

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

VALIDATION D'UN NOUVEAU PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT DE LA  
MÉMOIRE DE TRAVAIL VISUO-SPATIALE CHEZ DES ENFANTS AYANT UN  
TROUBLE DU DÉFICIT DE L'ATTENTION AVEC OU SANS HYPERACTIVITÉ

THÈSE  
PRÉSENTÉE  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR  
NANCY BÉLAIR

AOÛT 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

Cette thèse de doctorat est non seulement le fruit d'efforts insoupçonnés mais aussi celui de l'aide concrète apportée par plusieurs personnes qui se doivent d'être remerciées.

Celui sans qui rien n'aurait été possible est sans contredit mon directeur de thèse, André Achim, Ph.D. Merci pour avoir cru en moi dès la thèse d'honneur et pour m'avoir donné le privilège d'apprendre avec vous. Merci aussi pour votre grande disponibilité, vos nombreuses connaissances, votre grand sens critique et votre humanisme, qui passe notamment par votre soutien constant et votre grande compréhension envers mon intérêt pour la famille et les diverses préoccupations et imprévues que cela peut occasionner.

Le premier à croire en moi alors qu'on se connaissait à peine et qui fut un soutien incomparable pendant toutes ces années est Germain, mon tendre époux. Jamais sa foi en moi n'a failli, même dans les pires moments. Merci pour ton écoute et ta patience, ton support et tes encouragements, tes lectures critiques et tes corrections, tes nombreuses participations expérimentales, tes connaissances diverses, ta présence et ton amour.

Merci à une amie et une superviseure de stage, Annie Dufresne, Ph.D., pour m'avoir tendu la main à un moment très critique de mon cheminement doctoral. Merci pour avoir fait preuve d'une très grande empathie à mon égard et pour m'avoir accordé ta confiance. Merci enfin pour tes judicieux conseils, tant professionnels que personnels.

Merci à ma famille, ma mère, Nicole et mon père, Jean-Claude, pour leurs encouragements et leur soutien constant, notamment envers mes deux petits amours, Nathan et Félix. Un merci spécial à ma chère grande sœur, Marylène, pour le temps précieux consacré à la correction de ma thèse.

Merci à tous les participants et aux membres du personnel des différents milieux qui ont participé à la cueillette de données, soit la Clinique des troubles de l'attention à l'Hôpital Rivière-des-Prairies et au Laboratoire d'étude de la santé cognitive des aînés au Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal. Merci aux orthopédagogues Johanne Del Vecchio, Caroline Vaillancourt, Catherine Fortier, Claire Côté et Claire Cardinal, des commissions scolaires des Grandes-Seigneuries et des Hautes-Rivières. Merci pour le temps consacré à mon projet.

Merci aux Fonds québécois de recherche sur la société et la culture (FQRSC) pour la bourse de doctorat et le soutien financier octroyé au projet.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
RÉSUMÉ .....	ix
INTRODUCTION .....	1
PREMIÈRE PARTIE	
ÉTUDE I .....	3
CHAPITRE I	
CONTEXTE THÉORIQUE .....	4
1.1 Entraînements de l'attention .....	4
1.2 Trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité .....	7
1.2.1 Profil clinique et concepts cognitifs .....	7
1.3 Mémoire de travail visuo-spatiale .....	10
1.4 Entraînements de la MTVS chez des enfants atteints du TDAH .....	11
1.5 Approche générale et fondements d'un nouveau programme d'entraînement de la MTVS .....	14
1.6 Objectifs .....	20
1.7 Hypothèse .....	20
1.8 Devis .....	21
CHAPITRE II	
MÉTHODOLOGIE .....	22
2.1 Participants .....	22
2.2 Environnement .....	23
2.3 Programme d'entraînement Gymnase .....	24
2.4 Mesures .....	28
2.4.1 Mesures des participants .....	28
2.4.2 Instruments de mesures : épreuves de généralisation .....	30
2.4.3 Mesures du programme d'entraînement Gymnase .....	30
2.4.4 Mesures impliquant des jugements humains, correcteurs et observateurs .....	30



