

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE NEUROFEEDBACK COMME INTERVENTION AUPRÈS DE CÉGÉPIENNES ET
DE CÉGÉPIENS AYANT UN TDAH

THÈSE DE SPÉCIALISATION
PRÉSENTÉE COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU BACCALAURÉAT EN PSYCHOLOGIE

PAR

VINCENT MONTPETIT

SOUS LA SUPERVISION DE
DAVE SAINT-AMOUR ET HÉLÈNE BRISEBOIS

12 MAI 2025

Résumé

Le TDAH est un trouble neurodéveloppemental qui présente certains défis dans le quotidien. Plusieurs traitements existent pour diminuer les symptômes du TDAH, notamment la médication. Plus récemment, le neurofeedback a été proposé comme une intervention alternative. Le neurofeedback consiste à accompagner une personne à contrôler son activité cérébrale afin d'atteindre un état mental désiré grâce à un feedback en temps réel de l'activité cérébrale, plus précisément les ondes thêta et alpha. Toutefois, l'efficacité du neurofeedback ne fait toujours pas consensus. La présente étude visait à évaluer l'efficacité d'entraînements en neurofeedback auprès d'étudiants au cégep ayant un TDAH. Pour y arriver, 63 étudiants du cégep Montmorency ont été exposés à 30 séances de neurofeedback sur une période de 15 semaines. Des analyses par modèle mixte ont été réalisées pour comparer le groupe expérimental à un groupe témoin (liste d'attente). Aucune différence statistiquement significative n'a été observée, nous emmenant à conclure que cette étude ne permet pas d'affirmer que le neurofeedback est efficace pour modifier l'activité cérébrale au repos chez de jeunes adultes avec TDAH.

Mots clés : TDAH, neurofeedback, EEG, activité cérébrale au repos

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mes deux codirecteurs, Dave Saint-Amour et Hélène Brisebois. Merci pour votre disponibilité, votre soutien, ainsi que votre générosité tout au long de cette année. Je vous suis grandement reconnaissant d'avoir accepté de me superviser dans cette belle expérience d'apprentissage. Votre accompagnement m'a permis de me développer au-delà de mes attentes.

Ensuite, merci à Pénélope et Caroline pour votre support. Vous êtes demeurez disponibles pour m'éclairer à chaque fois que j'en ressentais le besoin. Vous m'avez été d'une grande aide pour que je m'approprie avec justesse mon projet.

J'aimerais également remercier mon collègue de thèse de spécialisation, Christian. Merci pour les séances de travail conjoint. Tu as su me motiver et me rassurer tout au long de ce processus d'apprentissage. J'ai eu beaucoup de plaisir à évoluer à tes côtés.

Enfin, un merci particulier à mon meilleur ami, Olivier. Tu as pris le temps de répondre à l'ensemble de mes questions et tu as su m'aiguiller dans certaines étapes d'importance dans mon projet. Je te suis également reconnaissant pour ton accompagnement dans mon utilisation du logiciel R.

Table des matières

Résumé	ii
Remerciements	iii
Introduction	1
Problématique.....	1
Cadre théorique	2
Le TDAH chez les adultes émergents	2
La cognition chez les TDAH.....	3
Manifestations neurophysiologiques du TDAH.....	3
Le neurofeedback	4
Objectifs et hypothèses.....	5
Méthodologie.....	5
Participants	5
Procédures	6
Mesures.....	7
Électroencéphalogramme (EEG).....	7
Méthode d'analyse.....	8
Résultats	8
Discussion.....	15
Forces et limites.....	17
Conclusion.....	18
Bibliographie	19
Annexe 1	22

Introduction

Problématique

Le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5) définit le trouble du déficit de l'attention (TDAH) comme un trouble neurodéveloppemental caractérisé par des symptômes d'inattention avec ou sans hyperactivité (American Psychiatric Association, 2013). Ces symptômes doivent entraîner chez la personne un impact significatif sur son fonctionnement qui ne correspond pas à son niveau de développement attendu. Au Canada, 3% des adultes présenteraient un TDAH (Fayyad *et al.*, 2017).

Les étudiants au cégep font partie des adultes émergents et doivent relever plusieurs défis. Ils doivent notamment composer avec davantage de responsabilités, prendre leurs propres décisions et devenir financièrement indépendants comparés aux plus jeunes adolescents (Arnett, 2007). Cette nouvelle réalité requiert ainsi davantage d'autorégulation, d'organisation et une meilleure gestion du temps (Abecassis *et al.*, 2017). Ces capacités peuvent être particulièrement difficiles à acquérir chez les jeunes adultes ayant un TDAH, ceux-ci ayant une fragilité au niveau des fonctions exécutives, notamment pour ce qui est du contrôle inhibitoire et de la résistance à une récompense immédiate (Fleming et McMahon, 2012).

Il est difficile de connaître la proportion de jeunes adultes aux prises avec un TDAH qui utilisent une médication spécifique au TDAH. Toutefois, selon Turgeon et ses collègues (2017), au Québec en 2014-2015, la prévalence de l'usage d'une médication spécifique chez les personnes âgées entre 18 et 25 ans et ayant un TDAH était de 3,2%. Cette statistique pourrait être sous-évaluée puisque la population étudiée ne comprenait que les personnes couvertes par le Régime public d'assurance médicaments (RPAM). En effet, pour la même période, la prévalence de l'usage d'une médication spécifique au TDAH pour l'ensemble des 18-25 ans au Québec montait à 5,4% (Tremblay et Daigle, 2017). Il est donc raisonnable de penser qu'une grande proportion des jeunes adultes ayant un TDAH prennent une médication spécifique pour traiter les symptômes.

Considérant l'utilisation significative de la médication pour le TDAH chez les étudiants au cégep, il importe d'explorer d'autres avenues d'intervention. Le développement des technologies dans les dernières décennies permet d'étoffer l'offre de traitements pour le TDAH,

incluant le neurofeedback (Parent *et al.*, 2022). Ces interventions peuvent ainsi être offertes en complémentarité ou même en remplacement d'une médication.

