93) = 0,366$, $p = 0,546$), ni d'interaction entre les groupes (expérimental et contrôle) et le temps de mesure (pré-test et post-test) ($F(1,93) = 2,424$, $p = 0,123$). En d'autres termes, il n'y a pas de différence significative entre les effets du jeu *Cogni-Actif* et de l'intervention contrôle. Les deux interventions ont donc eu un effet similaire sur les élèves.

Tableau 4

Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 4 du Test d'interférence couleur-mot

Variable	Facteur	F (ddlN, ddlD)	Valeur-p	n^2 partiel
Secondes brutes	Groupe	F (1,93) = 0,366	0,546	0,004
	Temps	F (1,93) = 41,019	<0,001***	0,306
	Groupe*Temps	F (1,93) = 2,424	0,123	0,025
Secondes pondérées	Groupe	F (1,93) = 0,312	0,578	0,003
	Temps	F (1,93) = 37,240	<0,001***	0,286
	Groupe*Temps	F (1,93) = 2,841	0,095	0,030
Erreurs brutes	Groupe	F (1,93) = 3,438	0,067 ⁺	0,036
	Temps	F (1,93) = 1,017	0,316	0,011
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,146	0,703	0,002
Erreurs pondérées	Groupe	F (1,93) = 2,830	0,096	0,030
	Temps	F (1,93) = 1,370	0,245	0,015
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,111	0,740	0,001

Notes. n^2 partiel = Éta-carré partiel

*** : Significativité à $p < 0,001$

+ : Tendance statistique

La différence moyenne de temps d'exécution entre le pré-test et le post-test (T1-T2), indépendamment des groupes, est de 10,226 secondes ($p < 0,001$, IC 95% [7,055 ; 13,396]). Cela signifie que, quel que soit leur groupe d'appartenance, les élèves ont amélioré leur vitesse d'exécution au fil du temps. Cependant, aucune différence significative n'a été relevée entre les groupes (expérimental vs. contrôle) indépendamment du temps de mesure (pré-test et post-test), avec une différence moyenne de 2,354 secondes ($p = 0,546$, IC 95% [-5,369 ; 10,078]). Pour cette même tâche, le nombre total d'erreurs a aussi été analysé (Tableau 4), ne relevant aucun effet significatif entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F (1,93) = 1,017$, $p = 0,316$) ni d'interaction entre les temps

de mesure et les deux groupes (expérimental et contrôle) ($F(1,93) = 0,146, p = 0,703$). Cependant, en ce qui concerne l'effet entre les deux groupes ($F(1,93) = 3,438, p = 0,067$), la valeur p se situe à proximité du seuil de significativité conventionnel fixé à 0,05, ce qui suggère une tendance entre les deux groupes. En d'autres termes, bien que la différence entre les groupes ne soit pas statistiquement significative à ce seuil, il existe des indices laissant supposer que des différences potentielles dans le nombre total d'erreurs dans cette tâche pourraient émerger avec un échantillon plus important.

Résultats à la tâche évaluant l'inhibition

La deuxième hypothèse formulée postulait la possibilité d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en ce qui concerne la réduction du nombre d'erreurs total et la diminution du temps de complétion au post-test dans la condition 3 du Test d'interférence couleur-mot, qui évalue l'inhibition. Toutefois, tout comme la précédente, cette hypothèse n'est pas étayée par les résultats obtenus. En effet, en ce qui concerne le score de vitesse, les données de l'ANOVA (Tableau 5) révèlent un effet significatif entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F(1, 93) = 31,013, p < 0,001$), mais pas d'effet significatif entre les deux groupes (expérimental vs. contrôle) ($F(1, 93) = 0,185, p = 0,668$), ni d'interaction entre les deux groupes et les deux temps de mesure ($F(1, 93) = 0,191, p = 0,663$). En d'autres termes, les deux groupes ont évolué de la même manière au fil de l'intervention (que ce soit avec le jeu *Cogni-Actif* ou le visionnage passif d'une vidéo standardisée) en ce qui concerne la vitesse d'exécution de la tâche.

Tableau 5

Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour la vitesse d'exécution et le nombre total d'erreurs dans la condition 3 du Test d'interférence couleur-mot

Variable	Facteur	F (ddlN, ddlD)	Valeur-p	n^2 partiel
Secondes brutes	Groupe	F (1,93) = 0,185	0,668	0,002
	Temps	F (1,93) = 31,013	<0,001***	0,250
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,191	0,663	0,002
Secondes pondérées	Groupe	F (1,93) = 0,252	0,617	0,003
	Temps	F (1,93) = 25,142	<0,001***	0,213
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,070	0,792	0,001
Erreurs brutes	Groupe	F (1,93) = 3,245	0,075	0,034
	Temps	F (1,93) = 0,144	0,705	0,002
	Groupe*Temps	F (1,93) = 4,272	0,042*	0,044
Erreurs pondérées	Groupe	F (1,93) = 2,910	0,091	0,030
	Temps	F (1,93) = 0,494	0,491	0,005
	Groupe*Temps	F (1,93) = 4,752	0,032*	0,049

Notes. n^2 partiel = Éta-carré partiel

* : Significativité à $p < 0,05$

*** : Significativité à $p < 0,001$

Pour cette même tâche, le nombre d'erreurs total fut analysé (Tableau 5) et il est intéressant de noter que malgré l'absence d'effet significatif entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) ($F(1, 93) = 0,144$, $p = 0,705$) et entre les deux groupes (expérimental vs. contrôle) ($F(1, 93) = 3,245$, $p = 0,075$), les analyses révèlent un effet significatif d'interaction entre les deux groupes et les deux temps de mesure ($F(1, 93) = 4,272$, $p = 0,042$). En d'autres termes, le nombre total d'erreurs entre le pré-test et le post-test diffère de manière significative entre le groupe expérimental et celui de contrôle. Cette interaction indique que l'effet de l'intervention expérimentale et de contrôle sur les erreurs n'est pas le même. Ainsi, l'analyse de comparaison appariée du groupe en fonction du

temps pour cette variable indique que le groupe contrôle a significativement réduit le nombre d'erreurs lors du post-test, avec une différence moyenne (expérimental – contrôle) de 1,458 erreur ($p = 0,017$, IC 95% [0,265 ; 2,651]). Cela signifie que l'intervention de contrôle (visionnement passif d'une vidéo standardisée) a eu un effet positif sur la réduction des erreurs dans la tâche évaluant l'inhibition par rapport au groupe expérimental.

Résultats à la tâche évaluant la mémoire de travail

En ce qui concerne la troisième hypothèse, il était attendu d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes d'augmentation du score brut total au post-test dans la tâche de Séquences de chiffres en ordre inverse (SCoi) et en ordre croissant (SCoc) évaluant toutes deux la mémoire de travail. Cependant, les données ne confirment pas cette hypothèse. Ainsi, les données de l'ANOVA pour cette variable (Tableau 6) ne montrent pas d'effet significatif entre les deux temps de mesure (pré-test vs. post-test) pour le SCoi ($F(1,93) = 0,301$, $p = 0,585$) et pour le SCoc ($F(1, 93) = 0,128$, $p = 0,722$), ni entre les deux groupes (expérimental vs. contrôle) pour le SCoi ($F(1, 93) = 1,875$, $p = 0,174$) et pour le SCoc ($F(1, 93) = 1,494$, $p = 0,225$), ni d'interaction entre les deux groupes et les deux temps de mesure pour le SCoc ($F(1, 93) = 0,033$, $p = 0,856$) et le SCoi ($F(1, 93) = 0,027$, $p = 0,869$). En d'autres termes, les résultats montrent que les participants n'ont pas significativement amélioré leurs performances dans ces deux tâches au fil du temps, quel que soit le groupe auquel ils appartenaient.

Tableau 6

Résultats de l'ANOVA à plan mixte pour le score total de la tâche Séquences de chiffres en ordre inverse (SCoi) et en ordre croissant (SCoc).

Variable	Facteur	F (ddlN, ddlD)	Valeur-p	n^2 partiel
Score total (SCoi)	Groupe	F (1,93) = 1,875	0,174	0,020
	Temps	F (1,93) = 0,301	0,585	0,003
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,033	0,856	0,000
Score total (SCoc)	Groupe	F (1,93) = 1,494	0,225	0,016
	Temps	F (1,93) = 0,128	0,722	0,001
	Groupe*Temps	F (1,93) = 0,027	0,869	0,000

Notes. n^2 partiel = Éta-carré partiel

Discussion

Cette étude visait à comparer les effets immédiats d'une séance de 15 minutes du jeu d'apprentissage physiquement actif *Cogni-Actif* sur la flexibilité cognitive, l'inhibition et la mémoire de travail chez des enfants âgés de 8 à 12 ans, par rapport à une intervention de contrôle consistant en l'écoute passive d'une vidéo standardisée de durée équivalente. L'objectif était d'évaluer si une courte séance combinant l'AP et l'engagement cognitif avait des effets potentiellement bénéfiques et instantanés sur les FEs (flexibilité cognitive, inhibition et mémoire de travail) des enfants d'âge scolaire.

Les paragraphes suivants présenteront l'interprétation des résultats obtenus par les deux groupes pour les différentes tâches évaluant respectivement la flexibilité cognitive, l'inhibition et la mémoire de travail. Ensuite, une section mettra en évidence les forces et les limites de cette étude, ainsi que ses implications générales et les perspectives de recherche futures associées.

Interprétation des résultats obtenus aux tâches évaluant la flexibilité cognitive

La première hypothèse suggérait que le groupe expérimental obtiendrait des résultats significativement meilleurs que le groupe contrôle dans les tâches évaluant la flexibilité cognitive. Toutefois, les résultats des analyses n'ont pas confirmé cette hypothèse.

En effet, concernant la vitesse d'exécution dans les deux conditions évaluant la flexibilité cognitive, les deux groupes ont évolué de manière similaire au fil de l'intervention, que ce soit avec le jeu d'apprentissage *Cogni-Actif* ou le visionnement passif d'une vidéo standardisée. Ainsi, lors des comparaisons entre le pré-test et le post-test, les deux groupes ont amélioré leur performance de façon significative. Il pourrait être envisagé d'attribuer cette amélioration des scores entre les mesures pré-test et post-test à un effet d'apprentissage des tests ou à une habitude à l'exécution de la tâche, tel que décrit par Alexander et ses collègues (2003). En effet, la répétition précoce de la tâche a potentiellement rendu les participants plus familiers avec la tâche, les rendant ainsi plus efficaces dans leur exécution, un phénomène également observé dans l'étude de Hill et ses collègues (2011).

En outre, plusieurs hypothèses peuvent être invoquées afin d'expliquer l'absence de différence entre les deux groupes de l'étude en termes de vitesse d'exécution et du nombre d'erreurs aux tâches évaluant la flexibilité cognitive. En premier lieu, les résultats obtenus concordent avec ceux obtenus par Piepmeyer et ses collègues (2015) ainsi qu'avec les travaux de Tomporowski et Ganio (2006) qui n'ont rapporté aucun changement au niveau de la flexibilité cognitive après une seule séance d'AP brève. Comparativement à ces études, la présente intervention intégrait une composante d'engagement cognitif en plus de l'AP. Toutefois, étant donné que les résultats de cette étude corroborent ceux des études précédentes, il est possible que le degré d'engagement cognitif ne soit pas

suffisamment intense pour distinguer nettement la séance *Cogni-Actif* d'une séance d'AP seule. En ce sens, il est envisageable que des séances offrant un niveau d'engagement cognitif plus élevé puissent potentiellement produire des effets plus marqués sur la flexibilité cognitive. Ainsi, comme rapporté dans la revue systématique de Best et Miller (2010), de légères différences dans les conditions expérimentales liées à l'AP (p. ex : l'ajout d'une composante cognitive) peuvent influencer les résultats. En tenant compte de ces éléments, il est raisonnable de croire qu'avec des critères mieux définis dans la littérature concernant le niveau optimal d'engagement cognitif associé à l'AP, il serait possible de constater un effet bénéfique de ce type d'activité sur la flexibilité cognitive des enfants.

Une deuxième explication pourrait concerner la sensibilité des tâches mesurant la flexibilité cognitive pour détecter une différence significative entre les groupes. En effet, les tâches du D-KEFS ont été conçues pour évaluer les FE chez des populations présentant divers troubles neurocognitifs (par exemple : troubles d'apprentissage, démence, traumatisme crânien, lésions cérébrales, etc.). Habituellement utilisées pour identifier des difficultés, des altérations ou des déficits dans le fonctionnement exécutif, il est possible que ces tâches ne soient pas suffisamment sensibles pour évaluer une amélioration immédiate après une intervention brève chez des sujets sans difficulté cognitive importante (Suchy, 2009). La spécificité des mesures est importante, étant donné que les évaluations cliniques typiques des FE englobent et évaluent souvent plusieurs composantes distinctes des FE, tout en mesurant également d'autres fonctions non

exécutives (Suchy, 2009). Cela n'est pas problématique dans les contextes cliniques, où des batteries complètes de tests sont utilisées et où la localisation d'un déficit peut être déduite par un processus d'élimination à partir de plusieurs tâches neuropsychologiques. Cependant, dans de nombreuses situations de recherche, un tel processus de déduction minutieux n'est pas pratique. En conséquence, la plupart des conclusions de recherche basées sur ces instruments offrent une discrimination minimale des processus neurocognitifs discrets (Suchy, 2009). Cela dit, bien que les instruments de mesure utilisés dans cette étude aient été sélectionnés en se basant sur l'étude de Strauss et ses collègues (2006), qui les ont répertoriés parmi les 10 tests les plus fréquemment utilisés pour évaluer les différentes FE, il se peut qu'ils ne soient pas adaptés pour détecter les changements subtils et immédiats induits par des interventions brèves chez un échantillon d'enfants principalement neurotypiques issus de classes régulières du primaire. Ainsi, l'identification d'outils plus sensibles à la dynamique rapide du changement cognitif pourrait être cruciale pour de futures recherches visant à évaluer l'impact direct d'une intervention ayant comme objectif l'amélioration des FE.