2.5 Procédure .....	32
CHAPITRE III RÉSULTATS .....	35
CHAPITRE IV DISCUSSION .....	45
DEUXIÈME PARTIE ÉTUDE 2 .....	49
CHAPITRE V CONTEXTE THÉORIQUE .....	50
5.1 Imagerie optique .....	54
5.2 Hypothèse .....	58
5.3 Devis .....	59
CHAPITRE VI MÉTHODOLOGIE .....	60
6.1 Participants .....	60
6.2 Environnement .....	60
6.3 Appareillage .....	61
6.4 La tâche Gymnase .....	62
6.5 La tâche contrôle .....	63
6.6 Mesures d'imagerie optique .....	65
6.7 Procédure .....	67
6.8 Analyses planifiées .....	67
6.9 Récapitulation .....	69
CHAPITRE VII RÉSULTATS .....	71
CHAPITRE VIII DISCUSSION .....	87
APPENDICE A MESURES INHÉRENTES AU PROGRAMME GYMNASE DE CONCENTRATION	97
APPENDICE B VARIABLES ASYMÉTRIQUES .....	100

APPENDICE C	
CORRÉLATIONS SUPÉRIEURES À 0.5, DES MESURES À LEUR FACTEUR RESPECTIF LORS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES À SIX FACTEURS APRÈS ROTATION ET COEFFICIENTS STANDARDISÉS DES COMPOSANTES .....	103
APPENDICE D	
CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES CARACTÉRISANT L'ENTRAÎNEMENT AU GYMNASE ET LES MESURES DE GÉNÉRALISATION PRISES IMMÉDIATEMENT APRÈS L'ENTRAÎNEMENT, EN TENANT COMPTE DES MÊMES MESURES PRISES AVANT L'ENTRAÎNEMENT .....	108
APPENDICE E	
MOYENNES ET PROBABILITÉS DES TESTS DE STUDENT DES PARTICIPANTS, POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, AUX DIFFÉRENTS INTERVALLES DE TEMPS AU COURS DES TÂCHES ET CELA, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE .....	112
APPENDICE F	
PROBABILITÉS ISSUES DES TESTS $T^2$ DE HOTELLING ET DIFFÉRENCE D'AMPLITUDES MOYENNES POUR LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES DE CHAQUE PARTICIPANT, AUX DIFFÉRENTS INTERVALLES DE TEMPS D'INTÉRÊT AU COURS DES TÂCHES, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE, RELATIF À L'HÉMOGLOBINE OXYGÉNÉE ET DÉSOXYGÉNÉE .....	116
APPENDICE G	
MOYENNES ET PROBABILITÉS DES TESTS DE STUDENT DES PARTICIPANTS, À L'EXCLUSION DU PARTICIPANT NUMÉRO 7, POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, AUX DIFFÉRENTS INTERVALLES DE TEMPS AU COURS DES TÂCHES ET CELA, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE .....	148
APPENDICE H	
PROCÉDURE MATHÉMATIQUE UTILISÉE POUR COMBINER LES PROBABILITÉS DESCOURBES D'ACTIVATION CÉRÉBRALE LORS DE LA DEUXIÈME ÉTUDE .....	153
APPENDICE I	
RÉSULTATS AUX COMBINAISONS DE PROBABILITÉS, POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES DE TOUS LES PARTICIPANTS À L'EXCLUSION DU PARTICIPANT NUMÉRO 7, À L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DE L'ÉTUDE, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE HORIZONTALE .....	156

APPENDICE J	
RÉSULTATS DES TESTS DE PROBABILITÉS COMBINÉES, DES TESTS DE STUDENT ET LA MOYENNE, POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, DE TOUS LES PARTICIPANTS DE L'ÉTUDE 2, SUR L'INTERVALLE DE 5 SECONDES QUI PRÉCÈDE LES TÂCHES (DE -5 À 0 SECONDE) ET SUR L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DES TÂCHES (12 À 22 SECONDES) EN UTILISANT LA PÉRIODE ALLANT DE -5 À 0 SECONDE COMME LIGNE DE BASE POUR CHAQUE ESSAI ET LA MOYENNE DE L'INTERVALLE ANALYSÉ, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE .....	157
APPENDICE K	
RÉSULTATS DES TESTS DE PROBABILITÉS COMBINÉES, DES TESTS DE STUDENT ET DE LA MOYENNE DES PARTICIPANTS DE L'ÉTUDE 2, À L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DES TÂCHES (12 À 22 SECONDES), POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE, SELON QUE LES ARTEFACTS ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS VISUELLEMENT, STATISTIQUEMENT, OU LES DEUX À LA FOIS .....	164
RÉFÉRENCES .....	170

## LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1.1	Exemple d'une interface graphique du programme d'évaluation et d'entraînement Gymnase .....	16
1.2	Exemple d'une interface graphique du programme d'entraînement Gymnase où l'un des tracés dépasse un corridor gris, ce qui est signalé au participant et lui coûte des points .....	19
2.1	Exemple d'interface où le participant ne peut s'entraîner au niveau 5 lignes – 2 secondes, car trois niveaux consécutifs disponibles pour s'entraîner à 90 secondes n'ont pas été réussis (niveaux 2, 3 et 4 – 90 secondes). Réussir trois fois de suite 4 lignes à 90 secondes ferait passer comme réussis tous les niveaux inférieurs .....	26
5.1	Disposition des optodes sur le casque. Sur l'image, une optode est placée sous chaque emplacement où est situé un cercle bleu ou un petit ensemble de deux à trois cercles bleus .....	58
6.1	Interface graphique de la tâche contrôle durant la présentation du stimulus ...	64
7.1	Canaux optiques statistiquement significatifs à $p \leq .0005$ aux tests $T^2$ de Hotelling pour les essais expérimentaux et contrôles de chaque participant, à l'intervalle d'intérêt principal des tâches (de 12 à 22 secondes), disposés en position anatomique, vus du dessus de la tête, devant vers le haut .....	81
7.2	Courbes illustrant la différence entre les moyennes des conditions expérimentale et contrôle, pour chaque participant, au canal optique 32 .....	83

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Caractéristiques descriptives des participants .....	29
2.2	Nom et brève description des épreuves cognitives administrées .....	31
3.1	Analyses de covariance des effets du programme d'entraînement (effet de traitement : entraîné versus attente) sur six facteurs avec le score factoriel avant l'entraînement en covariable des scores au premier temps de mesures après l'entraînement, lui-même en covariable des scores au deuxième temps de mesures après l'entraînement .....	41
7.1	Résultats des tests de Student pour tous les participants, aux différents intervalles, ..... sur l'ensemble des canaux optiques (les uns à la suite des autres) .....	75
7.2	Résultats des participants aux essais et taux de réussite à l'étude 2 .....	77
7.3	Résultats des tests $T^2$ de Hotelling, transformés en F, pour chaque participant, à chaque intervalle de temps d'intérêt des tâches, en considérant tous les canaux bout à bout .....	78
7.4	Résultats des tests de probabilités combinées des huit participants au test global .....	85

## RÉSUMÉ

Il y a déjà quelques années, le phénomène de la plasticité cérébrale a entraîné le domaine de la réadaptation dans une nouvelle ère lorsque des études ont montré qu'il était possible d'améliorer certaines fonctions via la pratique répétitive de tâches spécifiques. Dans le domaine de l'attention, des entraînements ont été élaborés et ont mené à des améliorations des performances chez des adultes cérébrolésés, ainsi qu'à des améliorations de leur fonctionnement au quotidien. Ces améliorations ont tôt fait d'intéresser les chercheurs dans le domaine du trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), dont le taux de diagnostic augmentait dans la population. Le TDAH est un diagnostic médical attribué à des personnes chez qui l'on observe des difficultés sévères prenant la forme d'inattention, d'hyperactivité et d'impulsivité, inappropriées à leur niveau de développement et causant des difficultés d'adaptation à la maison, à l'école ou au travail. D'autres entraînements de l'attention, effectués auprès d'enfants aux prises avec un TDAH, ont montré une amélioration des performances sur des épreuves d'attention. La théorie de Barkley (2006) sur le TDAH place la mémoire de travail non verbale au cœur de la problématique. Par ailleurs, il semble que ce soit la mémoire de travail visuo-spatiale (MTVS), tel que définie par Baddeley (1974, 1986), qui soit la fonction qui permette de distinguer le mieux les enfants atteints du TDAH (Westerberg et al., 2004).