Cadre théorique

Le TDAH chez les adultes émergents

Le diagnostic de TDAH propose une liste de 18 symptômes divisés en deux catégories, soit les symptômes concernant, d'une part, l'inattention et, d'autre part, l'hyperactivité/impulsivité (American Psychiatric Association, 2013). Sur la base de cette catégorisation, trois sous-diagnostic sont possibles : une prédominance de l'inattention, une prédominance de l'hyperactivité/impulsivité et une combinaison des deux. L'inattention réfère à une difficulté à porter attention aux détails, à rester concentré sur une tâche d'une manière soutenue et à s'organiser, de même qu'une tendance à perdre ses objets, à être facilement distrait et à éviter les tâches qui requièrent un effort mental soutenu. En ce qui concerne l'hyperactivité/impulsivité, elle désigne une agitation motrice excessive, une difficulté à rester assis, voire à demeurer tranquille, une tendance à trop parler et à être impatient, par exemple en interrompant autrui. Chez l'adulte, le sous-diagnostic majoritaire est le profil inattentif (Matte *et al.*, 2015 ; Primich et Iennaco, 2012). Cette dominance des symptômes d'inattention n'empêche pas que pendant la période de l'enfance il soit possible qu'un jeune ait une prédominance de l'hyperactivité/impulsivité. En revanche, l'évolution des symptômes tendrait vers une diminution de l'apport des symptômes d'hyperactivité/impulsivité une fois rendu à l'âge adulte. Dans tous les cas, au moins cinq des neuf symptômes de la prédominance en question doivent être apparus avant l'âge de 12 ans et avoir persisté depuis au moins 6 mois pour confirmer le diagnostic. De plus, les symptômes doivent se manifester dans plus d'une sphère de la vie, par exemple à la maison, avec les amis ou au travail, et surtout nuire au bon fonctionnement de la personne. Enfin, dans un souci de diagnostic différentiel, un autre diagnostic ne doit pas mieux expliquer les symptômes ressentis.

La cognition chez les TDAH

Les déficits cognitifs chez les personnes TDAH sont bien documentés. Elles ont généralement de moins bonnes capacités pour l'attention soutenue, la mémoire de travail, la capacité d'inhibition et la flexibilité mentale (Pievsky et McGrath, 2018). L'attention soutenue réfère à la capacité de maintenir son attention sur une période prolongée. La mémoire de travail désigne la capacité à maintenir et à traiter de l'information durant des tâches cognitives. L'inhibition concerne la capacité à se contrôler pour empêcher une réponse motrice ou cognitive. Finalement, la flexibilité mentale représente la capacité à ajuster un comportement de sorte à s'adapter à un changement. Ces constats de déficits cognitifs sont observables chez les populations jeune et adulte, mais semblent moins présents en ce qui concerne les adultes émergents (Pievsky et McGrath, 2018). Pour expliquer cette réalité, Pievsky et McGrath (2018) proposent que des changements neurocognitifs soient généralisés chez les adultes émergents, qu'ils aient ou non un TDAH, ce qui pourrait potentiellement masquer les déficits chez les personnes TDAH. Il n'en demeure pas moins qu'environ 60% des personnes qui ont reçu un diagnostic de TDAH dans l'enfance sont considérées en rémission partielle à l'âge adulte, c'est-à-dire qu'elles demeurent avec certains symptômes propres au TDAH, lesquels continuent d'altérer leur fonctionnement quotidien (Faraone *et al.*, 2006).

Manifestations neurophysiologiques du TDAH

Plusieurs études se sont intéressées aux manifestations neurophysiologiques du TDAH chez les enfants, identifiant une hausse des ondes thêta et une baisse des ondes bêta par rapport à des enfants neurotypiques (Snyder et Hall, 2006). Le ratio élevé de puissance des ondes thêta/bêta est ainsi présenté comme un indice fiable du TDAH chez les enfants. Ce patron neurophysiologique a longtemps été pensé comme la référence pour les personnes ayant un TDAH, sans considération de leur âge. On sait aujourd'hui que le ratio élevé thêta/bêta n'est pas nécessairement un indice du TDAH applicable à l'âge adulte. En fait, des études suggèrent que le ratio serait plutôt faible (Loo *et al.*, 2013), voire inexistant pour le TDAH chez les adultes (Kiiski *et al.*, 2020).

Très peu d'études se sont intéressées aux manifestations neurophysiologiques du TDAH dans une population d'adultes émergents. Woltering et ses collègues (2012) ont trouvé que

l'indice du ratio thêta/bêta était présent dans les régions frontales et latérales du cerveau. En revanche, pour une analyse de l'activité cérébrale globale du cerveau, le ratio des ondes thêta sur les ondes alpha était encore plus remarquable. Les individus TDAH présentaient une diminution de la puissance des ondes rapides, surtout pour les ondes alpha, mais une augmentation pour les ondes lentes thêta. Cela étant dit, il ne s'agit que d'une seule étude avec 18 participants. Bien que les patrons neurophysiologiques du TDAH chez les adultes émergents ne soient pas encore bien établis, il semble tout de même y avoir une déviation par rapport aux personnes neurotypiques. Considérant le manque de consensus sur le ratio qui correspondrait le mieux à l'activité cérébrale dans le TDAH, il est préférable d'analyser les bandes d'ondes séparément.

Le neurofeedback

Hammond (2011) explique que le neurofeedback consiste en une technique d'entraînement pour accompagner une personne à moduler volontairement son activité cérébrale. Une boucle de rétroaction en temps réel comprend un certain stimulus, par exemple audiovisuel, afin d'informer la personne si elle tend à avoir l'activité cérébrale demandée. La technique est non invasive puisqu'il s'agit de poser une ou plusieurs électrodes sur le cuir chevelu qui permettront de mesurer l'activité cérébrale avec une grande sensibilité temporelle.

Le neurofeedback se base sur les principes du conditionnement opérant. Le cerveau voulant être récompensé, il cherche à s'adapter en répondant à ce qui offre une gratification. Dans le cas qui nous concerne, le cerveau tentera de demeurer dans un état mental donné correspondant à l'activité cérébrale désirée. De cette manière, il recevra la récompense, soit la rétroaction audiovisuelle. Les bandes de fréquence ciblées sont déterminées au préalable en comparant l'activité cérébrale au repos de la personne avec une banque de données normatives. On peut ainsi quantifier la déviation de l'activité cérébrale par rapport à la norme, tout en ayant une idée de la localisation de ces déviations dans le cerveau (Thatcher *et al.*, 2003).

L'efficacité du neurofeedback ne fait pas consensus parmi les scientifiques. D'une part, une méta-analyse d'Arns et ses collègues (2009) rapporte de grandes tailles d'effet sur les symptômes d'inattention et d'impulsivité, et des tailles d'effet moyennes pour l'hyperactivité. D'autre part, selon une méta-analyse de Cortese et ses collègues (2016), le neurofeedback n'aurait aucun impact significatif sur le TDAH. Les auteurs soulignent toutefois que l'absence de

résultats statistiquement significatifs ne signifie pas l'absence d'effets du neurofeedback. Des failles méthodologiques importantes dans les études pourraient expliquer cette conclusion, dont l'absence de protocoles standardisés, le modèle d'activité neurophysiologique du TDAH à l'enfance qui est transposé à l'âge adulte et des échantillons de petite taille.

Objectifs et hypothèses

L'objectif principal de la présente thèse de spécialisation est d'examiner l'effet du neurofeedback sur la puissance absolue de bandes d'ondes d'intérêts (thêta, alpha et bêta) au repos chez des étudiants au cégep qui ont un TDAH. Nous croyons que la bande d'ondes ciblée (thêta et alpha) pour l'entraînement tendra davantage vers des valeurs normales lors de la mesure post-neurofeedback pour les étudiants qui auront été entraînés. Nous prévoyons également que les changements seront circonscrits au groupe expérimental neurofeedback. L'activité cérébrale au repos après les entraînements en neurofeedback sera donc différente par rapport au groupe témoin qui n'aura pas été exposé aux entraînements.