La quatrième interprétation des résultats concerne la possibilité d'une homogénéité dans le développement des FE parmi les enfants participant à l'étude. Cette hypothèse suggère que les capacités de flexibilité cognitive des enfants, indépendamment de leur appartenance au groupe expérimental ou contrôle, pourraient être similaires à l'origine. Une telle uniformité dans les niveaux de compétence exécutive implique que les variations individuelles au sein de cet échantillon sont minimales, ce qui peut limiter la capacité de

l'étude à détecter des différences significatives attribuables aux interventions. L'échantillon de normalisation du D-KEFS comprenait 1 750 individus âgés de 8 à 89 ans, dont 175 enfants de 8 à 12 ans (Swanson, 2005). La normalisation des scores implique de calculer la moyenne et l'écart-type de l'échantillon de référence. Il est attendu qu'un individu sans difficulté spécifique performe dans la moyenne de son groupe d'âge lors de tests neuropsychologiques. Cela suggère que la fonction cognitive évaluée devrait être suffisamment développée en accord avec l'âge si l'individu ne présente pas de problème neuropsychologique particulier. Partant de ce principe, l'homogénéité observée ou l'absence de différence significative entre les groupes concernant la flexibilité cognitive pourrait indiquer que, pour les enfants de cet âge et dans cette population spécifique, le développement de la flexibilité cognitive suit un parcours stable et uniforme, marqué par une faible variabilité. Le développement de la flexibilité cognitive, étant un processus graduel qui se renforce avec l'expérience et l'apprentissage, pourrait ne pas être immédiatement apparent dans des interventions de courte durée (Best & Miller, 2010; Chevalier, 2010; Diamond, 2002; Diamond & Lee, 2011; Hunter et al., 2012; Zelazo & Müller, 2002).

Enfin, le nombre élevé d'évaluateurs nécessaires lors des journées de collecte de données a pu entraîner des incohérences entre évaluateurs. Bien que la fiabilité inter-juge des tests soit considérée comme bonne, tous les évaluateurs ne possédaient pas le même niveau de connaissances et de compétences pour administrer ces tests, malgré une formation initiale dispensée par une neuropsychologue et des sessions de pratique.

Interprétation des résultats obtenus à la tâche évaluant l'inhibition

La deuxième hypothèse suggérait que le groupe expérimental performerait significativement mieux que le groupe contrôle dans la tâche mesurant l'inhibition. Cependant, tout comme pour la première hypothèse, les analyses statistiques n'ont pas confirmé cette hypothèse.

L'évolution de la vitesse d'exécution a été similaire pour les deux groupes, que ce soit avec le jeu d'apprentissage *Cogni-Actif* ou le visionnage passif d'une vidéo standardisée. Cela indique également que tous les participants ont possiblement bénéficié de l'effet d'apprentissage décrit précédemment (Alexander et al., 2003).

En outre, les explications évoquées précédemment proposent des raisons plausibles à l'absence de différence significative entre les deux groupes en termes de vitesse d'exécution pour la condition 3 du TICM. Pour rappel, ces explications comprennent le niveau d'engagement cognitif requis par le jeu sérieux *Cogni-Actif*, le manque de sensibilité de la tâche spécifique à l'étude, le nombre élevé d'évaluateurs et l'homogénéité dans le développement des FEs des enfants.

Une autre explication possible est la durée de l'intervention. En effet, cette explication s'appliquait à l'étude de Kubesch et ses collègues (2009), où ils ont mesuré les effets liés à l'AP seuls sur la performance à un test d'inhibition chez des adolescents âgés de 13 et de 14 ans. Les résultats suggèrent qu'un cours d'éducation physique de 30

minutes est bénéfique aux FEs, mais pas une brève séance de cinq minutes d'exercices d'aérobic en classe. Cela dit, il est important de considérer que l'efficacité d'une intervention pourrait être fortement influencée par sa durée (Ellemberg & St-Louis-Deschênes, 2010). Une séance plus longue, comme celle de 30 minutes utilisée dans l'étude de Kubesch et ses collègues (2009) permet potentiellement un engagement plus profond dans l'activité, ce qui pourrait conduire à une amélioration des FEs. En comparaison, une séance plus courte pourrait ne pas offrir suffisamment de temps pour que les bénéfices cognitifs se manifestent.

Concernant le nombre total d'erreurs à la condition 3 du TICM, les résultats se sont révélés étonnamment contraires à notre hypothèse. Ainsi, le groupe contrôle a significativement réduit le nombre d'erreurs lors du post-test comparativement au groupe expérimental, suggérant que l'intervention de contrôle (visionnement passif d'une vidéo standardisée) a eu un effet positif sur la réduction des erreurs dans la tâche évaluant l'inhibition par rapport à l'intervention expérimentale. Étant donné le manque de critères objectifs dans le choix de l'intervention de contrôle, il est difficile d'expliquer et de déterminer une raison précise justifiant ce résultat. Toutefois, voici deux explications plausibles.

Premièrement, il est raisonnable de considérer un effet d'apprentissage, comme précédemment évoqué. En effet, dans leur recherche, Hill et ses collaborateurs (2011) ont observé que des sessions de dix à quinze minutes d'exercices d'aérobic de moyenne

intensité amélioreraient les FEs uniquement chez les élèves déjà familiers avec les tests utilisés. Étant donné que, dans notre étude, tous les participants avaient été préalablement exposés aux tâches neuropsychologiques avant l'intervention expérimentale ou de contrôle, et compte tenu de la faible variabilité des scores, il est possible que l'effet d'apprentissage ait été légèrement plus marqué dans le groupe contrôle, ce qui suggère que l'amélioration observée pourrait être attribuée à l'effet d'apprentissage plutôt qu'à la condition expérimentale.

Deuxièmement, il est possible que la vidéo, bien que considérée comme neutre, ait offert des avantages spécifiques. Ainsi, dans le cas de la présente étude, il est possible que l'intervention de contrôle passive (le visionnement passif d'une vidéo standardisée) ait offert un environnement moins exigeant ou moins stressant pour les participants, ce qui aurait pu permettre une meilleure concentration sur les tâches requérant de l'inhibition. Cette réduction du stress ou cette diminution de la charge cognitive pourrait expliquer pourquoi le groupe contrôle a commis moins d'erreurs par rapport au groupe expérimental. Ainsi, comme le soulignent Pesce et ses collègues (2021), l'importance de prendre en compte les facteurs contextuels dans les interventions en AP ne peut être sous-estimée. En outre, si les participants percevaient l'intervention expérimentale comme plus complexe ou exigeante, cela aurait pu, paradoxalement, interférer avec leur capacité à performer efficacement dans les tâches d'inhibition, conduisant à un plus grand nombre d'erreurs. Cette perspective s'aligne avec l'idée que les effets non spécifiques des interventions, tels

que le stress ou la perception de la difficulté, peuvent avoir un impact notable sur les résultats des études (Pesce, 2012; Pesce et al., 2021).

Interprétation des résultats obtenus à la tâche évaluant la mémoire de travail

En ce qui concerne la troisième hypothèse, il était attendu d'observer une différence significative entre le groupe expérimental et le groupe témoin en termes d'augmentation du score brut total au post-test dans la tâche de SC en ordre croissant (SCoc) et en ordre inverse (SCoi), évaluant principalement la mémoire de travail. Cependant, comme les deux précédentes, les résultats infirment cette hypothèse.

Les résultats montrent que les deux groupes ont évolué de manière similaire au cours de l'intervention, que ce soit avec le jeu d'apprentissage *Cogni-Actif* ou le visionnage passif d'une vidéo standardisée, possiblement en raison de l'effet d'apprentissage évoqué précédemment (Alexander et al., 2003). Par ailleurs, aucune différence entre les groupes n'a été observée en ce qui concerne les scores obtenus à la tâche évaluant la mémoire de travail. Cela peut être attribué à des facteurs développementaux, notamment l'empan de mémoire typique d'un enfant d'âge scolaire. Ainsi, à cet âge, les capacités de mémoire de travail sont encore en développement et peuvent présenter une certaine uniformité entre les enfants, ce qui rend difficile la détection de différences significatives après une intervention brève.

Cela dit, Budde et ses collègues (2010) suggèrent que même des interventions physiques modérées comme une course de 12 minutes peuvent être bénéfiques, spécifiquement pour les adolescents ayant initialement une capacité de mémoire de travail moins développée. De plus, certaines études rapportent que l'effet de l'AP sur les fonctions cognitives supérieures est limité par des effets de plafond, ce qui signifie que les personnes présentant de faibles performances aux tâches exécutives avant l'intervention sont susceptibles de bénéficier le plus d'une seule séance d'AP (Drollette et al., 2012; Sibley & Beilock, 2007). Cela dit, certains types d'intervention peuvent avoir un impact différentiel en fonction du niveau de départ des capacités cognitives des participants, ce qui pourrait expliquer l'absence de différences observées dans notre étude, étant donné la faible variabilité individuelle des capacités de mémoire de travail au sein des deux groupes.

Forces et limites de l'étude

La présente étude présente des limites au niveau de sa méthodologie. Tout d'abord, un biais d'échantillonnage se trouve dans cette étude, découlant de la stratégie d'échantillonnage par convenance utilisée, soit une méthode d'échantillons non probabilistes (Vallerand & Hess, 2000). La principale limite de cette méthode d'échantillonnage est que les participants ont été sélectionnés en fonction de leur disponibilité et de leur proximité avec le chercheur, c'est-à-dire qu'ils provenaient d'un milieu scolaire à la fois proche et accessible de l'UQAC. En ce sens, l'échantillon peut ne pas représenter adéquatement la population cible, affectant ainsi la généralisation des

résultats. Par ailleurs, ce type d'échantillon peut manquer de diversité, ce qui réduit la capacité à explorer la variabilité au sein de la population cible (Vallerand & Hess, 2000). De plus, la taille de l'échantillon de l'étude, et donc la réduction de la puissance statistique, pourrait s'avérer être une limitation. En effet, le nombre total de participants était de 95. Bien que ce nombre permette d'obtenir certains résultats significatifs, il est concevable que la puissance statistique n'ait pas été suffisante pour détecter une différence significative entre les deux groupes concernant les variables évaluant les FEs, ou que ces dernières pourraient présenter des tailles d'effet plus modestes que celles anticipées initialement. Bien que l'estimation préalable de la puissance statistique pour cette étude suggérait que 98 participants étaient nécessaires, et que le nombre réel de participants diffère seulement de trois, il reste possible que des résultats différents auraient été obtenus avec un nombre de participants plus élevé, ce qui aurait alors augmenté la puissance statistique (Bourque et al., 2009).

Autrement, bien que la méthodologie de cette étude présente certaines limites, l'inclusion d'un groupe témoin constitue une force notable. Cette configuration permet une comparaison directe et contrôlée des effets de l'intervention, offrant ainsi une perspective plus claire sur l'impact réel de l'AP cognitivement engageante sur les FEs des participants. De ce fait, le groupe témoin a fourni un point de référence essentiel pour évaluer les changements attribuables spécifiquement à l'intervention plutôt qu'à d'autres facteurs, tels que l'effet d'apprentissage, qui a été constaté dans cette étude grâce à ce groupe. Par

ailleurs, l'utilisation d'un groupe témoin renforce la validité interne de l'étude et augmente la confiance dans l'interprétation des résultats.

En ce qui a trait à l'intervention expérimentale, la durée de la séance *Cogni-Actif*, l'intensité de l'engagement cognitif le type d'activité cognitivement engageante représentent potentiellement des limites dans cette étude. En effet, ces choix n'ont pas pu s'appuyer sur des données objectives concernant la durée et le niveau d'engagement cognitif reconnus pour avoir des effets clairs. En effet, bien que rarement abordée, la durée est un facteur essentiel tant sur le plan méthodologique que pratique. Comprendre combien de temps perdure les bénéfices des interventions et identifier les périodes les plus propices pour ces dernières pourrait non seulement affiner les protocoles de recherche pour les rendre plus rigoureux et comparables, mais aussi avoir des implications pratiques significatives en milieu éducatif (St-Louis-Deschenes & Ellemberg, 2013). De plus, il est possible que l'engagement cognitif n'ait pas été suffisant, ce qui pourrait en partie justifier l'absence de différence notable entre les deux groupes en ce qui concerne les FEs. Comme il fut souligné dans l'étude de Schmidt et ses collègues (2015), le degré de demande cognitive est un facteur déterminant pour améliorer certains aspects des FEs. Cela dit, il serait pertinent que des recherches futures se fondent sur des données tangibles pour déterminer la durée, le type d'activité cognitivement engageante et le niveau d'intensité requis. Par ailleurs, comme souligné précédemment, bien que l'AP cognitivement engageante soit reconnue comme une forme spécifique d'AP intégrant une dimension cognitive, soit exigeant un effort mental additionnel à l'effort physique, la littérature

scientifique ne fournit pas une définition claire de ce concept. Jusqu'à présent, aucune recherche n'a examiné de manière approfondie les aspects spécifiques de ce type d'AP, tels que l'intensité, la durée, la nature des tâches, ou l'équilibre idéal entre les exigences cognitives et l'activation physique. En effet, comme mentionné dans l'étude van der Niet et ses collègues (2016), davantage de recherches sont nécessaires pour déterminer le niveau optimal d'engagement cognitif et d'activation physique requis dans une activité physique pour favoriser les FEs des enfants. Une meilleure compréhension de ces facteurs contribuerait à optimiser les interventions (p. ex. : *Cogni-Actif*) et à enrichir les connaissances dans ce domaine.

De plus, l'intensité de l'AP et le degré réel d'engagement des jeunes pendant les séances n'ont pas été mesurés, ce qui constitue une limite notable de la présente étude. Par ailleurs, la version du jeu utilisée correspondait à un prototype fonctionnel, mais toujours en développement, ne disposant pas encore d'éléments motivationnels conçus pour maintenir un engagement optimal pendant toute la durée des séances de 15 minutes. Il serait pertinent, dans de futures études, d'évaluer ces variables en utilisant la version finale du jeu. Plus précisément, l'intensité pourrait être mesurée de manière objective à l'aide d'un accéléromètre, ou qualitativement via des notes d'observation prises pendant les séances.

Dans le même ordre d'idées, l'intervention de contrôle pourrait également représenter une limite. Comme indiqué dans la section méthodologie, parmi toutes les

recherches consultées ayant une méthodologie similaire à la présente étude, aucune n'a fourni d'informations détaillées sur la vidéo standardisée ou l'intervention neutre employée (Hillman et al., 2009; Ludyga et al., 2020; Mazzoli et al., 2021; Piepmeier et al., 2015). De ce fait, le choix de cette vidéo s'est fait sans s'appuyer sur des données objectives et a été sélectionné en fonction des critères suivants : elle devait durer 15 minutes, être adaptée aux deux niveaux scolaires, être en lien avec l'étude et être la moins stimulante possible. Bien que ces critères aient paru raisonnables, ils ne reposent sur aucune base de données probantes. En conséquence, l'absence de critères prédéfinis dans la littérature pour sélectionner le contenu de l'intervention de contrôle pourrait avoir influencé de manière inattendue les résultats de l'étude, rendant ainsi difficile l'évaluation précise de l'effet de l'intervention *Cogni-Actif* par rapport à une activité neutre. Cela souligne l'importance de choisir avec soin les interventions contrôles dans les futures recherches, en se basant sur des critères clairs et justifiés, pour garantir que ces interventions servent de comparaison valide et ne biaisent pas les résultats.