La question de recherche vise à savoir si un programme d'entraînement, basé sur une seule tâche de MTVS et adapté continuellement aux capacités d'enfants atteints d'un TDAH à la tâche d'entraînement, peut permettre une amélioration de leur MTVS. Cette thèse de doctorat consiste à valider un programme d'entraînement de la MTVS élaboré à l'UQÀM, appelé Gymnase, chez des enfants atteints d'un TDAH en mesurant leur performances par le biais de tâches cognitives dont la MTVS, en comparaison avec un groupe contrôle.

L'objectif principal est de vérifier la modification des performances, sur les épreuves de généralisation, pour les enfants ayant bénéficié d'un entraînement au Gymnase, en comparaison avec les enfants du groupe en liste d'attente. Au total, 18 enfants satisfaisant les critères du TDAH participent à l'étude dont deux filles et 16 garçons. Les participants sont assignés au hasard aux groupes, expérimental et contrôle, ce dernier étant aussi une liste d'attente pour recevoir des séances d'entraînements au programme Gymnase ultérieurement. Selon le sous-groupe auquel les enfants appartiennent, ils reçoivent deux ou trois entraînements par semaine durant 7 ou 10 semaines, à leur école, sous la supervision d'un orthopédaque agissant comme entraîneur. Aucun des six facteurs, regroupant l'ensemble des épreuves de généralisation administrées, n'a montré d'effet de l'entraînement entre le groupe expérimental et contrôle, qui soit statistiquement significatif.



Ces résultats négatifs pourraient indiquer que la tâche n'est tout simplement pas adéquate pour activer efficacement la MTVS, mais ils pourraient aussi refléter simplement diverses difficultés au niveau de l'implantation du programme d'entraînement dans les écoles primaires participantes. Pour départager les deux explications possibles des résultats obtenus, une mesure de l'activation cérébrale durant la tâche d'entraînement a été effectuée, chez huit jeunes adultes, à l'aide de l'imagerie optique diffuse, en comparaison à une tâche contrôle, de manière à être en mesure de la comparer avec l'activation cérébrale qui a lieu durant d'autres tâches de MTVS, davantage localisée dans la région du cortex préfrontal dorsolatéral, de manière à s'assurer que la tâche d'entraînement est une tâche efficace de MTVS.

Les mesures d'imagerie optique obtenues ont révélé une activation réelle mais hétérogène lors de l'exécution de la tâche du programme d'entraînement Gymnase, en comparaison à une tâche contrôle. Ainsi, la tâche d'entraînement semble permettre aux participants d'utiliser diverses stratégies, diverses fonctions cognitives pour réussir la tâche d'entraînement. En cela, elle n'exercerait pas assez spécifiquement la fonction visée. Ces résultats rappellent l'importance de vérifier la validité d'une tâche expérimentale avant toute autre utilisation et suggèrent une plus grande utilisation de l'imagerie optique pour ce faire. Malgré l'absence de résultats lors de l'étude visant l'amélioration des performances à diverses épreuves cognitives à la suite d'entraînements au programme, d'autres études obtiennent des résultats significatifs et continuent de supporter le domaine de la remédiation cognitive.

Mots clés : remédiation cognitive; entraînement cognitif; mémoire de travail visuo-spatiale; trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité; imagerie optique diffuse.

## INTRODUCTION

Nul ne doute des bienfaits de l'exercice physique pour la santé. Depuis quelques années, les exercices cognitifs font maintenant leur apparition dans les médias et leur popularité est grandissante. De plus en plus de gens pratiquent des exercices à l'aide de consoles de jeux vidéo (ex. Brain Age) ou d'un simple ordinateur de bureau (ex. NeuroActive). Ces programmes, qui affirment stimuler le cerveau pour augmenter son efficacité qui décroîtrait avec l'âge ainsi que pour le maintenir actif et en santé, permettraient un vieillissement harmonieux et réduiraient les risques de maladies neurodégénératives, respectivement. Ils encouragent les utilisateurs à une pratique régulière d'exercices diversifiés conçus pour entraîner jusqu'à 18 fonctions cognitives différentes. Doit-on les croire? Selon l'information donnée par les fabricants de ces programmes, des études auraient démontré que lire à voix haute et exécuter des calculs rapidement sont des méthodes efficaces pour entraîner le cerveau. Selon eux, des recherches sur la neuroplasticité auraient aussi montré qu'un cerveau entraîné adéquatement peut améliorer ses capacités, ses performances et son fonctionnement, et qu'il peut aussi modifier son anatomie pour supporter une activité cérébrale accrue.