Méthodologie

Participants

Les données proviennent de l'étude *Entraînement neurofeedback des collégiens ayant un TDAH : évaluation des impacts en bioimagerie*. Le recrutement a été effectué par le biais du programme de soutien aux étudiants en situation de handicap du Collège Montmorency (SAA). Une période de recrutement était entamée au début de chaque session collégiale, de septembre 2015 à mai 2018. Tous les étudiants du Collège Montmorency recevaient un courriel les invitant à participer à l'étude s'ils avaient reçu un diagnostic de TDAH. Une présélection des participants à l'étude avait lieu en recueillant des données sociodémographiques. L'échantillon comprend 91 étudiants (49 femmes) ayant tous reçu un diagnostic de TDAH confirmé par un professionnel de la santé (médecin, psychiatre, psychologue ou neuropsychologue). Les étudiants sont âgés entre 18 et 29 ans au moment de leur participation à l'étude ($M = 19,6$ ans, $É-T = 2,3$ ans). Le consentement libre et éclairé des étudiants a été obtenu au début de leur participation à l'étude.

Procédures

Le protocole de l'étude initiale a été approuvé par le Comité d'Éthique à la Recherche du Collège Montmorency ainsi que le Comité d'Éthique de la Recherche en Éducation et Psychologie de l'Université de Montréal. Les participants ont été répartis aléatoirement selon deux conditions expérimentales : entraînement neurofeedback de 15 semaines ($n = 63$) ou groupe témoin ($n = 27$). Le groupe témoin consistait en une liste d'attente où les participants étaient invités à poursuivre leurs activités comme à l'habitude. Les participants faisant partie du groupe témoin avaient la possibilité de prendre part à un entraînement neurofeedback de 15 semaines à partir de la session collégiale suivante s'ils le désiraient.

Les données de l'étude ont été recueillies à deux moments : au début de la participation et à la fin de la session collégiale. Lors de ces deux moments d'évaluation qui duraient à chaque fois environ deux heures, les étudiants étaient invités à remplir un questionnaire standardisé sur les symptômes du TDAH, puis à passer une évaluation cognitive et un électroencéphalogramme (EEG) au repos.

Pour les étudiants faisant partie de la condition neurofeedback, un protocole d'entraînement personnalisé était établi en regard de l'EEG passé lors de l'évaluation initiale. L'entraînement personnalisé consistait à cibler la bande d'ondes principalement déficitaire, soit thêta ou alpha, qui était déterminée grâce à un EEG quantitatif (qEEG). Concrètement, le qEEG était calculé par le biais du logiciel NeuroGuide, puis comparé à la base de données normatives du logiciel (version 2.7.9, 2013), contenant les données EEG de 625 personnes en bonne santé (Thatcher *et al.*, 2003). Une neuropsychologue avec une expertise en qEEG inspectait chacun des qEEG anonymisés pour confirmer que le qEEG s'écartait de la norme. Elle établissait par la suite le protocole d'entraînement personnalisé. Ce protocole d'entraînement avait le potentiel d'être modifié après les 15 premières séances d'entraînement, sur la base d'un deuxième EEG. L'objectif derrière cette décision était de rendre les entraînements les plus adaptés possibles au profil de chaque individu.

Tous les entraînements en neurofeedback avaient lieu dans un local isolé dans les bureaux du SAA, et duraient un peu moins d'une heure à raison de deux fois par semaine pour un total de 30 séances. Un assistant clinique formé en neurofeedback était présent pour accompagner

l'étudiant pendant chaque séance. Les entraînements étaient constitués de dix séquences de 3 minutes au cours desquelles l'étudiant devait garder ses yeux ouverts. Une courte pause était possible entre chaque séquence selon les besoins de l'étudiant. Pendant la séance, des données EEG étaient recueillies à partir d'une électrode active placée sur le cuir chevelu à l'emplacement d'intérêt. Cet emplacement avait été déterminé par la neuropsychologue lors de la construction du protocole personnalisé en fonction des déviations sur le qEEG de l'évaluation initiale. La référence était liée à l'oreille droite ou l'oreille gauche si l'électrode active était placée au milieu du cuir chevelu. Toutes les impédances d'électrodes étaient maintenues en deçà de 5 k Ω et le taux d'échantillonnage était de 256 Hz. Les données EEG étaient filtrées (DC-120 Hz) et désartéfactées en ligne (critère d'amplitude crête à crête de 120 μ V). Le participant était assis face à un écran d'ordinateur et une rétroaction positive était fournie à la fois par l'animation d'une vidéo sur l'écran de l'ordinateur et par de la musique lorsque la production d'ondes cérébrales spécifiques était inférieure au seuil établi en fonction du protocole personnalisé de chaque participant. Au début de l'entraînement, les seuils de rétroaction étaient ajustés à l'écart-type inférieur ou supérieur de l'activité de base des ondes cérébrales ciblées. Tout au long de l'entraînement, les seuils de récompense étaient ajustés manuellement par l'assistant clinique en neurofeedback afin que le participant soit récompensé entre 60 et 80% du temps (c'est-à-dire qu'il reçoit un renforcement positif). Le niveau de récompense était donc à peu près stable d'une séance à l'autre pour tous les participants.

Mesures

Électroencéphalogramme (EEG)

L'EEG a été enregistré pour l'ensemble des participants à partir d'un casque à 19 électrodes (Electrocaps) placé selon le système international à 10–20 électrodes et référencé aux lobes de l'oreille. Pendant l'enregistrement de 5 minutes, il était demandé au participant de ne pas bouger tout en gardant ses yeux ouverts. Les données étaient recueillies en utilisant Mitsar System 201 et le logiciel WinEEG (Mitsar). Après l'enregistrement, un expert en EEG inspectait visuellement les données brutes anonymisées pour détecter les mouvements et artéfacts des yeux. L'équivalent d'une minute de données sans artéfact était sélectionné. Les mesures test-retest et de fiabilité *split-half* ont été maintenues supérieures à 0,90.

Méthode d'analyse

Des analyses par modèle mixte ont été réalisées avec le logiciel R Studio en comparant les étudiants entraînés en neurofeedback au groupe témoin. L'effet aléatoire dans les analyses désignait les participants. La puissance absolue de trois bandes d'ondes (thêta, alpha et bêta) a été analysée en tant que variable dépendante. Afin de diminuer le nombre de comparaisons qui ont été effectuées avec les analyses par modèle mixte, ainsi que pour simplifier l'interprétation des résultats, des regroupements d'électrodes ont été faits comme suit : région frontale (FP1-FP2-Fz-F3-F4-F7-F8), région centrale (Cz-C3-C4-T3-T4), région postérieure (Pz-P3-P4-T5-T6-O1-O2). Une analyse par modèle mixte concernait chacune des combinaisons région d'intérêt X bande d'ondes. Le seuil de significativité a été corrigé.