Enfin, le contexte dans lequel la collecte de données s'est déroulée aurait pu influencer les résultats. Compte tenu des limitations en termes de disponibilité des locaux dans les écoles primaires, il n'a pas été possible d'entreprendre l'expérimentation dans un contexte éducatif habituel pour les enfants. La difficulté à contrôler les variables environnementales au sein de l'UQAC, qui diffère de l'environnement habituel de classe des enfants, aurait pu affecter la disposition des participants et, par conséquent, influencer leurs comportements ainsi que les résultats liés aux variables étudiées. La rupture de leur

routine habituelle, causée par le déplacement hors de leur cadre scolaire régulier pour se retrouver dans un espace inconnu, soit l'UQAC, pourrait avoir engendré un certain degré de désorientation et avoir eu un impact sur les données recueillies. De surcroît, bien que cela ait été décrit dans le formulaire de consentement, l'expérience de se retrouver seul avec un assistant de recherche inconnu pendant environ une heure pourrait avoir créé une atmosphère potentiellement anxiogène pour certains étudiants. Les éléments tels que la nouveauté, l'absence de contrôle et l'imprévisibilité peuvent effectivement provoquer du stress chez l'enfant lors de la passation de tests neuropsychologiques (Dorenkamp & Vik, 2018). De plus, la passation de tests neuropsychologiques en elle-même est considérée comme une source potentielle de stress pour les participants (Sindi et al., 2013), ce qui peut également influencer leurs performances aux tâches (Lupien et al., 2008). Comme le soulignent Pesce et ses collègues (2021), l'importance de prendre en compte les facteurs contextuels dans les interventions en AP ne peuvent être sous-estimée. Dans cette étude, bien que les interventions aient été administrées selon un protocole structuré, les variables contextuelles, telles que l'environnement inhabituel et la présence d'un assistant de recherche inconnu, ont pu interagir et influencer les comportements et la disposition des participants. Il est donc important que les futures recherches tiennent compte de ces facteurs contextuels afin de mieux comprendre leur impact sur les résultats des interventions et d'optimiser les conditions de collecte de données. Ainsi, une démarche écologique respectueuse du contexte scolaire serait l'idéal pour minimiser l'influence des variables environnementales.

Recommandations et perspectives

À la lumière des hypothèses explicatives et des limites évoquées, diverses recommandations peuvent être formulées pour affiner les recherches futures concernant la relation entre l'AP cognitivement engageante et les FEs chez les enfants.

Premièrement, en ce qui concerne les instruments de mesure employés pour évaluer les FEs des enfants, il est envisageable de proposer plusieurs améliorations. Bien que la flexibilité cognitive, l'inhibition et la mémoire de travail soient reconnues comme étant les trois composantes fondamentales des FEs (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000), elles dépendent étroitement d'autres fonctions cognitives (p. ex. : l'attention, la mémoire, la vitesse de traitement de l'information, etc.). L'évaluation des FEs nécessite donc l'emploi de divers tests et, idéalement, l'adoption de méthodologies variées, incluant l'observation directe. L'analyse comportementale lors des évaluations offre des informations précieuses, particulièrement en contexte clinique, mais reste sous-utilisée en recherche en raison de sa complexité à être standardisée (Lezak, 2012; Roy, 2021). Les futures études gagneraient à intégrer des mesures ciblant d'autres fonctions cognitives afin de saisir plus finement l'impact global de l'AP cognitivement engageante. De plus, l'adoption d'un volet comportemental permettrait d'obtenir une compréhension plus complète des effets de telles interventions sur les performances cognitives des enfants.

Par ailleurs, les défis liés à l'évaluation des FEs, bien connus en neuropsychologie adulte, se voient amplifiés dans le cadre pédiatrique en raison de la dynamique propre au

développement (Roy et al., 2012). En effet, dans une revue sur les effets de l'AP sur le fonctionnement exécutif des adultes, les auteurs concluent que l'AP physique n'affecte pas uniformément les FEs (Barenberg et al., 2011). Ils soulèvent que plus la mesure du fonctionnement exécutif est complexe, plus il est difficile de trouver un effet chez les adultes. En ce sens, cela pourrait être encore plus difficile chez les enfants, car leur capacité à transférer et à généraliser des stratégies vers des tâches plus complexes est connue pour être plus pauvre que chez les adultes (Barenberg et al., 2011). Par conséquent, les recherches futures pourraient se tourner vers des instruments de mesure plus écologiques. L'usage exclusif de tests basés sur la performance a été remis en question, similairement aux réflexions en neuropsychologie adulte, en raison d'un potentiel manque de sensibilité clinique (Anderson, 2002; Lezak, 2012). Ces tests, souvent perçus comme artificiels et éloignés des situations de la vie quotidienne, peuvent ne pas refléter fidèlement la manière dont les FEs sont mobilisées. Cette limitation, bien que non spécifique aux FEs, est particulièrement saillante pour ces processus de haut niveau, au développement complexe et prolongé, et dont l'activation varie grandement selon l'âge et est influencée par de nombreux facteurs personnels et environnementaux (Roy, 2021). L'adoption d'outils plus écologiques représente donc une voie prometteuse pour les études futures, permettant une exploration plus authentique et représentative des FEs. Ainsi, des épreuves dites de simulation de la vie quotidienne pourraient s'avérer un choix judicieux (Roy, 2021). Étant ainsi plus représentatives de la manière dont les FEs sont mobilisées dans la vie quotidienne des enfants (Roy, 2021). Une batterie neuropsychologique intéressante serait *Le Test of Everyday Attention for Children (TEACH)* qui propose

différents sous-tests qui permettent d'évaluer plusieurs fonctions du contrôle exécutif et de l'attention, en particulier l'inhibition, l'attention sélective, l'attention partagée et la flexibilité mentale (Manly et al., 2001; Robertson et al., 1994). Non seulement cette batterie pourrait permettre de mieux évaluer les FEs dans une optique plus écologique, mais celle-ci est parfaitement adaptée aux enfants, avec des tâches plaisantes, variées et attractives pour la population jeune (Roy, 2021). Par ailleurs, le TEACH comporte deux versions alternatives, ce qui s'avère idéal pour le type de méthodologie employée dans la présente étude, comportant deux temps de mesure rapprochés temporellement, permettant ainsi d'atténuer l'effet d'apprentissage observé (Robertson et al., 1994).

Enfin, une autre perspective intéressante serait de considérer une répartition différente des groupes pour de futures études. Au vu des résultats de nombreuses recherches qui montrent une amélioration significative des FEs à la suite d'AP chez les enfants initialement classés avec des scores plus bas dans les évaluations neuropsychologiques (Budde et al., 2010; Pan et al., 2015; Sibley & Beilock, 2007), adopter une telle méthodologie pourrait s'avérer intéressant. Ainsi, comme mentionné par Diamond et Lee (2011), ce type d'intervention profite particulièrement aux enfants présentant initialement des FEs plus faibles, suggérant l'importance de l'entraînement précoce de celles-ci pour potentiellement réduire les écarts de réussite ultérieurs. En ce sens, face aux défis liés à la détection de différences dans les FEs au sein d'un groupe d'enfants qui peuvent résulter de divers facteurs, il apparaît judicieux d'examiner les disparités entre les enfants ayant des capacités exécutives moins développées et ceux sans

difficulté notable, et de déterminer si une séance *Cogni-Actif* peut efficacement réduire les écarts en termes de performance exécutive au sein d'une classe (Diamond & Lee, 2011). Par ailleurs, si les résultats corroborent ceux d'autres études (Budde et al., 2010; Pan et al., 2015; Sibley & Beilock, 2007), le programme *Cogni-Actif* se positionnerait non seulement comme un outil innovant pour intégrer davantage d'AP dans le quotidien des élèves, mais pourrait également offrir aux enfants présentant des faiblesses au niveau des FE l'opportunité de développer ces compétences dans un environnement où ils passent de nombreuses heures chaque semaine. Cette approche offrirait ainsi une chance égale à tous les élèves d'améliorer leurs FE, contribuant à une expérience éducative plus inclusive et bénéfique, tout en s'alignant avec les directives émises par l'OMS qui préconisent d'assurer un accès égal aux ressources et aux environnements propices à l'AP (OMS, 2020).

Retombées de l'étude

Les résultats concrets de cette étude sont relativement limités, en raison de l'absence de résultats significatifs. En effet, l'étude n'a pas permis de déterminer de manière précise l'utilité du jeu *Cogni-Actif* sur les FE de base, telles que la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et l'inhibition des enfants âgés de 8 à 12 ans. Cependant, elle a permis de générer de nouvelles pistes de recherche qui pourraient approfondir ce sujet, tout en mettant en évidence qu'il existe plusieurs facteurs à considérer afin d'observer une amélioration des FE dans les tâches utilisées. Ainsi, si de futures études parviennent à surmonter les limites de la présente recherche en tenant

compte des recommandations formulées, les résultats pourraient s'avérer encourageants et élargir l'utilisation de jeux d'apprentissage tels que *Cogni-Actif* dans le secteur de l'éducation primaire. L'emploi de jeux cognitivement et physiquement stimulants pourrait devenir un outil précieux dans les écoles pour stimuler, améliorer ou consolider le développement des FE chez les enfants, tout en contribuant à maintenir leur condition physique. En effet, comme mentionné précédemment, les FE sont des fonctions cognitives essentielles tout au long de la vie (Diamond, 2013) et elles sont particulièrement sensibles à la pratique répétée durant l'enfance (Diamond & Lee, 2011). Cela dit, si d'autres recherches parviennent à mettre en place une étude dont les résultats sont significatifs, démontrant qu'il est possible d'améliorer les FE des enfants en utilisant un jeu dans le style de *Cogni-Actif*, cela pourrait avoir un impact positif sur tous les stades de développement : enfance, adolescence et âge adulte (Diamond, 2013; Diamond & Lee, 2011).

De plus, l'étude globale a permis de documenter l'AP chez les enfants. Ainsi, il a été soulevé que malgré les preuves scientifiques et les recommandations, une grande majorité d'enfants et de jeunes ne parviennent pas à respecter les directives en matière d'AP (OMS, 2020). Seulement 39 % des Canadiens âgés de 5 à 17 ans atteignent les 60 minutes d'AP d'intensité modérée à élevée recommandées quotidiennement (OMS, 2020). De plus, on observe une diminution de l'AP avec l'âge, la baisse la plus importante étant observée à partir de l'âge de 9 ans (Farooq et al., 2019). Par conséquent, bien que la présente étude n'ait pas permis de mettre en

évidence qu'une seule séance de 15 minutes du jeu *Cogni-Actif* a un effet immédiat sur les FEs des enfants, il est indéniable que son utilisation répétée pourrait contribuer à combler ce déficit en augmentant le temps dédié à l'activité physique tout en optimisant leur santé physique.

Le programme *Cogni-Actif*, se présente comme un outil novateur destiné à soutenir les équipes éducatives dans la mise en œuvre de l'AP en classe, tout en tenant compte des défis couramment rencontrés. Conçu en collaboration avec les enseignants, cet outil vise à promouvoir l'AP en engageant simultanément tous les élèves d'une classe, sans nécessiter de planification supplémentaire. Ainsi, le programme *Cogni-Actif* offre une solution originale au manque de temps, qui constitue un obstacle majeur à l'intégration de l'AP en classe.

Conclusion

En conclusion, cette étude avait pour but d'explorer les effets immédiats d'une session de 15 minutes du jeu d'apprentissage actif *Cogni-Actif*, qui combine AP et engagement cognitif, sur les trois composantes clés du fonctionnement exécutif: l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mémoire de travail, chez des enfants âgés de 8 à 12 ans. Afin de répondre à cet objectif, trois hypothèses de recherche ont été testées. La première hypothèse prévoyait une amélioration de la flexibilité cognitive immédiatement après une session de 15 minutes de jeu avec *Cogni-Actif*. Cette hypothèse a été infirmée : la vitesse d'exécution pour les deux groupes a évolué de manière identique entre le pré-test et le post-test, sans aucune différence notable en termes de nombre d'erreurs. La deuxième hypothèse anticipait une amélioration de l'inhibition suite à la session de jeu, ce qui a également été réfuté. Les résultats ont montré que la vitesse d'exécution a progressé de façon similaire pour les deux groupes du pré au post-test. De plus, contrairement aux attentes, le groupe contrôle a commis moins d'erreurs au post-test par rapport au groupe expérimental. Enfin, la troisième hypothèse suggérait une amélioration de la mémoire de travail immédiatement après la session de jeu. Cette hypothèse a aussi été réfutée, le jeu n'ayant induit aucune différence significative de performance entre les deux temps de mesures et entre les deux groupes d'appartenance.

Cela dit, l'exploration de l'impact d'un jeu d'apprentissage conjuguant des éléments physiques et cognitifs sur l'amélioration des FEs nécessite une approche plus nuancée. Pour obtenir des résultats plus concluants, une réplication de cette étude avec un échantillon plus large et l'utilisation de méthodes de mesure plus écologiques est nécessaire. Il est également crucial de prendre en compte le niveau d'exigence cognitive et physique imposés par le jeu, ainsi que la nécessité de répétition et la durée des sessions. Enfin, le stade de développement de l'enfant et l'efficacité préalable de ses FEs sont des critères essentiels à considérer. Cette démarche permettrait de mieux comprendre dans quelles conditions spécifiques l'utilisation de tels jeux d'apprentissage peut effectivement favoriser le développement des FEs chez l'enfant.

Enfin, bien que cette étude n'ait pas confirmé les hypothèses initiales, il ressort néanmoins que l'emploi d'un jeu d'apprentissage tel que *Cogni-Actif* ne semble pas présenter d'inconvénient pour le fonctionnement exécutif et pourrait donc être envisagé dans le cadre scolaire comme moyen d'accroître le temps dédié à l'AP des enfants, contribuant ainsi à leur santé physique.