Les travaux de Kawashiwa et al. (2005) et Uchida et Kawashiwa (2008) sur lesquels sont basés ces programmes, ont démontré que des exercices de lecture à voix haute et d'exécution rapide de calculs permettent d'améliorer les fonctions frontales des personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer, ainsi que des personnes âgées saines. La batterie d'évaluation frontale (comprenant six épreuves) ainsi que deux items de l'échelle qui mesure l'état mental et les activités de la vie quotidienne des personnes âgées (NM scale) soit l'indépendance et la communication verbale, ont été utilisés. Dans l'étude de Kawashiwa et al. (2005), deux groupes de 16 participants ont été constitués, un groupe expérimental et un groupe contrôle. Les entraînements ont utilisés des exercices de lecture et d'écriture, de la simple syllabe à la lecture à haute voix, ainsi que la résolution de problèmes d'arithmétique, allant du simple comptage à la division de nombre de trois chiffres. Les entraînements ont eu lieu de deux à six jours par semaine durant six mois. Des améliorations significatives ont été

obtenues à l'épreuve de similitudes ( $p < ,05$ ) de la batterie d'évaluation frontale, ainsi que sur l'item Indépendance de l'échelle NM ( $p < ,05$ ). Dans l'étude de Uchida et Kawashiwa (2008), le groupe expérimental (51 participants) reçoit des entraînements à l'aide des mêmes problèmes que lors de l'étude de Kawashiwa et al. (2005) soit des exercices de lecture et d'écriture, ainsi que la résolution de problèmes d'arithmétique, alors que le groupe contrôle (47 participants) ne reçoit aucune intervention. Des améliorations significatives ont été obtenus pour le groupe expérimental, par rapport au groupe contrôle, à l'épreuve de fluidité verbale de la batterie d'évaluation frontale ( $p = 0,058$ ,  $t = 1,91$ ,  $ddl = 96$ ). L'effet semble se maintenir pour le groupe expérimental puisqu'une réévaluation après six mois a reproduit les mêmes résultats. On note que, pour les deux études, les participants étaient d'un âge avancé.

Les fabricants des programmes d'entraînement tels que Brain Age ou NeuroActive, s'inspirent des études de Kawashiwa (2005) et de Uchida et Kawashiwa (2008), entre autres, pour élargir la population des gens qui pourraient bénéficier d'un entraînement cognitif. Ont-ils raison de croire que ces activités cognitives peuvent permettre d'améliorer les fonctions cognitives des adultes non âgés? Compte tenu des recherches antérieures, aurait-il été justifié de penser que Kawashiwa et al. (2005) et Uchida et Kawashiwa (2008) auraient pu entraîner les fonctions cognitives d'autres populations aux prises avec des difficultés cognitives semblables ou différentes, telles que des personnes qui ont un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH)?

Le chapitre qui suit abordera plusieurs sujets. Il traitera d'abord des assises de la réadaptation cognitive pour ensuite poursuivre avec des études portant sur divers programmes d'entraînements, études qui ont été influencées au fil du temps par des théories influentes portant sur le TDAH et sur la mémoire de travail visuo-spatiale.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE 1

## CHAPITRE I

### CONTEXTE THÉORIQUE

Depuis longtemps, on croit que les divers systèmes fonctionnels cérébraux peuvent se réorganiser (Luria, 1980). Dans le domaine de la réadaptation, Cicerone et al. (2000, 2005) ont élaboré des recommandations cliniques pour la réadaptation cognitive, basées sur une revue des écrits scientifiques. En 2003, Cappa et al. ont élaboré les lignes directrices de la réadaptation cognitive. Ensemble, ils constituent un grand regroupement de chercheurs internationaux qui donnent leur opinion en faveur de la réadaptation cognitive et cela, basé sur des données probantes. Les fonctions cognitives qui ont fait l'objet des recommandations et lignes directrices sont les suivantes : l'attention, les déficits visuo-spatiaux et l'héminégligence, l'apraxie, les déficits de langage, l'aphasie et les déficits de la communication, les désordres du calcul et l'acalculie, la mémoire, ainsi que les fonctions exécutives, les déficits de résolution de problèmes et de reconnaissance de déficits (anosognosie).