Résultats

Une attrition a été remarquée au sein des deux groupes. Le nombre d'étudiants participant aux 30 séances d'entraînement en neurofeedback est passé de 63 à 56 (89%) pour le temps de mesure post. Le nombre de participants du groupe témoin (liste d'attente) est passé de 27 à 16 (59%) au deuxième temps de mesure.

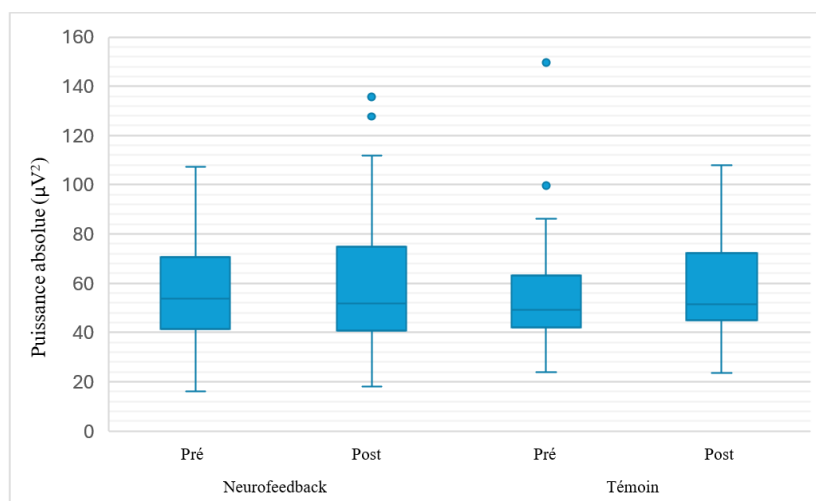
En prévision des analyses par modèle mixte, des tests T ont été réalisés entre les groupes neurofeedback et témoin. Cette étape permettait d'assurer que les deux groupes étaient équivalents au premier temps de mesure à propos de l'activité cérébrale au repos. Les résultats étaient tous non statistiquement significatifs, nous indiquant que les groupes étaient équivalents.

Les analyses par modèle mixte furent réalisées pour examiner les changements potentiels dans les variables dépendantes (puissance absolue des bandes d'ondes d'intérêts) qui pourraient être observés dans le groupe neurofeedback. Nous nous sommes assurés que les distributions respectaient les postulats de normalité et d'absence de données extrêmes après avoir appliqué une transformation logarithmique. Sur la base des neuf comparaisons (bandes d'ondes d'intérêts X régions d'intérêts) nous ne constatons aucune valeur F significative associée à l'effet d'interaction entre le groupe (neurofeedback-témoin) et le temps (pré-post). Plus en détail, il était

attendu pour les ondes thêta une diminution de la puissance absolue dans le groupe neurofeedback. Aucune différence significative n'a été observée entre le groupe neurofeedback et le groupe témoin (figures 1 à 3). Pour ce qui est des ondes alpha, il était attendu une augmentation de leur puissance absolue dans le groupe neurofeedback. L'absence de différence significative a aussi été observée (figures 4 à 6). Enfin, aucun changement n'était attendu pour les ondes bêta dans le groupe neurofeedback. C'est ce qui a été observé puisqu'aucune différence significative n'était présente entre les groupes neurofeedback et témoin (figures 7 à 9). En regardant l'eta-carré partiel (η^2 partiel), de petites tailles d'effet sont remarquées pour le thêta en central et postérieur (respectivement 0,02 et 0,01) ainsi que pour le bêta en postérieur (0,03). Les résultats sont tout autant non significatifs pour l'effet temps. En revanche, l'eta-carré partiel (η^2 partiel) révèle une petite taille d'effet pour le thêta en central (0,03), de moyennes tailles d'effet pour le thêta en postérieur (0,05), l'alpha en frontal, en central et en postérieur (respectivement 0,07, 0,08 et 0,08) et le bêta en frontal et en postérieur (respectivement 0,05 et 0,07), ainsi qu'une grande taille d'effet pour le bêta en central (0,14). Enfin, une petite taille d'effet (0,02) est présente pour le bêta en frontal à propos de l'effet groupe.

Figure 1

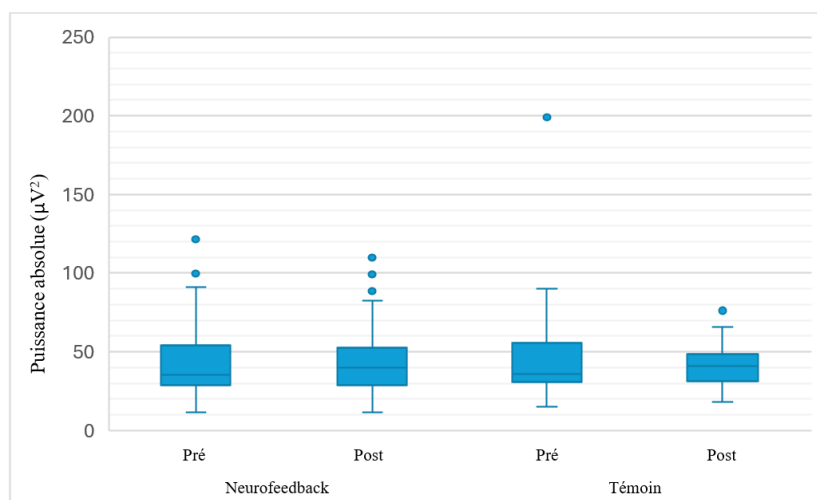
Puissance absolue (μV^2) du thêta en frontal selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 2

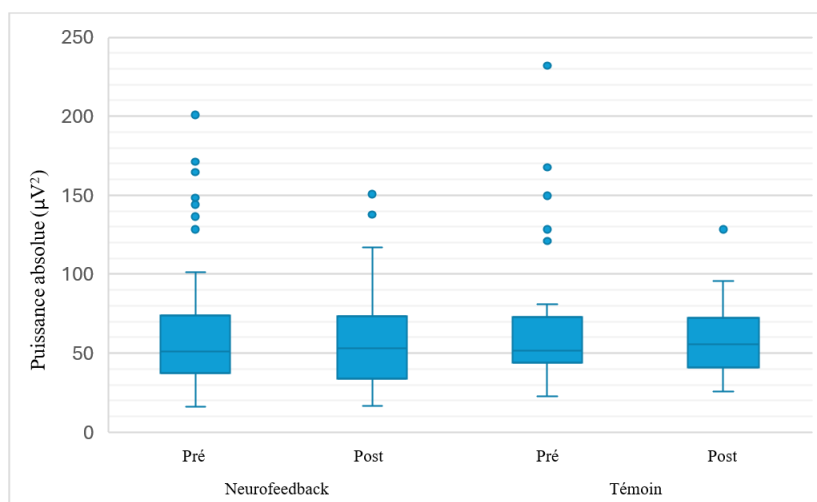
Puissance absolue (μV^2) du θ en central selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 3