Références

- Ainslie, P. N., Cotter, J. D., George, K. P., Lucas, S., Murrell, C., Shave, R., Thomas, K. N., Williams, M. J. A., & Atkinson, G. (2008). Elevation in cerebral blood flow velocity with aerobic fitness throughout healthy human ageing. *The Journal of Physiology*, 586(16), 4005-4010. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.158279>
- Albaladejo-García, C., García-Aguilar, F., & Moreno, F. J. (2023). The role of inhibitory control in sport performance : Systematic review and meta-analysis in stop-signal paradigm. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 147, 105108. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105108>
- Alexander, C., Paul, M., David G., D., & Michael, M. (2003). The effects of practice on the cognitive test performance of neurologically normal individuals assessed at brief test–retest intervals. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9(3), 419-428. <https://doi.org/10.1017/S1355617703930074>
- Alloway, T. Packiam., Gathercole, S. Elizabeth., Adams, A.-Marie., Willis, Catherine., Eaglen, Rachel., & Lamont, Emily. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(3), 417-426. <https://doi.org/10.1348/026151005X26804>
- Alvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J., & Martinez Vizcaino, V. (2017). The Effect of Physical Exercise Activity Interventions on Children’s Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>
- Anadon, M. (2007). *Recherche participative: multiples regards*. PUQ.
- Anderson, P. (2002). Assessment and Development of Executive Function (EF) During Childhood. *Child neuropsychology: a journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*, 8, 71-82. <https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724>
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.02.010>

- Audiffren, M. (2009). Acute Exercise and Psychological Functions : A Cognitive-Energetic Approach. Dans Exercise and Cognitive Function (p. 1-39). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470740668.ch1>
- Audiffren, M., & André, N. (2014). The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions. *Journal of Sport and Health Science*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.002>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. Dans G. H. Bower (Éd.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bailey, C. (2007). Cognitive Accuracy and Intelligent Executive Function in the Brain and in Business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118, 122-141. <https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Barceló, F., & Knight, R. (2002). Both random and perseverative errors underlie WCST prefrontal patients. *Neuropsychologia*, 40, 349-356. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00110-5](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00110-5)
- Barch, D. M. (2006). What can research on schizophrenia tell us about the cognitive neuroscience of working memory? *Neuroscience*, 139(1), 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.09.013>
- Barenberg, J., Berse, T., & Dutke, S. (2011). Executive functions in learning processes: Do they benefit from physical activity? *Educational Research Review*, 6(3), 208-222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2011.04.002>
- Barker, J. E., Semenov, A. D., Michaelson, L., Provan, L. S., Snyder, H. R., & Munakata, Y. (2014). Less-structured time in children's daily lives predicts self-directed executive functioning. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00593>
- Bathina, S., & Das, U. (2015). Brain-derived neurotrophic factor and its clinical Implications. *Archives of medical science*, 11(6), 1164-1178. <https://doi.org/10.5114/aoms.2015.56342>
- Beck, S., Hanson, C., Puffenberger, S., Benninger, K., & Benninger, W. (2010). A Controlled Trial of Working Memory Training for Children and Adolescents with ADHD. *Journal of clinical child and adolescent psychology*, 39(6), 825-836. <https://doi.org/10.1080/15374416.2010.517162>
- Best, J., & Miller, P. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child development*, 81, 1641-1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>

- 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). <https://doi.org/10.3390/ijerph15040800>
- Binder, D. K., & Scharfman, H. E. (2004). Mini Review. *Growth Factors*, 22(3), 123-131. <https://doi.org/10.1080/08977190410001723308>
- Blair, C., & Razza, R. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child development*, 78, 647-663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- 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>
- Bodrova, E., & Leong, D. (2012). Tools of the Mind: Vygotskian approach to early childhood education. Dans J. L. Roopnarine & J. E. Johnson (Éds.), *Approaches to Early Childhood Education* (6^e éd., pp. 241-260). Pearson.
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The Specific Role of Inhibition in Reading Comprehension in Good and Poor Comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541-552. <https://doi.org/10.1177/0022219410371676>
- Bouchard, C., & Shephard, R. J. (1994). Physical activity, fitness, and health: The model and key concepts. Dans C. Bouchard, R. J. Shephard, & T. Stephens (Éds.), *Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement* (p. 77-88). Human Kinetics Publishers.
- Bouchard, S., Lemelin, S., Dubé, C., & Giguère, J.-F. (2010). Intérêt clinique d'une conception neuroscientifique du trouble de personnalité limite : dysfonctionnements du système exécutif et de la théorie de l'esprit. *Santé mentale au Québec*, 35(2), 227-251. <https://doi.org/10.7202/1000561ar>
- Bourque, J., Blais, J.-G., & Larose, F. (2009). L'interprétation des tests d'hypothèses : p, la taille de l'effet et la puissance. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(1), 211-226. <https://doi.org/10.7202/029931ar>
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & René, A. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports medicine* 32(9), 555-566. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>

- Brown, T., & Landgraf, J. (2010). Improvements in Executive Function Correlate with Enhanced Performance and Functioning and Health-Related Quality of Life: Evidence From 2 Large, Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Trials in ADHD. *Postgraduate medicine*, 122(5), 42-51.
<https://doi.org/10.3810/pgm.2010.09.2200>
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrabyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, 441, 219-223.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrassyk-Kendziorra, S., Machado, S., Ribeiro, P., & Arafat, A. (2010). Steroid hormones in the saliva of adolescents after different exercise intensities and their influence on working memory in a school setting. *Psychoneuroendocrinology*, 35(3), 382-391.
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.07.015>
- Bull, R., Espy, K., & Wiebe, S. (2008). Short-Term Memory, Working Memory, and Executive Functioning in Preschoolers: Longitudinal Predictors of Mathematical Achievement at Age 7 Years. *Developmental neuropsychology*, 33(3), 205-228.
<https://doi.org/10.1080/87565640801982312>
- Burgess, P., & Simons, J. (2005). Theories of frontal lobe executive function: Clinical applications. Dans P. W. Halligan & D. T. Wade (Éds.), *Effectiveness of Rehabilitation for Cognitive Deficits*, (pp. 211-231). Oxford Academic.
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198526544.003.0018>
- Calso, C., Besnard, J., Calò, C., & Allain, P. (2015). Étude des fonctions frontales dans le vieillissement cognitif normal. *Revue de neuropsychologie*, 7(4), 257-268.
<https://doi.org/10.1684/nrp.2015.0359>
- Cappelli, C., Pike, J., Riggs, N., Warren, C., & Pentz, M. (2019). Executive function and probabilities of engaging in long-term sedentary and high calorie/low nutrition eating behaviors in early adolescence. *Social Science & Medicine*, 237, 112483.
<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112483>
- 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.

- Cassar, S., Salmon, J., Timperio, A., Naylor, P.-J., van Nassau, F., Contardo Ayala, A. M., & Koorts, H. (2019). Adoption, implementation and sustainability of school-based physical activity and sedentary behaviour interventions in real-world settings: a systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16(1), 120. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0876-4>
- Caterino, M. C., & Polak, E. D. (1999). Effects of Two Types of Activity on the Performance of Second-, Third-, and Fourth-Grade Students on a Test of Concentration. *Percept Mot Skills*, 89(1), 245-248. <https://doi.org/10.2466/pms.1999.89.1.245>
- Cech, D., & Martin, S. T. (2012). Functional Movement Development Across the Life Span. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-60730-3>
- Cefis, M. (2019). *Impact des modalités d'un exercice physique sur la neuroplasticité. Focus sur les sources de BDNF*. [Thèse doctorale, Université Bourgogne Franche-Comté]. HAL Theses. <https://theses.hal.science/tel-02402708>
- Censabella, S. (2007). Les fonctions exécutives. Dans M.-P. Noël (Éd.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (pp. 117-137). Mardaga.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Konkel, A., Hillman, C. H., Cohen, N. J., & Kramer, A. F. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.08.049>
- Chaddock, L., Pontifex, M., Hillman, C., & Kramer, A. (2011). A Review of the Relation of Aerobic Fitness and Physical Activity to Brain Structure and Function in Children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(6), 975-985. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000567>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87-101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Cheval, B., Darrous, L., Choi, K. W., Klimentidis, Y. C., Raichlen, D. A., Alexander, G. E., Cullati, S., Kutalik, Z., & Boisgontier, M. P. (2023). Genetic insights into the causal relationship between physical activity and cognitive functioning. *Scientific Reports*, 13(1), 5310. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32150-1>
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement.. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 51(3), 149-163. <https://doi.org/10.1037/a0020031>

- Chueh, T.-Y., Hsieh, S.-S., Tsai, Y.-J., Yu, C.-L., Hung, C.-L., Benzing, V., Schmidt, M., Chang, Y.-K., Hillman, C. H., & Hung, T.-M. (2022). Effects of a single bout of moderate-to-vigorous physical activity on executive functions in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review and meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, 58. 102097 <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102097>
- Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., & Bengio, Y. (2014). *Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling*. ArXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.3555>
- Clément, É. (2006). Approche de la flexibilité cognitive dans la problématique de la résolution de problème.. *L'Année Psychologique*, 106(3), 415-434. <https://doi.org/10.4074/S0003503306003058>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2^e éd.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Fonctionnement exécutif et réseaux cérébraux. *Revue de Neuropsychologie*, 6(4), 256-266. <https://doi.org/10.3917/rne.064.0256>
- Comité scientifique de Kino-Québec (2011). *L'activité physique: le sport et les jeunes*. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2016005>
- Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*. Rand McNally.
- Crova, C., Struzzolino, I., Marchetti, R., Masci, I., Vannozzi, G., Forte, R., & Pesce, C. (2013). Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children. *Journal of sports sciences*, 32(3), 201-211. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.828849>
- Daly-Smith, A., Zwolinsky, S., McKenna, J., Tomporowski, P., Defeyter, M., & Manley, A. (2018). Systematic review of acute physically active learning and classroom movement breaks on children's physical activity, cognition, academic performance and classroom behaviour: Understanding critical design features. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 4(1), e000341. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2018-000341>
- Davis, J., Marra, C., Najafzadeh, M., & Liu-Ambrose, T. (2010). The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics*, 10, 16. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-16>

- 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>
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. H. (2001). Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS). APA PsycTests.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., & Holdnack, J. (2004). Reliability and validity of the Delis-Kaplan Executive Function System: An update. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(2), 301-303. <https://doi.org/10.1017/S1355617704102191>
- Dempster, F. N., & Cooney, J. B. (1982). Individual differences in digit span, susceptibility to proactive interference, and aptitude/achievement test scores. *Intelligence*, 6(4), 399-416. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(82\)90026-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(82)90026-5)
- 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. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. Dans D. T. Stuss & R. T. Knight (Éds.), *Principles of frontal lobe function*. (pp. 466-503). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0029>
- Diamond, A. (2007). Interrelated and interdependent. *Developmental Science*, 10(1), 152-158. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00578.x>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science*, 318(5855), 1387-1388. <https://doi.org/10.1126/science.1151148>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions Shown to Aid Executive Function Development in Children 4 to 12 Years Old. *Science*, 333(6045), 959-964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2020). Review of the Evidence on, and Fundamental Questions About, Efforts to Improve Executive Functions, Including Working Memory. Dans J. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, & R. W. Engle, (pp. 143-431). <https://doi.org/10.1093/oso/9780199974467.003.0008>

- 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>
- Donnelly, J., Hillman, C., Castelli, D., Etnier, J., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., & Szabo-Reed, A. (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>
- Dorenkamp, M., & Vik, P. (2018). Neuropsychological Assessment Anxiety: A Systematic Review. *Practice Innovations*, 3(3), 192-211. <https://doi.org/10.1037/pri0000073>
- Drollette, E. S., Shishido, T., Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2012). Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(10), 2017–2024. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318258bcd5>
- Duckworth, A. L., Tsukayama, E., & Geier, A. B. (2010). Self-controlled children stay leaner in the transition to adolescence. *Appetite*, 54(2), 304-308. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.11.016>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Eakin, L., Minde, K., Hechtman, L., Ochs, E., Krane, E., Bouffard, R., Greenfield, B., & Looper, K. (2004). The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders*, 8(1), 1-10. <https://doi.org/10.1177/108705470400800101>
- Éditeur officiel du Québec (2023). *Loi sur l'instruction publique : Régime pédagogique de l'éducation préscolaire, de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire*. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/rc/I-13.3,%20R.%208.pdf>
- Efron, S. E., & Ravid, R. (2019). *Action research in education: A practical guide*. Guilford Publications.

- 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>
- Ellemberg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(2), 122–126. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2009.09.006>
- Erickson, K. I., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., & Powell, K. E. (2019). Physical Activity, Cognition, and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical Activity Guidelines. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(6), 1242-1251. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., Vieira, V. J., Martin, S. A., Pence, B. D., Woods, J. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017-3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- Er-Rafiqi, M., Roukoz, C., Gall, D., & Roy, A. (2017). Les fonctions exécutives chez l'enfant : développement, influences culturelles et perspectives cliniques. *Revue de neuropsychologie*, 9(1), 27-34. <https://doi.org/10.3917/rne.091.0027>
- Espy, K. A. (2004). Using Developmental, Cognitive, and Neuroscience Approaches to Understand Executive Control in Young Children. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 379-384. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_1
- Espy, K. A., Bull, R., Kaiser, H., Martin, J., & Banet, M. (2008). Methodological and conceptual issues in understanding the development of executive control in the preschool period. Dans V. Anderson, R. Jacobs, & P. J. Anderson (Éds.), *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective* (pp. 105–121). Taylor & Francis.
- Espy, K. A., McDiarmid, M., Cwik, M., Stalets, M., Hamby, A., & Senn, T. (2004). The Contribution of Executive Functions to Emergent Mathematic Skills in Preschool Children. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 465-486. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_6
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The Influence of Physical Fitness and Exercise upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 19(3), 249-277. <https://doi.org/10.1123/jsep.19.3.249>

- Fabel, K., & Kempermann, G. (2008). Physical Activity and the Regulation of Neurogenesis in the Adult and Aging Brain. *NeuroMolecular Medicine*, 10(2), 59-66. <https://doi.org/10.1007/s12017-008-8031-4>
- Farooq, A., Martin, A., Janssen, X., Wilson, M., Gibson (nee Knowles), A.-M., Hughes, A., & Reilly, J. (2019). Longitudinal changes in moderate-to-vigorous-intensity physical activity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 21(1), e12953. <https://doi.org/10.1111/obr.12953>
- 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. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Ferris, L., Williams, J., & Shen, C.-L. (2007). The Effect of Acute Exercise on Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels and Cognitive Function. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 728-734. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802f04c7>
- Field, A. P. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5^e éd). Sage.
- Flook, L., Smalley, S. L., Kitil, M. J., Galla, B. M., Kaiser-Greenland, S., Locke, J., Ishijima, E., & Kasari, C. (2010). Effects of mindful awareness practices on executive functions in elementary school children. *Journal of Applied School Psychology*, 26(1), 70-95. <https://doi.org/10.1080/15377900903379125>
- Gabbard, C., & Barton, J. (1979). Effects of Physical Activity on Mathematical Computation among Young Children. *Journal of Psychology*, 103, 287-288.
- Gagné, P. P., Leblanc, N., & Rousseau, A. M. (2009). *Apprendre... une question de stratégies: développer les habiletés liées aux fonctions exécutives*. Chenelière éducation.
- Gall, D., Besnard, J., Havet, V., Pinon, K., & Allain, P. (2009). Contrôle exécutif, cognition sociale, émotions et métacognition. *Revue de neuropsychologie*, 1(1), 24-33. <https://doi.org/10.1684/nrp.2009.0004>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Gernsbacher, M. A. (1993). Less skilled readers have less efficient suppression mechanisms. *Psychological Science*, 4(5), 294-298. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00567.x>