#### 1.1 Entraînements de l'attention

Dans le domaine de l'attention, la réadaptation cognitive a certainement été influencée par le programme d'entraînement de l'attention intitulé Entraînement des processus de l'attention (APT) de Sohlberg et Mateer (1986). Ces chercheurs ont d'abord tenté d'entraîner l'attention de quatre personnes cérébrolésées depuis plus de 12 mois, en élaborant des exercices sur chacun des cinq types d'attention constituant leur modèle de traitement, soit la vigilance, l'attention soutenue, l'attention sélective, l'attention alternée et l'attention partagée. Les participants devaient maîtriser suffisamment un type d'attention préalable pour entraîner un type d'attention défini comme étant plus exigeant d'après leur modèle. Les observations sur ces premiers patients entraînés constituent quatre études de cas puisqu'ils



ont tous été entraînés indépendamment. Les résultats ont été mesurés sur l'épreuve du PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test). Bien que cette épreuve n'ait pas fait partie intégrante de l'entraînement, l'une des tâches du type d'attention alternée exigeait une flexibilité entre les additions et les soustractions et à ce titre, constitue la tâche qui se rapproche le plus du PASAT. Les participants se sont tous améliorés sur l'épreuve du PASAT mais ont aussi fait des progrès fonctionnels notables dans leur vie quotidienne pendant les semaines qu'a duré l'entraînement (ex. assumer les responsabilités d'un emploi et vivre seul en logement) (Sohlberg et Mateer, 1987).

En 1989, Williams (cité dans Tamm et al., 2007) a tenté d'appliquer le programme APT à des enfants atteints du trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) en vue de traiter et d'améliorer l'attention déficitaire de six enfants. Après 40 heures d'entraînements, il a obtenu des améliorations significatives sur des mesures d'attention prises avant et après l'entraînement. Il a ensuite repris le même entraînement avec un plus grand groupe d'enfants (n=33) où il a procédé avec un groupe expérimental et un groupe contrôle qui n'était pas entraîné. Des résultats significatifs entre les groupes ont pu être observés notamment en ce qui concerne l'attention soutenue et l'attention exécutive.

Dix ans après l'étude de Williams (1989), Semrud-Clikeman et al. (1999) reprennent aussi le programme APT de Sohlberg et Mateer en tentant, comme Williams (1989), de l'appliquer à des enfants atteints du TDAH. Les enfants atteints du TDAH étaient qualifiés de cas légers, en comparaison à la population clinique qui nécessite une évaluation complète dû à une atteinte fonctionnelle. Trois groupes ont été constitués, soit deux groupes d'enfants atteints du TDAH et un groupe contrôle qui n'en était pas atteint. Il y a seulement un groupe d'enfants qui a pu suivre le programme APT, soit un des deux groupes d'enfants atteints du TDAH. Contrairement à Sohlberg et Mateer (1987), les entraînements ont eu lieu en petits groupes de quatre à cinq enfants et beaucoup d'importance était mise sur les stratégies utilisées et les résultats qui en découlent. Une rétroaction est effectuée régulièrement en vue de modifier les stratégies moins efficaces. Bien qu'il existe plusieurs limites à cette étude, les mesures prises avant et après l'entraînement montrent tout de même des résultats significatifs sur les deux mesures prises, soit une épreuve de repérage qualifiée de mesure d'attention visuelle et une mesure d'attention auditive qui consiste à compter des cibles auditives.



Malgré leurs résultats intéressants, les premières études sur l'entraînement de l'attention en réadaptation, puis avec une clientèle atteinte du TDAH, ont été critiquées par Mateer et Mapou (1996) pour le manque d'adaptation des programmes d'entraînement envers la clientèle des enfants atteints du TDAH. Ces programmes d'entraînement de l'attention, conçus initialement pour une clientèle cérébralisée adulte, sont basés sur des modèles théoriques portant sur les difficultés d'attention propres à cette clientèle. Compte tenu que la cause des problèmes d'attention est différente pour les deux populations, il est possible que la nature exacte des problèmes d'attention vécus soit différente. À cela s'ajoutent les apprentissages antérieurs des enfants atteints du TDAH qui sont différents de ceux des adultes cérébralisés. Pour favoriser davantage une amélioration de la performance des enfants atteints du TDAH, il importe de construire des programmes d'entraînement de l'attention spécifiques à eux en tenant compte de la particularité de leurs besoins précis sur le plan attentionnel, de leurs apprentissages antérieurs et de leurs capacités cognitives au moment de l'entraînement.