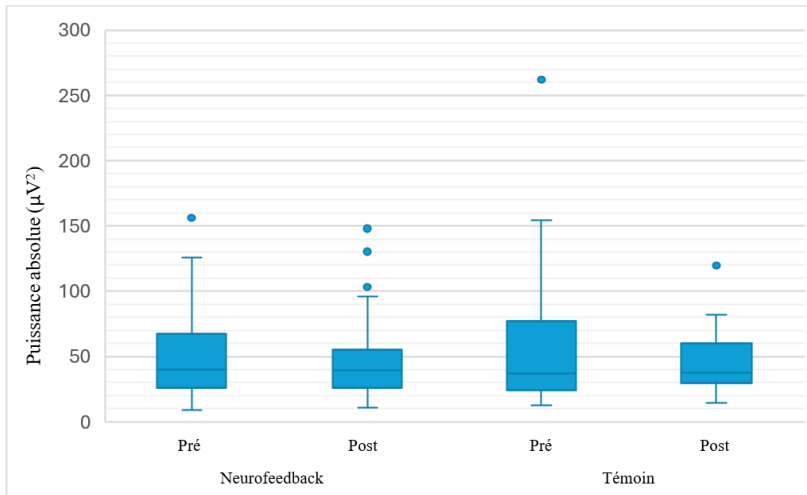
Puissance absolue (μV^2) du θ en postérieur selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 4

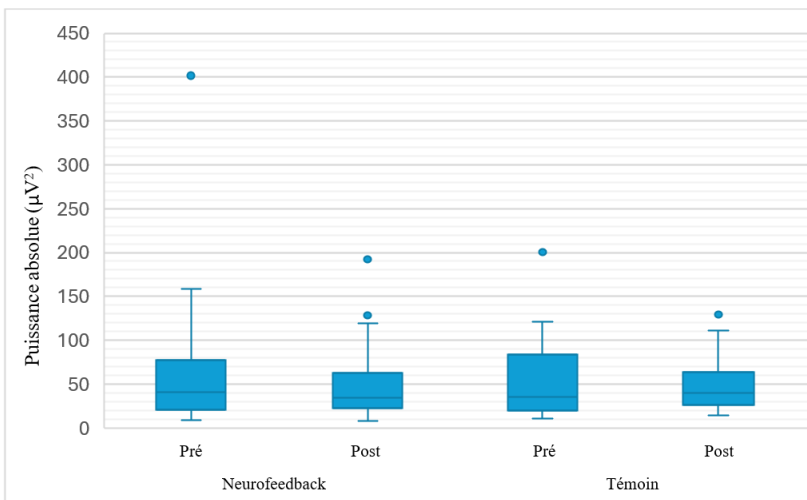
Puissance absolue (μV^2) de l'alpha en frontal selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 5

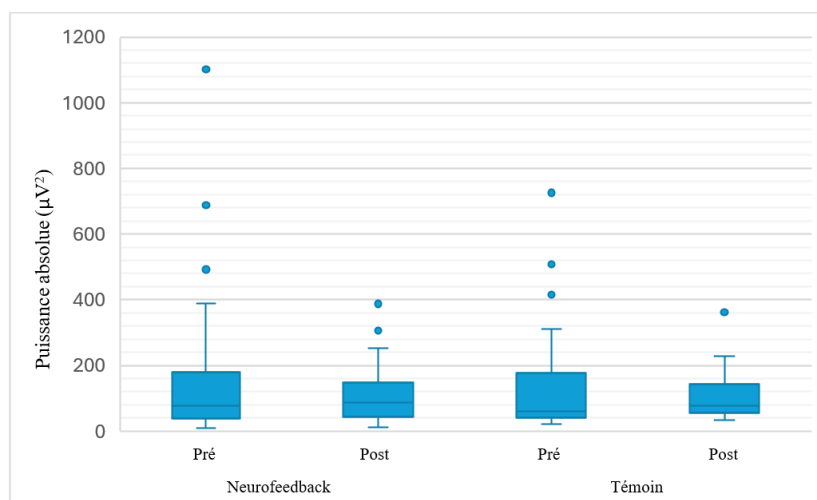
Puissance absolue (μV^2) de l'alpha en central selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 6

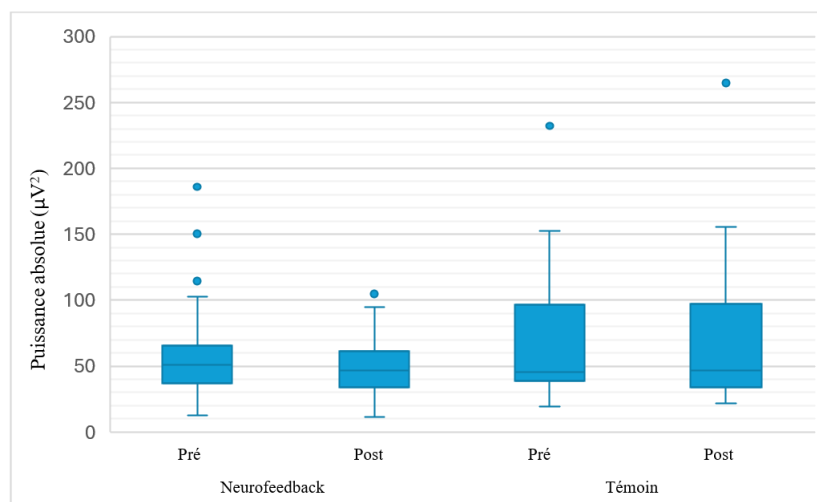
Puissance absolue (μV^2) de l'alpha en postérieur selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 7

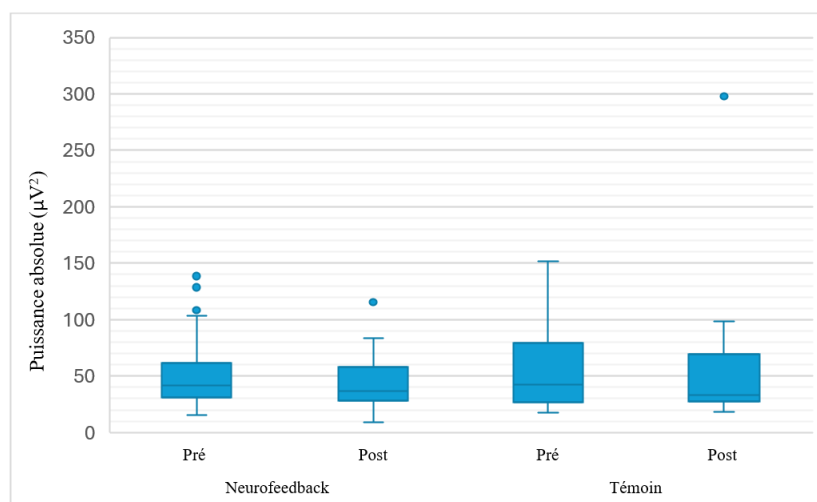
Puissance absolue (μV^2) du bêta en frontal selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 8