- Giedd, J. N. (2008). The Teen Brain: Insights from Neuroimaging. *Journal of Adolescent Health*, 42(4), 335-343. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2008.01.007>
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA: Repeated measures*. Sage Publications, Inc.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et controle cognitif. *Revue neurologique*, 164(S3), S119-S127. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73302-2](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73302-2)
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(21), 8174-8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Goldstein, B., Obrzut, J., John, C., Ledakis, G., & Armstrong, C. (2004). The impact of frontal and non-frontal brain tumor lesions on Wisconsin Card Sorting Test performance. *Brain and cognition*, 54(2), 110-116. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00269-0](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00269-0)
- Goldstein, S., Naglieri, J. A., Princiotta, D., & Otero, T. M. (2013). Introduction: A history of executive function- ing. In S. Goldstein & J. A. Naglieri (Eds.), *Handbook of executive functioning*. New York, NY: Springer.
- Green, C., Long, D., Green, D., Iosif, A.-M., Dixon, J. F., Miller, M., Fassbender, C., & Schweitzer, J. (2012). Will Working Memory Training Generalize to Improve Off-Task Behavior in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder? *Neurotherapeutics: the journal of the American Society for Experimental NeuroTherapeutics*, 9(3), 639-648. <https://doi.org/10.1007/s13311-012-0124-y>
- Greenberg, M., Kusche, C., Cook, E., & Quamma, J. (1995). Promoting Emotional Competence in School-Aged Children: The Effects of the PATHS Curriculum. *Development and Psychopathology*, 7(1), 117-136. <https://doi.org/10.1017/S0954579400006374>
- Groeneveld, M., Vermeer, H., van IJzendoorn, M., & Linting, M. (2010). Children's wellbeing and cortisol levels in home-based and center-based childcare. *Early Childhood Research Quarterly*, 25(4), 502-514. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2009.12.004>
- Gyurak, A., Goodkind, M., Madan, A., Kramer, J., Miller, B., & Levenson, R. (2009). Do tests of executive functioning predict ability to downregulate emotions spontaneously and when instructed to suppress? *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 9, 144-152. <https://doi.org/10.3758/CABN.9.2.144>

- Hamer, M., Muniz Terrera, G., & Demakakos, P. (2018). Physical activity and trajectories in cognitive function: English Longitudinal Study of Ageing. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 72(6), 477. <https://doi.org/10.1136/jech-2017-210228>
- 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, L., Williams, J., Aucott, L., Thomson, J., & Mon-Williams, M. (2011). How does exercise benefit performance on cognitive tests in primary-school pupils? *Developmental medicine and child neurology*, 53(7), 630-635. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2011.03954.x>
- Hillman, C., Erickson, K., & Kramer, A. (2008). Be Smart, Exercise Your Heart: Exercise Effects on Brain and Cognition. *Nature reviews. Neuroscience*, 9, 58-65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>
- 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), e1063–e1071. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-3219>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 174-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.006>
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), F9–F15. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00848.x>
- Huang, C.-J., Huang, C.-W., Tsai, Y.-J., Tsai, C.-L., Chang, Y.-K., & Hung, T.-M. (2017). A Preliminary Examination of Aerobic Exercise Effects on Resting EEG in Children With ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 21(11), 898-903. <https://doi.org/10.1177/1087054714554611>
- Hunter, S. J., Edidin, J. P., & D. Hinkle, C. (2012). The developmental neuropsychology of executive functions. Dans S. J. Hunter & E. P. Sparrow (Éds.), *Executive Function and Dysfunction: Identification, Assessment and Treatment* (pp. 17–36). Cambridge University Press.

- Jacquart, J., Dutcher, C. D., Freeman, S. Z., Stein, A. T., Dinh, M., Carl, E., & Smits, J. A. J. (2019). The effects of exercise on transdiagnostic treatment targets : A meta-analytic review. *Contemporary Issues in Behavioral Medicine*, 115, 19-37. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2018.11.007>
- Jurado, M.-B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions: A Review of our Current Understanding. *Neuropsychology review*, 17, 213-233. <https://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z>
- 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. *Developmental Science*, 14(5), 1046-1058. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01054.x>
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., Gillberg, C. G., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2005). Computerized Training of Working Memory in Children With ADHD-A Randomized, Controlled Trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186. <https://doi.org/10.1097/00004583-200502000-00010>
- Kolimechkov, S. (2017). Physical fitness assessment in children and adolescents: a systematic review. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 3(4), 65-78. <http://dx.doi.org/10.46827/ejpe.v0i0.653>
- Kriemler, Meyer, U., Martin, E., Sluijs, E., Andersen, L., & Martin, B. W. (2011). Effect of school-based interventions on physical activity and fitness in children and adolescents: A review of reviews and systematic update. *British journal of sports medicine*, 45(11), 923-930. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090186>
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., & Hille, K. (2009). A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *Mind, Brain, and Education*, 3, 235-242. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x>
- Lakes, K. D., & Hoyt, W. T. (2004). Promoting self-regulation through school-based martial arts training. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 25(3), 283-302. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2004.04.002>
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>

- Lauenroth, A., Ioannidis, A., & Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: A systematic review. *BMC Geriatrics*, 16, 141. <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0315-1>
- Leber, A., Turk-Browne, N., & Chun, M. (2008). Neural predictors of moment-to-moment fluctuations in cognitive flexibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(36), 13592-13597. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805423105>
- Lee, I.-M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N., & Katzmarzyk, P. T. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *The Lancet*, 380(9838), 219-229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)
- Legrand, F. D., Chaouloff, F., Ginoux, C., Ninot, G., Polidori, G., Beaumont, F., Murer, S., Jeandet, P., & Pelissolo, A. (2023). L'exercice physique pour la santé mentale : Mécanismes, recommandations, recherches futures. *L'Encéphale*, 49(3), 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2023.03.004>
- Lehto, J., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2010). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed.). Oxford University Press.
- Li, Q., Steeg, G. V., Yu, S., & Malo, J. (2022). Functional Connectome of the Human Brain with Total Correlation. *Entropy*, 24(12). <https://doi.org/10.3390/e24121725>
- Ludyga, S., Brand, S., Gerber, M., Weber, P., Brotzmann, M., Habibifar, F., & Pühse, U. (2017). An event-related potential investigation of the acute effects of aerobic and coordinative exercise on inhibitory control in children with ADHD. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 28, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.10.007>
- Ludyga, S., Gerber, M., Mücke, M., Brand, S., Weber, P., Brotzmann, M., & Pühse, U. (2020). The Acute Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Flexibility and Task-Related Heart Rate Variability in Children With ADHD and Healthy Controls. *Journal of Attention Disorders*, 24(5), 693-703. <https://doi.org/10.1177/1087054718757647>
- Lupien, S. J., Maheu, F., Tu, M., Fiocco, A., & Schramek, T. (2008). The effects of stress and stress hormones on human cognition: Implications for the field of brain and cognition. *Brain and cognition*, 65(3), 209-237. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.02.007>

- Luria, A. R. (2012). *Higher cortical functions in man*. Springer Science & Business Media.
- Macmillan, M. (2000). Restoring Phineas Gage: A 150th Retrospective. *Journal of the History of the Neurosciences*, 9(1), 46-66. [https://doi.org/10.1076/0964-704X\(200004\)9:1;1-2;FT046](https://doi.org/10.1076/0964-704X(200004)9:1;1-2;FT046)
- Manjunath, N. K., & Telles, S. (2001). Improved performance in the Tower of London test following yoga. *Indian journal of physiology and pharmacology*, 45(3), 351-354.
- Manly, T., Anderson, V., Nimmo-Smith, I., Turner, A., Watson, P., & Robertson, I. H. (2001). The Differential Assessment of Children's Attention: The Test of Everyday Attention for Children (TEA-Ch), Normative Sample and ADHD Performance. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(8), 1065-1081. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1469-7610.00806>
- 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>
- Mazzoli, E., Salmon, J., Teo, W.-P., Pesce, C., He, J., Ben-Soussan, T. D., & Barnett, L. M. (2021). Breaking up classroom sitting time with cognitively engaging physical activity: Behavioural and brain responses. *PLoS ONE*, 16(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253733>
- McMorris, T. (2021). The acute exercise-cognition interaction: From the catecholamines hypothesis to an interoception model. *International journal of psychophysiology*, 170, 75-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.10.005>
- Medina, J., Netto, T., Muszkat, M., Medina, A., Botter, D., Orbetelli, R., Scaramuzza, L., Sinnes, E., Vilela, M., & Miranda, M. (2010). Exercise impact on sustained attention of ADHD children, methylphenidate effects. *Attention deficit and hyperactivity disorders*, 2, 49-58. <https://doi.org/10.1007/s12402-009-0018-y>
- Mezzacappa, E., & Buckner, J. C. (2010). Working memory training for children with attention problems or hyperactivity: A school-based pilot study. *School Mental Health*, 2(4), 202-208. <https://doi.org/10.1007/s12310-010-9030-9>
- Micheli, L., Mountjoy, M., Engebretsen, L., Hardman, K., Kahlmeier, S., Lambert, E., Ljungqvist, A., Matsudo, V., McKay, H., & Sundberg, C. J. (2011). Fitness and health of children through sport: The context for action. *British journal of sports medicine*, 45, 931-936. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090237>

- Miller, E., & Cohen, J. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual review of neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. L. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933-938. <https://doi.org/10.1126/science.2658056>
- Miyake, A., & Friedman, N. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current directions in psychological science*, 21(1), 8-14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., Howerter, A., & Wager, T. (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>
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., Ross, S., Sears, M. R., Thomson, W. M., & Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 2693-2698. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108>
- Monette, S., & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire. *Canadian Psychology / Psychologie canadienne*, 49, 323-341. <https://doi.org/10.1037/a0014000>
- Neeper, S. A., Gómez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. W. (1996). Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*, 726(1-2), 49-56. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(96\)00273-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(96)00273-9)
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans M. S. Gazzaniga (Éd.), *Cognitive Neuroscience : A reader*, (376-390). Blackwell Publishers.
- Nutley, S., Söderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L., Humphreys, K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: A controlled, randomized study. *Developmental science*, 14, 591-601. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.01022.x>
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79. <https://doi.org/10.1038/nn1165>

- Organisation mondiale de la Santé (2020). *Guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>
- Organisation mondiale de la Santé (2024). *Activité physique*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Pan, C.-Y., Tsai, C.-L., Chu, C.-H., Sung, M.-C., Huang, C.-Y., & Ma, W.-Y. (2015). 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>
- ParticipACTION. (2020). *Le rôle de la famille dans l'activité physique, les comportements sédentaires et le sommeil des enfants et des jeunes*. [Bulletin de l'activité physique chez les enfants et les jeunes de ParticipACTION]. <https://www.participation.com>
- Paterson, D. C., Ramage, K., Moore, S. A., Riazi, N., Tremblay, M. S., & Faulkner, G. (2021). Exploring the impact of COVID-19 on the movement behaviors of children and youth: A scoping review of evidence after the first year. *Journal of Sport and Health Science*, 10(6), 675-689. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.07.001>
- Pearson. (2016). *Cogmed working memory training: Claims & evidence – extended version V.4.1*. <https://www.psy-ed.com/cogmed-claims-and-evidence.pdf>
- Penadés, R., Catalán, R., Rubia, K., Andrés, S., Salamero, M., & Gastó, C. (2007). Impaired response inhibition in obsessive compulsive disorder. *European Psychiatry*, 22(6), 404-410. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2006.05.001>
- Penedo, F., & Dahn, J. (2005). Exercise and well-being: A review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Current opinion in psychiatry*, 18(2), 189-193. <https://doi.org/10.1097/00001504-200503000-00013>
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., Sloan, R., Gage, F. H., Brown, T. R., & Small, S. A. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(13), 5638-5643. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611721104>
- Pesce, C. (2012). Shifting the Focus From Quantitative to Qualitative Exercise Characteristics in Exercise and Cognition Research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(6), 766-786. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.6.766>

- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2(1), 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2009.02.001>
- Pesce, C., Vazou, S., Benzing, V., Alvarez-Bueno, C., Anzeneder, S., Mavillidi, M., Leone, L., & Schmidt, M. (2021). Effects of chronic physical activity on cognition across the lifespan: a systematic meta-review of randomized controlled trials and realist synthesis of contextualized mechanisms. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 16(1), 722-760. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2021.1929404>
- Piepmeyer, A. T., Shih, C.-H., Whedon, M., Williams, L. M., Davis, M. E., Henning, D. A., Park, S., Calkins, S. D., & Etnier, J. L. (2015). The effect of acute exercise on cognitive performance in children with and without ADHD. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.11.004>
- Pluncevic, J. (2012). Influence of the physical Activity on the Cognitive Functions with people Depending on their Age. *Medical Archives*, 66(4), 271-275. <https://doi.org/10.5455/medarh.2012.66.271-275>
- Poirel, E. (2017). Bienfaits psychologiques de l'activité physique pour la santé mentale optimale. *Santé mentale au Québec*, 42(1), 147-164. <https://doi.org/10.7202/1040248ar>
- Pontifex, M. B. P., Saliba, B. J. B. S., Raine, L. B. B. S., Picchietti, D. L. M. D., & Hillman, C. H. P. (2013). Exercise Improves Behavioral, Neurocognitive, and Scholastic Performance in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *The Journal of Pediatrics*, 162(3), 543-551. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.08.036>
- Raaijmakers, M. A. J., Smidts, D. P., Sergeant, J. A., Maassen, G. H., Posthumus, J. A., van Engeland, H., & Matthys, W. (2008). Executive Functions in Preschool Children with Aggressive Behavior: Impairments in Inhibitory Control. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36(7), 1097-1107. <https://doi.org/10.1007/s10802-008-9235-7>
- Rabipour, S., & Raz, A. (2012). Training the brain: Fact and fad in cognitive and behavioral remediation. *Brain and cognition*, 79(2), 159-179. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.006>
- Reznick, J. S. (2008). Working memory in infants and toddlers. Dans M. Courage & N. Cowan (Éds.), *The development of memory in infancy and childhood*, (2^e éd., pp. 343-365). Psychology Press.