En 1994, Thomson et al. adaptent le matériel du programme APT pour faciliter son utilisation avec des enfants. Cette nouvelle version du programme a été commercialisée sous le nom Pay Attention!. En 1999, Kerns, Eso et Thomson publient une étude qui a été entreprise pour vérifier l'efficacité du nouveau matériel. L'étude implique des enfants atteints du TDAH, diagnostiqués par des médecins. L'intervention consiste maintenant en deux sessions de 30 minutes par semaine, durant huit semaines. Le groupe contrôle (n=7) suit le rythme du groupe expérimental (n=7) en regard des sessions d'intervention. Toutefois, le contenu des sessions consiste en des activités à l'ordinateur, autres que celles du programme Pay Attention!. Les groupes ne différaient pas selon les mesures prises avant l'entraînement et les groupes étaient appariés de manière à tenir compte de plusieurs variables telles que l'âge, le sexe, le QI, la médication, les mesures d'attention, etc. Après l'entraînement, les groupes diffèrent significativement sur plusieurs variables dont l'épreuve des labyrinthes du WISC-III, le test de la capacité d'attention (ACT) qui est une mesure d'attention soutenue auditive (Weber, 1990), l'épreuve des boîtes soulignées, le Stroop jour-nuit et une épreuve de mathématique. Les autres tests n'ont pas montré d'effet significatif de traitement. Demers et Achim (2005) n'ont toutefois pas pu reproduire les résultats de cette étude avec des participants francophones et une traduction en français du matériel utilisé, ce qui remet en

doute que les effets rapportés soient reproductibles ou dépendent directement du programme d'entraînement tel que décrit, plutôt que d'autres facteurs non identifiés par les auteurs de l'étude originale.

## 1.2 Trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

Le TDAH est un diagnostic médical attribué à des personnes chez qui l'on observe des difficultés sévères prenant la forme d'inattention, d'hyperactivité et d'impulsivité, inappropriées à leur niveau de développement et causant des difficultés d'adaptation à la maison, à l'école ou au travail. Le TDAH est une condition médicale accablante, susceptible de causer du tort à la personne qui en est atteinte. On trouve en effet des taux de morbidité et de mortalité plus élevés chez les personnes atteintes du TDAH par rapport à l'ensemble de la population, ainsi que de nombreuses difficultés dans les activités majeures de la vie comme l'éducation, les relations sociales, le fonctionnement familial, l'indépendance, l'autosuffisance et l'exercice d'un métier (Barkley et al., 2002).

### 1.2.1 Profil clinique et concepts cognitifs

Différentes approches ont été employées pour mieux comprendre le TDAH. Plusieurs chercheurs ont tenté d'identifier les symptômes cliniques du TDAH pour les relier aux concepts cognitifs correspondants et à leurs circuits cérébraux sous-jacents. Par exemple, Swanson et al. (1998) ont utilisé la théorie de l'attention de Posner et Raichle (1994), et ont testé plusieurs hypothèses spécifiques relatives à la neuropsychologie, la neuroanatomie, la neurochimie, la neuropharmacologie et la biologie moléculaire du TDAH. Swanson et al. (2004) ont toutefois trouvé un manque général de correspondance entre les concepts cliniques du TDAH et du désordre hyperkinétique (DHK) et les concepts cognitifs de déficits de l'attention. Selon ces auteurs, cela s'expliquerait par des différences importantes entre les définitions des concepts cliniques et les définitions des concepts cognitifs de l'attention. En effet, l'attention est un phénomène complexe et de nombreuses définitions différentes existent pour la définir (James, 1890; Posner et Boies, 1971; Posner et Rafal, 1987; Van Zomeren et Brouwer, 1994).