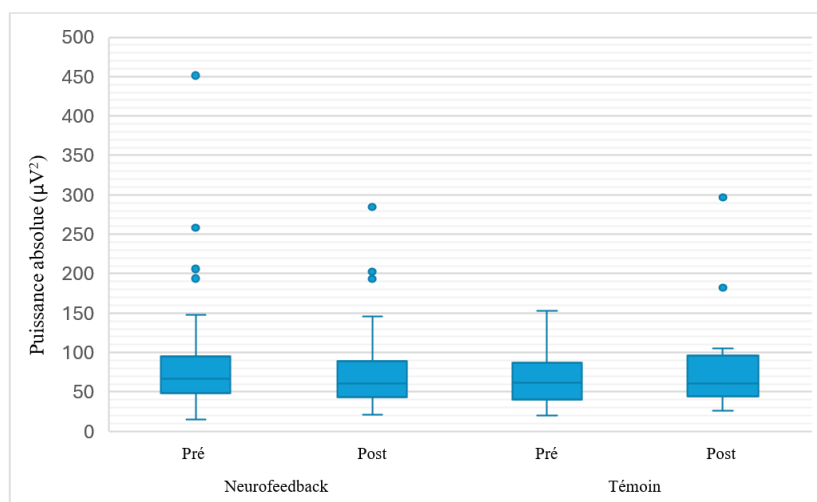
Puissance absolue (μV^2) du bêta en central selon le groupe et le temps de mesure



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 9

Puissance absolue (μV^2) du bêta en postérieur selon le groupe et le temps de mesure

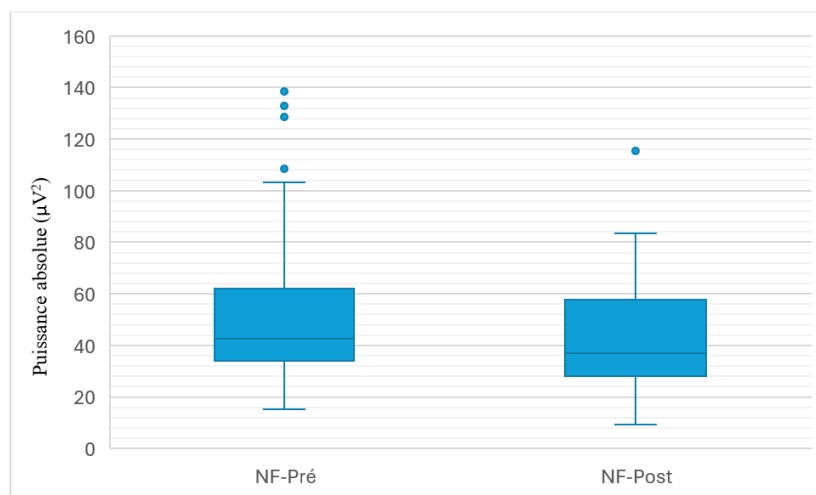


Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Considérant la forte attrition dans le groupe témoin au temps 2 et donc d'une probable perte de la puissance statistique dans les modèles mixtes décrits plus haut, nous avons décidé d'effectuer des tests-t pour échantillons appariés uniquement dans le groupe neurofeedback à titre d'analyses exploratoires. Les résultats suggèrent la présence de différences statistiquement significatives entre le bêta pré et post pour les régions centrale $t(54) = 3,441, p = 0,001 (< 0,005)$ et postérieure $t(54) = 3,053, p = 0,003 (< 0,005)$. Ainsi, la puissance absolue du bêta central mesurée au temps 2 ($M = 43,27, ET = 20,69$) est significativement différente de la puissance absolue du bêta central mesurée au temps 1 ($M = 52,46, ET = 29,20$) (figure 10). En ce qui concerne la puissance absolue du bêta en postérieur, elle est aussi significativement différente au temps 2 ($M = 74,37, ET = 48,02$) comparée au temps 1 ($M = 88,07, ET = 68,05$) (figure 11).

Figure 10

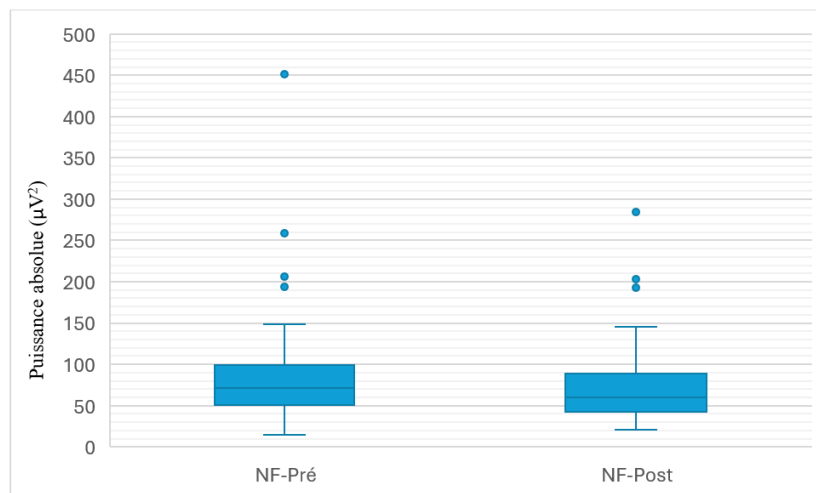
Puissance absolue (μV^2) du bêta en central selon le temps de mesure dans le groupe neurofeedback



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Figure 11

Puissance absolue (μV^2) du bêta en postérieur selon le temps de mesure dans le groupe neurofeedback



Note. Les points représentent des participants ayant des valeurs extrêmes (> 3 écarts types).

Discussion

Cette étude avait pour objectif d'examiner l'effet du neurofeedback sur la puissance absolue de bandes d'ondes d'intérêts (thêta, alpha et bêta) au repos chez des étudiants au cégep qui ont un TDAH. Pour y arriver, des étudiants du cégep Montmorency ($n=63$) ont été exposés à 30 séances d'entraînement personnalisé en neurofeedback. Nous avons ensuite analysé si des différences significatives étaient présentes en comparant leur activité cérébrale au repos à celle d'un groupe témoin ($n=27$). Les résultats de ces comparaisons ont tous été statistiquement non significatifs. Ce constat infirme nos hypothèses quant à une normalisation qui était attendue à propos des bandes d'ondes thêta et alpha comparées au groupe témoin. Sur la base de ces résultats, nous devons donc conclure que notre étude ne permet pas d'affirmer que les interventions en neurofeedback sont efficaces pour normaliser l'activité cérébrale au repos.