- Riggs, N. R., Chou, C.-P., Spruijt-Metz, D., & Pentz, M. A. (2010). Executive Cognitive Function as a Correlate and Predictor of Child Food Intake and Physical Activity. *Child Neuropsychology*, 16(3), 279-292. <https://doi.org/10.1080/09297041003601488>
- 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>
- Robertson, I., Ward, T., Ridgeway, V., Nimmo-Smith, I., & Anespie, C. (1994). *The Test of Everyday Attention. Manual*.
- Rosch, K. S., & Mostofsky, S. (2019). Development of the frontal lobe. Dans M. D'Esposito & J. H. Grafman (Éds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 163, pp. 351-367). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00019-7>
- Roughan, L., & Hadwin, J. A. (2011). The impact of working memory training in young people with social, emotional and behavioural difficulties. *Learning and Individual Differences*, 21(6), 759-764. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.07.011>
- Roy, A. (2021). L'évaluation des fonctions exécutives. Dans M.-P. Noël (Éd.), *Bilan neuropsychologique de l'enfant*, (pp. 139-168). Mardaga.
- Roy, A., Gall, D., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2012). Les Fonctions exécutives chez l'enfant: Approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de Neuropsychologie*, 4(4), 287-297. <https://doi.org/10.1684/nrp.2012.0242>
- Sasser, T. R., Bierman, K. L., & Heinrichs, B. (2015). Executive functioning and school adjustment: The mediational role of pre-kindergarten learning-related behaviors. *Early Childhood Research Quarterly*, 30(Part A), 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2014.09.001>
- Schmeichel, B., Volokhov, R., & Demaree, H. (2009). Working Memory Capacity and the Self-Regulation of Emotional Expression and Experience. *Journal of personality and social psychology*, 95(6), 1526-1540. <https://doi.org/10.1037/a0013345>
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebbers, C., & 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>

- Schneider, S., Vogt, T., Frysche, J., Guardiera, P., & Strüder, H. K. (2009). School sport—A neurophysiological approach. *Neuroscience Letters*, 467(2), 131-134. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.022>
- Shen, Y., Zhao, Q., Huang, Y., Liu, G., & Fang, L. (2020). Promotion of Street-Dance Training on the Executive Function in Preschool Children. *Frontiers in psychology*, 11, 585598. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.585598>
- Sherman, E., Brooks, B., Iverson, G., Slick, D., & Strauss, E. (2011). Reliability and Validity in Neuropsychology. Dans M. R. Schoenber & J. G. Scott (Éds.), *The little black book of neuropsychology : A Syndrome-Based Approach*, (pp. 873-892). https://doi.org/10.1007/978-0-387-76978-3_30
- Shipstead, Z., Hicks, K. L., & Engle, R. W. (2012). Cogmed working memory training: Does the evidence support the claims? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 1(3), 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2012.06.003>
- Sibley, B. A., & Beilock, S. L. (2007). Exercise and Working Memory: An Individual Differences Investigation. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(6), 783-791. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.6.783>
- Simard, L. (2024). *L'apprentissage physiquement actif: un outil en soutien au développement global des enfants ayant ou non un diagnostic du trouble de déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité*. [Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi]. Constellation. <https://constellation.uqac.ca/id/eprint/9874/>
- Simard, L., Bouchard, J., Lavallière, M., & Chevrete, T. (2023). Promoting physical activity and academic achievement through physically active learning: Qualitative perspectives of co-design and implementation processes. *PloS one*, 18(11), e0294422. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294422>
- Simpson, A., & Riggs, K. (2007). Under what conditions do young children have difficulty inhibiting manual actions? *Developmental psychology*, 43(2), 417-428. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.2.417>
- Sindi, S., Fiocco, A., Juster, R.-P., Pruessner, J., & Lupien, S. (2013). When we test, do we stress? Impact of the testing environment on cortisol secretion and memory performance in older adults. *Psychoneuroendocrinology*, 38(8). <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.12.004>
- Société canadienne de physiologie de l'exercice. (2020). Directives en matière de 24 heures : Enfants et jeunes (5 à 17 ans). Repéré le 16 octobre 2024 à <https://csepguidelines.ca/language/fr/directives/enfants-et-jeunes-2/>

- St Clair-Thompson, H., & Gathercole, S. (2006). Executive function and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 59(4), 745-759. <https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Stahl, L., & Pry, R. (2005). Attentional flexibility and perseveration: Developmental aspects in young children. *Child Neuropsychology*, 11(2), 175-189. <https://doi.org/10.1080/092970490911315>
- Stillman, C. M., Esteban-Cornejo, I., Brown, B., Bender, C. M., & Erickson, K. I. (2020). Effects of Exercise on Brain and Cognition Across Age Groups and Health States. *Trends in Neurosciences*, 43(7), 533-543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tins.2020.04.010>
- St-Louis-Deschenes, M., & Ellemberg, D. (2013). Acute exercise and cognitive performance in children and adolescents. *Science and Sports*, 28(2), 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.10.007>
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3^e éd). Oxford University Press.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the Frontal Lobes: Relation to Executive Functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(5), 759-765. <https://doi.org/10.1017/S1355617711000695>
- Stuss, D. T. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20(1), 8-23. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90059-U](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90059-U)
- Stuss, D. T., Levine, B., Alexander, M. P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., Murphy, K. J., & Izukawa, D. (2000). Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, 38(4), 388-402. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00093-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00093-7)
- Suarez-Manzano, S., Ruiz-Ariza, A., De La Torre-Cruz, M., & Martínez-López, E. J. (2018). Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in young people with ADHD: A systematic review of intervention studies. *Research in Developmental Disabilities*, 77, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.03.015>

- Suchy, Y. (2009). Executive Functioning: Overview, Assessment, and Research Issues for Non-Neuropsychologists. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 106-116. <https://doi.org/10.1007/s12160-009-9097-4>
- Suchy, Y. (2015). *Executive functioning: A comprehensive guide for clinical practice*. Oxford University Press.
- Swanson, H. L., & Alloway, T. P. (2012). Working memory, learning, and academic achievement. Dans K. R. Harris, S. Graham, T. Urdan, C. B. McCormick, G. M. Sinatra, & J. Sweller (Éds.), *APA educational psychology handbook, Vol 1: Theories, constructs, and critical issues*. (p.p 327-366). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13273-012>
- Swanson, J. (2005). The Delis-Kaplan Executive Function System: A review. *Canadian Journal of School Psychology*, 20(1-2), 117-128. <https://doi.org/10.1177/0829573506295469>
- Tabachnick, B., & Fidell, L... S. (2007). *Using Multivariate Statistics* (6^e éd.). Pearson.
- Tangney, J., Baumeister, R., & Boone, A. (2004). High Self-Control Predicts Good Adjustment, Less Pathology, Better Grades, and Interpersonal Success. *Journal of personality*, 72, 271-324. <https://doi.org/10.1111/j.0022-3506.2004.00263.x>
- Tantillo, M., Kesick, C. M., Hynd, G. W., & Dishman, R. K. (2002). The effects of exercise on children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(2), 203-212. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00004>
- Tapia-Serrano, M. A., Sevil-Serrano, J., Sánchez-Miguel, P. A., López-Gil, J. F., Tremblay, M. S., & García-Hermoso, A. (2022). Prevalence of meeting 24-Hour Movement Guidelines from pre-school to adolescence: A systematic review and meta-analysis including 387,437 participants and 23 countries. *Journal of sport and health science*, 11(4), 427-437. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.01.005>
- Tavares, J., Clark, L., Cannon, D., Erickson, K., Drevets, W., & Sahakian, B. (2007). Distinct Profiles of Neurocognitive Function in Unmedicated Unipolar Depression and Bipolar II Depression. *Biological psychiatry*, 62(8), 917-924. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.034>
- Thomas, P., Bubrovsky, M., & Jardri, R. (2009). Fonctions exécutives et schizophrénie. *Revue de neuropsychologie*, 1(1), 65-69. <https://doi.org/10.1684/nrp.2009.0009>

- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review*, 20(2), 111-131. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9057-0>
- Tomporowski, P. D., & Ganio, M. S. (2006). Short-term effects of aerobic exercise on executive processing, memory, and emotional reactivity. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 4(1), 57-72. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2006.9671784>
- Tomporowski, P. D., C., Lambourne, K., Gregoski, M., & Tkacz, J. (2008). Task Switching in Overweight Children: Effects of Acute Exercise and Age. *Journal of sport & exercise psychology*, 30, 497-511. <https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.497>
- Tomporowski, P. D., Mccullick, B., Pendleton, D., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Tomporowski, P. D., & Pesce, C. (2019). Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. *Psychological bulletin*, 145(9), 929-951. <https://doi.org/10.1037/bul0000200>
- Tuckman, B. W., & Hinkle, J. S. (1986). An experimental study of the physical and psychological effects of aerobic exercise on schoolchildren. *Health Psychology*, 5(3), 197-207. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.5.3.197>
- Vallerand, R. L., & Hess, U. (2000). *Méthodes de recherche en psychologie*. Gaëtan Morin.
- van der Niet, A. G., 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 Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32(5), 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.12.007>
- Ventura Miller, H., Barnes, J. C., & Beaver, K. (2011). Self-control and Health Outcomes in a Nationally Representative Sample. *American journal of health behavior*, 35(1), 15-27. <https://doi.org/10.5993/AJHB.35.1.2>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes* (M. Cole, V. Jolm-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>

- Voss, M. W., Vivar, C., Kramer, A. F., & van Praag, H. (2013). Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. *Trends in cognitive sciences*, 17(10), 525-544. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.001>
- Votruba-Drzal, E., Coley, R., Koury, A. J., & Miller, P. (2013). Center-Based Child Care and Cognitive Skills Development: Importance of Timing and Household Resources. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 821-838. <https://doi.org/10.1037/a0032951>
- 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, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2163-5>
- Wechsler D. (2016). *WISC-V, Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants – 5^e édition. Manuel d'interprétation*, Paris, Pearson-France ECPA.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7(2), 131-149. <https://doi.org/10.1080/87565649109540483>
- Willoughby, M. T., & Blair, C. B. (2016). Measuring executive function in early childhood: A case for formative measurement. *Psychological assessment*, 28(3), 319-330. <https://doi.org/10.1037/pas0000152>
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Krueger, K., Fromme, A., Korsukewitz, C., Floel, A., & Knecht, S. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87(4), 597-609. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2006.11.003>
- Xu, Y., Zhang, W., Zhang, K., Feng, M., Duan, T., Chen, Y., Wei, X., Luo, Y., & Ni, G. (2022). Basketball training frequency is associated with executive functions in boys aged 6 to 8 years. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 917385. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.917385>
- Xu, Y., Zhang, W., Zhang, H., Wang, L., Luo, Y., & Ni, G. (2022). Association between tennis training experience and executive function in children aged 8–12. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.924809>
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. Dans U. Goswami (Éd.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development*. (pp. 445-469). Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470996652.ch20>

Appendice A

Certification éthique

Cet essai doctoral a fait l'objet d'une certification éthique. Le numéro du certificat est *2023-1280*.

Appendice B

Infographie recrutement enseignant

Projet de recherche

Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cognitif-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants.

Participant.es recherché.es:

- 4 enseignant.es en quatrième année du primaire de la CSSLSJ.



Votre implication comprend:

Décembre 2022:

- Acheminer des informations concernant le projet aux parents.

Février 2023:

Réserver trois journées de classe:

- Tous les élèves de votre classe expérimenteront individuellement et à tour de rôle le jeu Cogni-Actif (à l'extérieur de la classe)
- Des tests cognitifs seront effectués avant et après la séance de jeu (durée totale par élève = 45 minutes)

****Chaque élève sera accompagné d'un membre de l'équipe de recherche****

Mars 2023:

Réserver une période:

- Séance de jeu Cognitif-Actif en classe
- Questionnaire sur l'expérience utilisateur (enseignant et élèves)



OBJECTIF :

- 1) Évaluer les effets aigus du programme Cogni-Actif sur les fonctions exécutives. Plus précisément, comparer l'effet combiné de l'activité physique et de l'engagement cognitif à une intervention contrôlée (vidéo standardisée) sur l'attention, l'inhibition et la flexibilité cognitive.
- 2) Évaluer l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif en vue d'une optimisation itérative.



Programme en bref:

- Une séance de 15 min combinant l'activité physique et l'engagement cognitif;
- Jeu sérieux d'apprentissage physiquement actif portant sur les mathématiques et le français;
- Codéveloppé avec une équipe d'enseignant(e)s et des conseillers(ères) pédagogiques du Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean;
- Facile à intégrer en classe "Formule clé en main".

POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE PROJET DE RECHERCHE:

Audrey Fortin, candidate au doctorat en psychologie
audrey.fortin4@uqac.ca - 418-770-4851
ou

Émilie Perreault, candidate au doctorat en neuropsychologie
emilie.perreault1@uqac.ca - 438-725-9433

Coordonnatrice: Mme. Laurie Simard, candidate au doctorat en Biologie
Direction: Mme. Julie Bouchard, Ph. D.

UQAC

Centre intersectoriel en santé durable (CISD)
Université du Québec à Chicoutimi

Approuvé le [le CER-UQAC ajoutera la date d'approbation] par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence: [Numéro du projet].

Appendice C

Formulaire d'information et de consentement des enseignants

**FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT CONCERNANT LA PARTICIPATION DES ENSEIGNANT.ES
DU CENTRE DE SERVICES SCOLAIRE DU LAC-SAINT-JEAN**

Ce formulaire d'information et de consentement a été approuvé le 28 novembre 2022 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence : 2023-1248

1 TITRE DU PROJET

Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants.

2 RESPONSABLE(S) DU PROJET DE RECHERCHE

Chercheure principale :

→ Julie Bouchard, Ph. D., professeure-chercheuse (UQAC)

Responsables :

- Émilie Perreault, candidate au doctorat en psychologie - profil neuropsychologie clinique (D.Ps.) -UQAC
- Audrey Fortin, candidate au doctorat en psychologie - profil psychologie clinique (D.Ps.) -UQAC
- Laurie Simard M. Sc., candidate au doctorat en biologie (PhD) -UQAC

Cochercheur.es :

- Tommy Chevette Ph.D., professeur-chercheur (UQAC)
- Martin Lavallière Ph.D., professeur-chercheur (UQAC)
- Yannick Francillette Ph.D., professeur adjoint (UQAC)

3 FINANCEMENT

Ce projet de recherche est financé par Mitacs et par le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH) du Canada.

4 PRÉAMBULE

Nous sollicitons votre participation, à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

5 NATURE, OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

5.1 Description du projet de recherche et objectifs spécifiques

L'étude vise premièrement à évaluer les effets directs du jeu sérieux du programme Cogni-Actif sur les fonctions exécutives. Plus précisément, on souhaite évaluer l'effet direct d'une séance combinant l'activité physique et l'engagement cognitif sur l'attention, l'inhibition et la flexibilité cognitive, en la comparant à une intervention contrôlée (vidéo standardisée). Selon les hypothèses de recherche, l'ensemble

des enfants ayant expérimenté le jeu sérieux devraient voir une amélioration instantanée de leurs fonctions exécutives après l'intervention combinée. De plus, cette amélioration devrait être plus marquée chez les enfants présentant des symptômes de TDA/H. Il est important de noter que les améliorations directes des fonctions exécutives peuvent être de courte durée. Au total, 4 classes de 4^e année du primaire du Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean participeront à l'étude. De ce nombre, la moitié expérimenteront le jeu sérieux. La sélection sera faite de manière randomisée (tirage au sort). Les élèves qui ont accepté de participer à l'étude et dont les parents/tuteurs y ont consenti seront évalués afin de valider l'efficacité de la méthode pédagogique.

L'étude vise également à mesurer la qualité de l'expérience utilisateur du jeu Cogni-Actif en vue d'une optimisation itérative basée sur l'évaluation de l'attractivité globale du jeu, de la qualité pragmatique (utilisabilité et contenu) et de la qualité hédonique (émotions-plaisir de jouer).

5.2 Déroulement

Pour débiter, vous aurez à acheminer toute l'information concernant l'étude aux parents/tuteurs de vos élèves par courriel (lettre explicative de l'étude et formulaire d'information et de consentement).

Par la suite, vous aurez à planifier une journée de classe où tous, vous et vos élèves devrez, vous déplacer à l'Université du Québec à Chicoutimi, afin de participer à l'étude. Un local sera réservé sur le campus afin de vous permettre de continuer votre enseignement en avant-midi. Durant ce temps, tous vos élèves devront sortir de la classe à tour de rôle afin de participer à l'étude. Plus précisément, les élèves sélectionnés lors du tirage au sort participeront à l'évaluation initiale de l'étude (batterie de tests d'une durée d'environ 15 minutes= pré-test), à une séance de 15 minutes du jeu sérieux du programme Cogni-Actif et à l'évaluation finale de l'étude (batterie de tests d'une durée de 15 minutes= post-test). Les élèves n'ayant pas été sélectionnés participeront aux mêmes évaluations (pré-test et post-test) et à une intervention contrôlée (vidéo standardisée). Toutefois, les élèves n'ayant pas expérimenté le jeu sérieux seront invitées à le faire suite à l'étude (mars 2023). En après-midi, il n'y aura pas de collectes de données et vos élèves pourront participer à des activités sportives organisées par le centre sportif de l'Université.

NB. Tous les frais de déplacement seront assumés par le Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean.

La semaine suivante, vos élèves et vous ferez l'essai du jeu sérieux (programme Cogni-Actif) en classe. Pendant ce test, un membre du personnel de recherche réaccueillera de l'information sur l'essai (ex. : le taux de participation des élèves, les commentaires et les réactions des élèves et de l'enseignant). Après ce test utilisateur, vous serez invités à répondre individuellement à un questionnaire d'environ 15 minutes permettant d'évaluer la qualité de l'expérience, puis à participer à une entrevue de groupe de 15-20 minutes avec vos élèves. Cette entrevue permettra de recueillir des informations liées à l'accessibilité (ex. : clarté des instructions, niveau de difficulté, etc.), à l'attractivité du jeu (ex. : éléments appréciés, graphisme, etc.) et aux pistes d'optimisation du jeu (ex. : éléments à améliorer) pour rendre le jeu plus agréable et/ou plus facile à mettre en œuvre en classe. Toute la période d'essai du jeu, incluant la complétion du questionnaire et le focus group seront enregistrés (vidéo) afin de faciliter la transcription des verbatims. Les élèves ne souhaitant pas être filmés auront l'occasion d'être hors caméra. De plus, les commentaires recueillis par les élèves qui n'ont pas consenti à l'étude (identifiés par le code X de l'élève dans le verbatim) seront ignorés lors du traitement du verbatim. Les enregistrements vidéos seront détruits après la transcription des verbatims. Pour cette activité d'expérimentation, un membre de l'équipe de recherche sera présent dans votre classe pendant une période.

6 AVANTAGES, RISQUES ET/OU INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Outre le temps consacré à votre participation et celle de vos élèves à ce projet de recherche, nous ne prévoyons pas d'inconvénients directs ou indirects. Il se peut que vous retiriez un bénéfice professionnel de votre participation à ce projet de recherche, mais on ne peut vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche. En ce sens, votre participation contribuera à une possible intégration d'une nouvelle pratique éducative prometteuse, permettant un environnement de classe stimulante et bénéfique pour l'apprentissage.

Enfin, soyez assuré(e) que des mesures sanitaires seront mises en place tout au long du projet de recherche afin d'assurer la sécurité de tous les participant.e.s. Les procédures établies respectent les règles émises par la Santé publique, le Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean et l'Université du Québec à Chicoutimi concernant le COVID-19.

7 CONFIDENTIALITÉ DES DONNÉES

7.1 Confidentialité

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels dans les limites prévues par la loi. Ainsi, votre nom, ou les informations de l'école ou de votre classe seront confidentiels et il sera impossible de vous identifier. Les responsables de ce projet ainsi que les autres membres du personnel de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements nécessaires concernant chaque élève, afin de répondre aux objectifs scientifiques de ce projet. Ces renseignements comprendront tous les résultats de tous les tests qui seront réalisés et seront conservés dans un classeur barré dans le bureau de la directrice de recherche. Afin de préserver votre identité et assurer la confidentialité de vos renseignements personnels, vous serez identifié par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par la directrice du projet en question. Prendre note que les vidéos ayant servi à la transcription des verbatims et à la complétion du journal de recherche seront détruits après la transcription et la complétion du journal).

La plus grande confidentialité est nécessaire en raison des démarches de protection de la propriété intellectuelle en cours. Pour cette raison, le participant s'engage à conserver confidentiel le processus d'évaluation des performances humaines ainsi que le matériel utilisé. Le participant s'engage donc à ne divulguer aucune information concernant l'expérience.

7.2 Diffusion

Les données de recherche pourront être publiées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais **il ne sera pas possible de vous identifier**.

7.3 Conservation

Les données obtenues dans ce projet de recherche ayant un lien avec le développement moteur et psychomoteur seront, avec votre accord seulement, déposées de façon permanente et complètement anonyme dans une base de données permanente. Cette base de données se nomme Base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans (CER: 2022-444). L'équipe de recherche contribue activement à cette base de données qui vise la progression des connaissances concernant le développement global des enfants par l'utilisation secondaire des données de recherche.

L'ensemble du dossier de recherche comprenant les renseignements identificatoires et les données recueillies seront conservés à l'UQAC dans le bureau du responsable du projet puis détruits 7 ans selon des méthodes sécuritaires et adaptées au format des outils utilisés. Puisque la Base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans a un objectif de pérennisation des données, celles-ci seront préservées indéfiniment.

8 PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser de participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raison, en informant l'équipe de recherche. Si vous vous retirez du projet, l'information et le matériel déjà recueillis dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservés, analysés ou utilisés pour assurer l'intégrité du projet.

9 INDEMNITÉ COMPENSATOIRE

Il n'y a aucune compensation financière pour votre participation à ce projet de recherche. Néanmoins, votre temps d'implication dans ce projet sera toujours réalisé sur vos heures de travail, donc rémunéré par le Centre de services scolaire et les frais de déplacement seront aussi assumés par le Centre de services scolaire.

10 ENGAGEMENT DU CHERCHEUR RESPONSABLE ET PERSONNES-RESSOURCES

Le chercheur responsable de ce projet de recherche s'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement. De plus, si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez lié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec aux responsables du projet de recherche aux coordonnées suivantes :

Audrey Fortin: audrey.fortin4@uqac.ca - 418-770-4851

Émilie Perreault: emilie.perreault1@uqac.ca - 438-725-9433

Laurie Simard : laurie.simard@uqac.ca – 418-719-2829

ou

avec la direction de recherche : **Julie Bouchard**: Julie1_Bouchard@uqac.ca

Pour toute question d'ordre éthique concernant votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche aux coordonnées suivantes : 418 545-5011 poste 4704 (ligne sans frais : 1-800-463-9880 poste 4704) ou cer@uqac.ca

11 CONSENTEMENT DU PARTICIPANT

Dans le cadre du projet intitulé; " Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants", j'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement et je comprends suffisamment bien le projet pour que le consentement soit éclairé. Je suis satisfait.e des réponses à mes questions et du temps que j'aie eu pour prendre une décision. Le consentement à participer à ce projet de recherche est lié aux conditions énoncées dans le présent document. **Je comprends que je suis libre d'accepter et libre de me retirer de la recherche en tout temps, sans aucun préjudice ni justification de notre part. De plus, je comprends que le consentement est donné par le fait de compléter les informations demandées dans cette section du formulaire.**

1. **Nom, prénom*** : _____
2. **Je certifie** que l'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement et que l'on a répondu aux questions qu'il avait. *
☐ Oui
☐ Non
3. **J'accepte de participer au projet de recherche***
☐ Oui
☐ Non
4. **Je consens** à ce que les données recueillies soient transférées dans la base de données permanente de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans. Je comprends que lors du transfert, toutes les informations identificatoires seront détruites et qu'il ne sera plus possible d'identifier ni de retracer les élèves de ma classe. *
☐ Oui
☐ Non

* réponse obligatoire

Appendice D

Courriel de sollicitation des parents/tuteurs

Bonjour chers parents/tuteurs,

À l'hiver 2023, la classe de votre enfant participera à une étude portant sur le programme COGNi-ACTif. Ce programme est codéveloppé dans le cadre d'une recherche-action, impliquant une équipe d'enseignants.es du Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean et de chercheurs.es de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Le programme COGNi-ACTif est un jeu sérieux qui a pour but de favoriser le plaisir, l'apprentissage et l'engagement de chaque élève. Pour en connaître davantage sur le programme COGNi-ACTif, nous vous invitons à visionner [cette entrevue](#).

Par la présente, nous sollicitons votre participation et celle de votre enfant à cette étape du projet de recherche, qui vise à mesurer l'effet direct d'une séance de 15 minutes du jeu sérieux du programme Cogni-Actif sur les fonctions exécutives (attention, inhibition, impulsivité, flexibilité mentale) des jeunes et dans un second temps, à évaluer la qualité de l'expérience utilisateur du jeu sérieux.

Pour en connaître davantage sur le projet de recherche, votre implication et celle de votre enfant, nous vous invitons à lire attentivement ce [formulaire d'information et de consentement](#) (10-15 minutes). La lecture de ce formulaire est importante pour que vous puissiez consentir ou refuser d'y participer de façon éclairée.

Si vous avez des questions, n'hésitez pas à nous joindre par courriel, il nous fera plaisir de discuter avec vous.

Sincères salutations,

Audrey Fortin et Émilie Perreault

Candidates au doctorat en psychologie

Audrey.fortin4@uqac.ca et emilie.perreault1@uqac.ca

Laurie Simard

Candidate au doctorat en biologie

Laurie_simard@uqac.ca

Julie Bouchard

Professeure-chercheure en neuropsychologie

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

Appendice E

Formulaire d'informations et de consentement des parents/tuteurs

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT CONCERNANT LA PARTICIPATION DES PARENTS/TUTEURS.

Ce formulaire d'information et de consentement a été approuvé le XX par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence : 2023-1248

1 TITRE DU PROJET

Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants.

2 RESPONSABLE(S) DU PROJET DE RECHERCHE

Chercheuse principale :

→ Julie Bouchard, Ph. D., professeure-chercheuse (UQAC)

Responsables :

- Émilie Perreault, candidate au doctorat en psychologie - profil neuropsychologie clinique (D.Ps.) -UQAC
- Audrey Fortin, candidate au doctorat en psychologie - profil psychologie clinique (D.Ps.) -UQAC
- Laurie Simard M. Sc., candidate au doctorat en biologie (Ph.D.c) -UQAC

Cochercheur.es :

- Tommy Chevette Ph.D., professeur-chercheur (UQAC)
- Martin Lavallière Ph.D., professeur-chercheur (UQAC)
- Yannick Francillette Ph.D., professeur adjoint (UQAC)

3 FINANCEMENT

Ce projet de recherche est financé par Mitacs et par le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH) du Canada.

4 PRÉAMBULE

Nous sollicitons votre participation et celle de votre enfant, à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair. Après avoir pris connaissance du présent formulaire, vous devez compléter la section 11 (consentement du participant) et cliquer sur l'option envoyer. Le formulaire complété sera automatiquement acheminé aux responsables du projet de recherche via courriel.

5 NATURE, OBJECTIFS ET DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

5.1 Description du projet de recherche et objectifs spécifiques

L'étude vise premièrement à évaluer les effets directs du jeu sérieux (programme Cogni-Actif) sur les fonctions exécutives. Plus précisément, on souhaite évaluer l'effet direct d'une séance combinant l'activité physique et l'engagement cognitif sur l'attention, l'inhibition

et la flexibilité cognitive, en la comparant à une intervention contrôlée (vidéo standardisée). Selon les hypothèses de recherche, l'ensemble des enfants ayant expérimenté le jeu sérieux devraient voir des améliorations directes de leurs fonctions exécutives après l'intervention combinée. De plus, ces améliorations devraient être plus marquées chez les enfants présentant des symptômes de TDA/H. Il est important de noter que les améliorations directes des fonctions exécutives peuvent être de courte durée.

L'étude vise également à mesurer la qualité de l'expérience utilisateur (ex.: la jouabilité, l'appréciation globale des élèves, le plaisir, etc.) du jeu Cogni-Actif afin de prévoir les améliorations à apporter dans la prochaine phase de développement du jeu.

5.2 Déroulement

Ce projet de recherche se déroulera dans 4 classes du Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean de 4^e année du primaire. Votre enfant fait partie de l'une de ces classes de 4^e année qui a été sélectionnée pour participer à l'étude. Deux classes seulement expérimenteront le jeu sérieux et la sélection sera faite de manière randomisée (tirage au sort). Si vous consentez, la participation de votre enfant se fera en deux temps.

La première activité d'expérimentation sera de 50 minutes et se déroulera à l'Université du Québec à Chicoutimi. La classe entière de votre enfant se déplacera à l'UQAC afin de faciliter la participation à l'étude. Si votre enfant fait partie d'une des classes qui expérimente le jeu sérieux (selon le tirage au sort qui aura été fait), il participera individuellement à l'évaluation initiale de l'étude (voir liste de tests neurocognitifs), à une séance de 15 minutes du jeu sérieux du programme Cogni-Actif et à l'évaluation finale de l'étude (voir liste de tests neurocognitifs). Si votre enfant fait partie d'une des classes qui n'expérimente pas le jeu sérieux, il participera aux mêmes évaluations (initiale et finale) et à une intervention contrôlée (écoute passive d'une vidéo standardisée d'une durée d'environ 15 minutes, n'impliquant pas d'engagement cognitif ou d'effort physique). Les enfants qui refusent de participer et ceux dont les parents n'ont pas consenti poursuivront leurs activités normalement avec leur enseignant.e dans une salle de classe réservée à cet effet à l'UQAC. Il n'y a pas d'impacts négatifs associés au refus de participer. En après-midi, il n'y aura pas de collectes de données et tous les élèves pourront participer à des activités sportives qui seront animées au centre sportif de l'UQAC.