Il est difficile de comparer nos résultats avec la littérature scientifique. Très peu de chercheurs se sont intéressés à l'activité cérébrale au repos pour évaluer l'efficacité du neurofeedback. Toutefois, beaucoup plus d'études portent sur l'impact du neurofeedback sur les

symptômes du TDAH. Par exemple, une méta-analyse basée sur 15 études rapporte de grandes tailles d'effet du neurofeedback sur les symptômes d'inattention et d'impulsivité, et des tailles d'effet moyennes pour l'hyperactivité (Arns *et al.*, 2009).

Une seule étude, à notre connaissance, a évalué l'impact du neurofeedback à la fois sur l'activité cérébrale au repos et sur l'intensité des symptômes du TDAH (Arns *et al.*, 2012). Les chercheurs de cette étude ont rapporté les résultats d'un protocole d'entraînement ciblant les ondes SMR (12-15 Hz). Ils ont observé une diminution significative des symptômes d'inattention et d'hyperactivité/impulsivité après les entraînements en neurofeedback. Pour ce qui est de l'activité cérébrale au repos, une diminution de la puissance des ondes SMR a été remarquée. Il était pourtant attendu que le changement ait lieu dans le sens opposé puisque le protocole d'entraînement visait à augmenter la puissance des ondes SMR. Aucun effet n'a été remarqué sur les ondes alpha et sur le restant du bêta (15-20 Hz).

Considérant l'attrition importante dans notre groupe témoin, nous avons décidé de pousser les analyses en comparant les deux temps de mesure au sein du groupe neurofeedback. Nous avons été étonnés de trouver des résultats statistiquement significatifs pour les ondes bêta dans les régions centrale et postérieure. Puisque le bêta n'était pas une des cibles dans les entraînements en neurofeedback, nous nous attendions à n'observer aucun changement de la puissance absolue du bêta au deuxième temps de mesure. À la lumière de l'étude d'Arns et ses collègues (2012), il est difficile d'interpréter nos résultats quant aux changements significatifs des ondes bêta. En effet, dans leur étude, l'effet du neurofeedback sur l'activité cérébrale est circonscrit à la bande d'ondes entraînée (SMR). Considérant les effets que nous avons observés pour les ondes bêta, nous pensons qu'il pourrait donc être intéressant à l'avenir d'analyser la puissance relative des bandes d'ondes en plus de la puissance absolue. Regarder les variabilités dans les proportions des différentes bandes d'ondes pourrait nous renseigner sur une possible réorganisation plus globale qui s'effectue dans le cerveau.

Par ailleurs, nous avons regroupé dans nos analyses l'ensemble des participants du groupe neurofeedback, sans égard au type de protocole d'entraînement (c'est-à-dire si celui-ci portait sur les ondes thêta ou alpha). Cette décision était justifiée par le fait qu'un changement dans la bande d'ondes ciblée (thêta ou alpha) était possible à mi-parcours de la participation à l'étude, mais vient avec l'inconvénient de ne plus être en mesure de distinguer les effets spécifiques de chaque

fréquence. Ainsi, il est possible que ce regroupement ait caché certaines nuances entre le protocole ciblant les ondes thêta de celui des ondes alpha. Il serait donc important à l'avenir de distinguer les individus entraînés en thêta de ceux entraînés en alpha dans les analyses statistiques. Même que, en amont, il serait nécessaire de ne pas appliquer de modification au protocole d'entraînement à mi-parcours.

Forces et limites

Notre étude présente des forces. D'abord, la présence d'un groupe témoin avec répartition aléatoire aurait pu permettre de cerner l'effet qui aurait été propre au neurofeedback. Ensuite, les protocoles d'entraînement en neurofeedback étaient personnalisés. La personnalisation des entraînements permet d'adapter les cibles en fonction du profil neurologique de chaque individu. Cette adaptation est d'autant plus pertinente dans un contexte de personnalisation des traitements en santé qui prend de plus en plus d'ampleur. Enfin, la participation à l'étude comprenait 30 séances d'entraînement pour le groupe neurofeedback. Ce grand nombre de séances est très peu commun dans les études sur le neurofeedback.

En contrepartie, quelques limites sont à considérer à propos de notre étude. Une forte attrition a été remarquée au deuxième temps de mesure. Cette réalité touche particulièrement le groupe témoin qui a perdu 41% de ses participants à la mesure post. Cette attrition pourrait expliquer en partie l'absence de résultats statistiquement significatifs avec les analyses par modèle mixte, en étant la cause d'une perte de puissance statistique. Par ailleurs, il aurait été pertinent de vérifier si les 16 participants restants différaient du groupe initial. Une autre limite de notre étude concerne la possibilité de modification du protocole d'entraînement après les 15 premières séances d'entraînement. Cette pratique permettait d'adapter les entraînements en neurofeedback pour la deuxième moitié de participation à l'étude. En revanche, cette possibilité de modification à mi-parcours augmente l'hétérogénéité dans l'expérimentation. Il est donc plus difficile de connaître les effets potentiels du neurofeedback en multipliant les éléments ciblés par le traitement. Il aurait été préférable de maintenir le protocole d'entraînement initial jusqu'à la fin de la participation. Cette stabilité dans l'expérimentation aurait pu permettre de rendre compte de l'évolution de ce qui avait été priorisé dans le profil d'activité cérébrale au repos. Une dernière limite est associée à la variable d'intérêt, se limitant à l'activité cérébrale au repos. Il est possible

que cette considération pour l'activité cérébrale au repos soit incomplète pour bien comprendre le neurofeedback. Il serait souhaitable à l'avenir d'au moins lier l'activité cérébrale au repos avec l'intensité des symptômes du TDAH ou la performance à des tests neuropsychologiques. Élargir l'intérêt pour d'autres variables dépendantes offrirait une compréhension plus globale du neurofeedback sur le TDAH.

Conclusion

Le neurofeedback appliqué au traitement du TDAH est étudié depuis quelques décennies. Toutefois, ses impacts et son efficacité ne sont pas encore bien compris. Un manque de standardisation dans les protocoles d'entraînement pourrait expliquer les grandes variabilités entre les études et le manque de consensus. La présente étude adressait certaines des failles méthodologiques précédentes, en utilisant notamment un grand nombre de séances d'entraînement, des protocoles d'entraînement personnalisés, ainsi que l'inclusion d'une seule population d'intérêt, soit les jeunes adultes. Nonobstant ces forces, des limites significatives demeurent, nous limitant dans les résultats observés. Sur la base de ces résultats à propos de l'activité cérébrale au repos, nous devons conclure que le neurofeedback n'a pas été efficace dans notre échantillon. Cependant, des pistes sont à considérer pour les prochaines études, entre autres en complétant l'analyse de l'efficacité du neurofeedback avec d'autres variables d'intérêts comme l'intensité des symptômes du TDAH et la performance à des tests neuropsychologiques. Ces variables seraient d'une grande pertinence d'autant plus qu'elles concernent la réalité tangible des personnes vivant avec le TDAH.

Bibliographie

- Abecassis, M., Isquith, P. K. et Roth, R. M. (2017). Characteristics of ADHD in the emerging adult: an overview. *Psychological Injury and Law*, 10(3), 197-208. <https://doi.org/10.1007/s12207-017-9293-7>
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. DSM Library. <https://psychiatryonline.org/doi/book/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Arnett, J. J. (2007). Emerging adulthood: what is it, and what is it good for? *Child Development Perspectives*, 1(2), 68-73. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2007.00016.x>
- Arns, M., De Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M. et Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clinical EEG and Neuroscience*, 40(3), 180-189. <https://doi.org/10.1177/155005940904000311>
- Arns, M., Drinkenburg, W. et Leon Kenemans, J. (2012). The effects of QEEG-informed neurofeedback in ADHD: an open-label pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(3), 171-180. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9191-4>
- Cortese, S., Ferrin, M., Brandeis, D., Holtmann, M., Aggensteiner, P., Daley, D., Santosh, P., Simonoff, E., Stevenson, J., Stringaris, A., Sonuga-Barke, E. J. S., Asherson, P., Banaschewski, T., Brandeis, D., Buitelaar, J., Coghill, D., Cortese, S., Daley, D., Danckaerts, M., ... Zuddas, A. (2016). Neurofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorder: meta-analysis of clinical and neuropsychological outcomes from randomized controlled trials. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 55(6), 444-455. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2016.03.007>
- Faraone, S. V., Biederman, J. et Mick, E. (2006). The age-dependent decline of attention deficit hyperactivity disorder: a meta-analysis of follow-up studies. *Psychological Medicine*, 36(2), 159-165. <https://doi.org/10.1017/S003329170500471X>
- Fayyad, J., on behalf of the WHO World Mental Health Survey Collaborators, Sampson, N. A., Hwang, I., Adamowski, T., Aguilar-Gaxiola, S., Al-Hamzawi, A., Andrade, L. H. S. G., Borges, G., De Girolamo, G., Florescu, S., Gureje, O., Haro, J. M., Hu, C., Karam, E. G., Lee, S., Navarro-Mateu, F., O'Neill, S., Pennell, B.-E., ... Kessler, R. C. (2017). The descriptive epidemiology of DSM-IV adult ADHD in the world health organization world mental health surveys. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 9(1), 47-65. <https://doi.org/10.1007/s12402-016-0208-3>
- Fleming, A. P. et McMahan, R. J. (2012). Developmental context and treatment principles for ADHD among college students. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 15(4), 303-329. <https://doi.org/10.1007/s10567-012-0121-z>
- Hammond, D. C. (2011). What is neurofeedback: an update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305-336. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>

- Kiiski, H., Bennett, M., Rueda-Delgado, L. M., Farina, F. R., Knight, R., Boyle, R., Roddy, D., Grogan, K., Bramham, J., Kelly, C. et Whelan, R. (2020). EEG spectral power, but not theta/beta ratio, is a neuromarker for adult ADHD. *European Journal of Neuroscience*, 51(10), 2095-2109. <https://doi.org/10.1111/ejn.14645>
- Loo, S. K., Cho, A., Hale, T. S., McGough, J., McCracken, J. et Smalley, S. L. (2013). Characterization of the theta to beta ratio in ADHD: identifying potential sources of heterogeneity. *Journal of Attention Disorders*, 17(5), 384-392. <https://doi.org/10.1177/1087054712468050>
- Matte, B., Anselmi, L., Salum, G. A., Kieling, C., Gonçalves, H., Menezes, A., Grevet, E. H. et Rohde, L. A. (2015). ADHD in DSM-5: a field trial in a large, representative sample of 18- to 19-year-old adults. *Psychological Medicine*, 45(2), 361-373. <https://doi.org/10.1017/S0033291714001470>
- Parent, V., Desmarais, A., Gémus, S., Pelland-Goulet, P., Brisebois, H. et Gauthier, B. (2022). Quelle est la place des avancées technologiques dans l'intervention neuropsychologique auprès des jeunes avec un TDAH ? *Revue de neuropsychologie*, 14(1), 35-42. <https://doi.org/10.1684/nrp.2022.0699>
- Pievsky, M. A. et McGrath, R. E. (2018). The neurocognitive profile of attention-deficit/hyperactivity disorder: a review of meta-analyses. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 33(2), 143-157. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx055>
- Primich, C. et Iennaco, J. (2012). Diagnosing adult attention-deficit hyperactivity disorder: the importance of establishing daily life contexts for symptoms and impairments. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 19(4), 362-373. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2850.2011.01845.x>
- Snyder, S. M. et Hall, J. R. (2006). A meta-analysis of quantitative EEG power associated with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 23(5), 441-456. <https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000221363.12503.78>
- Thatcher, R. W., Walker, R. A., Biver, C. J., North, D. N. et Curtin, R. (2003). Quantitative EEG normative databases: validation and clinical correlation. *Journal of Neurotherapy*, 7(3-4), 87-121. https://doi.org/10.1300/J184v07n03_05
- Tremblay, É. et Daigle, J.-M. (2017, septembre). Prévalence de l'usage des médicaments spécifiques au trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) chez les Canadiens de 25 ans et moins. *Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS)*. https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/Rapports/ServicesSociaux/INESSS_Portrait_TDAH_IMS.pdf
- Turgeon, M., Guay, H., Daigle, J.-M., Tremblay, É., Breton, M.-C. et Bouchard, S. (2017, septembre). Portrait de l'usage des médicaments spécifiques au trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) chez les Québécois de 25 ans et moins. *Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS)*.

https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/Rapports/ServicesSociaux/INESSS-Rapport_TDAH_Qc.pdf

Woltering, S., Jung, J., Liu, Z. et Tannock, R. (2012). Resting state EEG oscillatory power differences in ADHD college students and their peers. *Behavioral and Brain Functions*, 8(1), 60. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-8-60>

Annexe 1

Certificat d'éthique



No. de certificat : 2025-7273
Date : 2024-12-01

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE FSH) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la *Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains* (avril 2020) de l'UQAM.

Titre du projet : Neurofeedback, intervention auprès de cégépiens ayant un TDAH
Nom de l'étudiant : Vincent Montpetit
Programme d'études : Baccalauréat en psychologie
Direction(s) de recherche : Dave Saint-Amour; Hélène Brisebois

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année au plus tard un mois avant la date d'échéance (**2025-12-01**) de votre certificat. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sophie Gilbert'.

Sophie Gilbert
Professeure, Département de psychologie
Présidente du CERPE FSH