Liste des quatre tests neurocognitifs (évaluation initiale et finale):

- 1.D-KEFS Color-Word Interference Test (CWIT) qui permet d'évaluer l'inhibition verbale et la flexibilité cognitive. (environ 5 minutes)
- 2.D-2 test qui permet d'évaluer l'attention et la concentration (environ 5 minutes).
- 3.Trail making test permet de mesurer l'attention visuelle et la flexibilité cognitive (environ 5 minutes).
4. Séquence de chiffres (sous-test du WISC-IV) qui permet d'évaluer la mémoire de travail (environ 5 minutes).

La deuxième activité d'expérimentation est d'une durée d'environ 1 heure visant la validation de l'efficacité de la méthode pédagogique. Tous les élèves de la classe de votre enfant feront l'essai du jeu sérieux (programme Cogni-Actif) en classe. Pendant ce test, un membre du personnel de recherche réaccueillera de l'information sur l'essai (ex.: le taux de participation des élèves, les commentaires et les réactions des élèves et de l'enseignant pendant). Après ce test utilisateur, tous les élèves répondront individuellement à un questionnaire (Attrak-Diff) d'environ 15 minutes permettant d'évaluer la qualité de l'expérience, mais seules les réponses des élèves pour qui le consentement (des parents et de l'enfant) est obtenu seront colligées. Un code de couleur sera utilisé sur les copies du questionnaire pour différencier les questionnaires des participant.e.s versus des non participant.s. Après la passation du questionnaire, une entrevue de groupe avec les élèves et l'enseignant d'une durée de 15-20 minutes permettra de recueillir des informations liées à l'accessibilité (ex.: clarté des instructions, niveau de difficulté, etc.), à l'attractivité du jeu (ex.: éléments appréciés, graphisme, etc.) et aux pistes d'optimisation du jeu (ex.: éléments à améliorer) pour rendre le jeu plus agréable et/ou plus facile à mettre en œuvre en classe. Toute la période d'essai du jeu, incluant la complétion du questionnaire et le focus group seront enregistrés (vidéo) afin de faciliter la transcription des verbatims. Les élèves ne souhaitant pas être filmés auront l'occasion d'être hors caméra. De plus, les commentaires recueillis par les élèves qui n'ont pas consenti à l'étude (identifiés par le code X de l'élève dans le verbatim) seront ignorés lors du traitement du verbatim. Les enregistrements vidéos seront détruits après la transcription des verbatims.

À titre de parent/tuteur, vous aurez à remplir un questionnaire de pré-participation en ligne d'environ 10 minutes. Par la suite, vous aurez un second questionnaire en ligne à compléter (Conner's 3- version courte) d'une durée approximative de 15 à 20 minutes. Ce dernier, porte sur différents types de comportements de votre enfant. Les deux questionnaires devront être complétés avant la première activité d'expérimentation. La date limite pour le compléter vous sera précisée dans un courriel.

6 AVANTAGES, RISQUES ET/OU INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Le projet de recherche n'entraîne pas de risque ou de désavantage prévisible pour les parents/tuteurs, hors d'avoir à consacrer le temps

nécessaire estimé à 30 minutes pour répondre aux questionnaires en ligne.

Il se peut que votre enfant retire un bénéfice personnel de sa participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Exemples: Diminution des symptômes (inattention et/ou hyperactivité/impulsivité; possibles impacts positifs sur les apprentissages en général; amélioration des fonctions exécutives à court terme).

Par ailleurs, nous souhaitons, avec votre accord, déposer les résultats obtenus dans cette recherche, qui sont liés au développement moteur et psychomoteur, dans une base de données permanente (base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans (CER: 2022-444)). Ces données contribueront à l'avancement des connaissances dans le domaine de la santé, en plus d'aider à mieux cerner les mécanismes associés au développement global de l'enfant. Puisque les données seront anonymisées avant leur dépôt, il n'y a pas de risques prévisibles associés à votre accord au partage de ces données dans cette base de données.

La batterie d'évaluation peut apporter de la frustration à l'enfant, lui faire prendre conscience de certaines difficultés et pourrait aussi l'amener vers une remise en question sur ses capacités. En aucun cas, l'accent n'est mis sur la performance aux tests. De plus, ces tests ne sont pas faits dans une optique de diagnostic et il est impossible pour l'équipe de recherche de tirer des conclusions à partir de ces données. Celles-ci sont utilisées uniquement à des fins d'analyses statistiques pour évaluer l'efficacité de la séance. Dans l'éventualité où votre enfant déclarerait au personnel de recherche des situations conflictuelles à risque de compromettre sa sécurité ou son développement, le personnel de recherche est dans l'obligation, selon la loi sur la protection de la jeunesse, de le déclarer.

Enfin, soyez assuré(e) que des mesures sanitaires seront mises en place tout au long du projet de recherche afin d'assurer la sécurité de votre enfant. Les procédures établies respectent les règles émises par la Santé publique, le Centre de services scolaire du Lac-Saint-Jean et l'Université du Québec à Chicoutimi concernant le COVID-19.

En cas de besoin, n'hésitez pas à consulter les ressources suivantes :

- **Tel-jeunes** : Par téléphone ou par texto au 1 (800) 263-2266 ou par clavardage au site internet suivant <https://teljeunes.com/experiencetj/comment-ca-marche>
- **LigneParents** : Par téléphone au 1 (800) 361-5085 ou par clavardage sur le site internet suivant <https://www.ligneparents.com/LigneParents>. De plus, vous pouvez poser vos questions sur la page suivante <https://www.ligneparents.com/LigneParents/Ecrivez-nous>
- **Première ressource (Aide aux parents/tuteurs)** : Par téléphone au 1 (866) 329-4223 ou par courriel à l'adresse suivante consultation@premiereresource.com

7 CONFIDENTIALITÉ DES DONNÉES

7.1 Confidentialité

Durant votre participation ainsi que celle de votre enfant à ce projet de recherche, les responsables de ce projet ainsi que les membres du personnel de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements vous (parents/tuteurs et enfant) concernant et nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet de recherche.

Ces renseignements comprendront:

- Tous les résultats de tous les tests et des questionnaires, les verbatims ainsi que les procédures qui seront réalisés (les vidéos ayant servi à la transcription des verbatims et à la complétion du journal de recherche seront détruits après la transcription et la complétion du journal)
- Le dossier de votre enfant inclura aussi: son nom, son sexe, sa date de naissance et le cas échéant, ses diagnostics et la médication.

Tous les renseignements recueillis demeureront confidentiels dans les limites prévues par la loi. Tous ses renseignements à l'exception de celles nominatives (le prénom et le nom de votre enfant ainsi que les vôtres) seront transférés dans une base de données. Afin de préserver son identité et la confidentialité de ces renseignements, votre enfant ne sera identifié que par un numéro de code dans cette base de données permanente de recherche. La clé du code reliant son nom à son dossier de recherche sera conservée par la directrice

de ce projet de recherche. Le questionnaire pré-participation est rempli par le parent/tuteur sur la plateforme Microsoft Form. Prendre note que l'outil de collecte permet à la fois de recueillir les réponses des questionnaires en plus d'assurer l'anonymisation des participants, il représente une méthode sécuritaire de traitement de données. Seuls les codes numériques seront visibles par les chercheurs. Les réponses aux questionnaires en ligne sont conservées en respectant la loi concernant « loi sur la protection des renseignements personnels et les documents électroniques (LPRPDE) révision 2016-09-09 ». La loi fédérale sur la protection des renseignements personnels régit les organismes du secteur privé et établit les règles de base concernant le traitement des renseignements personnels. Les données de recherche pourront être publiées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible d'identifier votre enfant. Ces données de recherche seront conservées dans une base de données permanente. Toutes les informations identificatoires seront alors détruites selon les règles en vigueur et il ne sera plus possible d'identifier ni de retracer les participants. Ces données anonymisées pourront être utilisées dans des projets de recherche secondaires.

La plus grande confidentialité est nécessaire en raison des démarches de protection de la propriété intellectuelle en cours. Pour cette raison, le participant s'engage à conserver confidentiel le processus d'évaluation des performances humaines ainsi que le matériel utilisé. Le participant s'engage donc à ne divulguer aucune information concernant l'expérience.

7.2 Diffusion

Les données de recherche pourront être publiées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible d'identifier votre enfant.

7.3 Conservation

Les données obtenues dans ce projet de recherche ayant un lien avec le développement moteur et psychomoteur seront, avec votre accord seulement, déposées de façon permanente et complètement anonyme dans une base de données permanente. Cette base de données se nomme Base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans (CER: 2022-444). L'équipe de recherche contribue activement à cette base de données qui vise la progression des connaissances concernant le développement global des enfants par l'utilisation secondaire des données de recherche.

L'ensemble du dossier de recherche comprenant les renseignements identificatoires et les données recueillies seront conservés à l'UQAC dans le bureau du responsable du projet puis détruits dans 7 ans selon des méthodes sécuritaires et adaptées au format des outils utilisés. Puisque la Base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans a un objectif de pérennisation des données, celles-ci seront préservées indéfiniment.

8 PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT

Votre participation, ainsi que celle de votre enfant à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser qu'il y participe. Vous pouvez également le retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en informant l'équipe de recherche. Les responsables de ce projet de recherche peuvent mettre fin à sa participation, sans votre consentement. Cela peut se produire si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que sa participation au projet n'est plus dans son intérêt, s'il ne respecte pas les consignes du projet de recherche ou encore s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet. Si vous le retirez du projet ou s'il est retiré du projet, l'information et le matériel déjà recueillis dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservés, analysés ou utilisés pour assurer l'intégrité du projet. Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet, qui pourrait avoir un impact sur votre décision de laisser votre enfant continuer à participer à ce projet, vous sera communiquée rapidement.

Votre participation à la base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans(BD-ODMP) est volontaire. Il est possible de retirer votre consentement à l'utilisation secondaire, simplement en cochant « je refuse l'utilisation secondaire des données » dans la section correspondante du formulaire de consentement. Le caractère anonyme des données de recherche, une fois intégrées à la BD-ODMP, implique qu'il sera impossible de retirer vos données une fois ajoutées à la BD-ODMP.

9 INDEMNITÉ COMPENSATOIRE

Votre enfant et vous **ne recevrez pas** de compensation financière pour sa participation à ce projet de recherche.

10 ENGAGEMENT DU CHERCHEUR RESPONSABLE ET PERSONNES RESSOURCES

Le chercheur responsable de ce projet de recherche s'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement. De plus, si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez

un problème que vous croyez lié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec aux responsables du projet de recherche aux coordonnées suivantes :

Audrey Fortin: audrey.fortin4@uqac.ca - 418-770-4851

Émilie Perreault: emilie.perreault1@uqac.ca - 438-725-9433

Laurie Simard : laurie.simard@uqac.ca – 418-719-2829

ou

avec la direction de recherche : **Julie Bouchard:** Julie1_Bouchard@uqac.ca

Pour toute question d'ordre éthique concernant votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche aux coordonnées suivantes : 418 545-5011 poste 4704 (ligne sans frais : 1-800-463-9880 poste 4704) ou cer@uqac.ca

11 CONSENTEMENT DU PARTICIPANT

Dans le cadre du projet intitulé « Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants. », nous avons pris connaissance du formulaire d'information et de consentement et comprenons suffisamment bien le projet pour que le consentement soit éclairé. Nous sommes satisfaits des réponses à nos questions et du temps que nous avons eu pour prendre une décision. Le consentement à participer à ce projet de recherche est lié aux conditions énoncées dans le présent document. **Nous comprenons que nous sommes libres d'accepter et que mon enfant est libre de se retirer de la recherche par lui-même ou à notre demande en tout temps, sans aucun préjudice ni justification de notre part. De plus, nous comprenons que le consentement est donné par le fait de compléter les informations suivantes de ce formulaire.**

1. **Nom, prénom (Parent/tuteur) *** : _____
2. **Adresse courriel *** (elle ne sera utilisée que pour vous transmettre les formulaires à remplir dans le cadre de l'étude) : _____
3. **Nom, prénom de mon enfant *** : _____
4. **Date de naissance de mon enfant *** : _____
5. **Enseignant.e de mon enfant *** : _____
6. **Je certifie** que l'on a expliqué au représentant du participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement et que l'on a répondu aux questions qu'il avait. *
- ☐ Oui
- ☐ Non
7. **Je certifie** que l'on a expliqué à l'enfant dans un langage adapté à son discernement le projet de recherche, qu'il a compris et qu'il ne s'est pas opposé. Je m'engage à respecter tout refus. *
- ☐ Oui
- ☐ Non

Je consens également à ce que mes réponses, résultats de test soient déposés dans la base de données permanente de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans et je comprends que celles-ci pourront être utilisées secondairement à des fins de recherches touchant au développement de l'enfant. Je comprends aussi qu'il m'est impossible de retirer mes données de la base de données permanente, car cette dernière est anonyme.

8. **J'accepte** que le chercheur principal dépose mes données dans la base de données de l'Observatoire du développement moteur et psychomoteur des 0-18 ans * :
- ☐ Oui
- ☐ Non

* réponse obligatoire

Appendice F

Questionnaire de pré-participation

QUESTIONNAIRE DE PRÉ-PARTICIPATION

PROJET : Évaluation de l'expérience utilisateur du programme Cogni-Actif et mesure des effets aigus du programme sur les fonctions exécutives des enfants.

- Nous allons vous poser quelques questions sur votre enfant. Tous les renseignements fournis sont confidentiels et ne seront utilisés que pour des fins de recherche sous forme anonyme.

1. Code alphanumérique de votre enfant participant à l'étude (Qui vous a été fourni par courriel XXX-CA-XX) *

Entrez votre réponse

2. Âge de l'enfant: *

Entrez votre réponse

3. Sexe de l'enfant: *

☐ Fille

☐ Garçon

☐ Autre

4. Veuillez sélectionner le ou les diagnostic.s de votre enfant. *

- ☐ Aucun diagnostic
- ☐ Trouble déficitaire de l'attention (TDA)
- ☐ Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH)
- ☐ Dyslexie
- ☐ Dyscalculie
- ☐ Syndrome Gilles la Tourette
- ☐ Dysorthographe
- ☐ Trouble du langage
- ☐ Trouble de l'opposition
- ☐ Syndrome de dysfonctions non-verbales (SDNV)
- ☐ Trouble développemental de la coordination (TDC)
- ☐ Trouble anxieux
- ☐ Autre

5. Est-ce que votre enfant prend de la médication ? *

- ☐ Oui
- ☐ Non

6. Si votre enfant prend de la médication. Veuillez inscrire la liste des médicaments de votre enfant.

Entrez votre réponse