Sur le plan des modèles théoriques portant sur le TDAH, actuellement et depuis plusieurs années, l'un des modèles prédominants concernant le TDAH est le modèle de Barkley. Dans son modèle d'autocontrôle appliqué au TDAH, Barkley (1997a) explique le trouble par le biais de six composantes, toutes problématiques. C'est à partir de l'inhibition comportementale, la première composante du modèle, que les difficultés débutent, car il s'agit du fondement duquel dépendent quatre composantes, plus précisément quatre fonctions exécutives (FEs). Ces dernières agissent en contrôlant les comportements par des représentations internes de l'information et exercent un contrôle sur la dernière composante du modèle, constituée par le contrôle moteur et le système exécutant.

Selon Barkley (2006), l'inhibition comportementale réfère à trois processus interreliés. Un premier processus est l'inhibition de la réponse préprogrammée à un événement. Un second processus est l'arrêt d'une réponse ou du patron de réponses en cours, ce qui permet un délai dans la décision de répondre ou de continuer à répondre. Un troisième processus, communément appelé le contrôle de l'interférence, protège le délai du second processus et les réponses autodirigées qui surviennent durant ce temps, de la perturbation par des événements et des réponses compétitives, le cas échéant. Ensemble, ces différentes formes d'inhibition permettent l'action des fonctions exécutives et les protègent de l'interférence.

Les quatre FEs sont la mémoire de travail non verbale (MTNV), la mémoire de travail verbale, l'auto-régulation de l'affect, de la motivation et de la vigilance, et la reconstitution. Barkley (2006) définit la MTNV comme l'internalisation des activités sensori-motrices; la mémoire de travail verbale comme l'internalisation du langage; l'auto-régulation de l'affect, la motivation et la vigilance comme une conséquence de la privatisation des émotions et motivations; et la reconstitution comme l'internalisation du jeu. Pour Barkley, ces quatre FEs sont interreliées lorsqu'elles surviennent dans un milieu naturel et ont pour objectif commun d'internaliser le comportement afin d'anticiper le changement et l'avenir.

Enfin, il émet l'hypothèse que les FEs et les comportements de planification et d'anticipation du futur qu'elles permettent, ne surviennent pas simultanément dans le développement humain mais en étapes de développement au cours de la maturation, d'après une séquence prédéterminée. Barkley suppose que l'inhibition comportementale se développe d'abord et que la MTNV apparaît quasi simultanément. Le commencement de

l'internalisation de l'affect et celui de la motivation surviennent ensuite, et sont suivis de près par l'internalisation du langage. Enfin, l'internalisation du jeu se développe. Bien que cette séquence ne soit pour lui qu'une hypothèse, il est certain que l'inhibition et la MTNV sont les premières composantes de son modèle à s'installer au cours du développement de l'enfant (Barkley, 1997a, 1997b).

Barkley (2006) définit la MTNV comme la capacité de retenir des événements à l'esprit, de manipuler ou agir sur les représentations de ces événements, d'imiter des séquences de comportements complexes, de réactiver des événements sensoriels passés et de prolonger leur existence durant un délai, de réactiver un patron de réponses motrices associé avec ces événements passés, d'amorcer un ensemble de réponses motrices dirigées vers un but duquel émerge une conscience de soi-même, un sens du temps et des durées temporaires, d'organiser le comportement dans le temps et enfin, de permettre à l'individu de développer un comportement non verbal encadré par des règles.

Par rapport aux autres fonctions exécutives du modèle, la MTNV est la plus importante en raison de l'influence qu'elle a sur le développement des autres fonctions. En plus d'être la première à apparaître au cours du développement, la MTNV influence directement, avec l'internalisation du langage, l'émergence de la régulation de l'affect, de la motivation et de la vigilance (Barkley, 2006). Et puisque l'ensemble des fonctions exécutives mentionnées ici est nécessaire à l'émergence de la reconstitution, cela fait de la MTNV une fonction exécutive clé en ce qui concerne l'influence qu'elle exerce sur le comportement de l'individu.

Westerberg et al. (2004) se sont intéressés aux tests de MTVS en lien avec leur capacité à discriminer des enfants sains de ceux atteints du TDAH. Dans un premier temps, ils ont comparé une épreuve de MTVS, une épreuve de temps de réaction à choisir, une tâche de performance continue et une épreuve de Go/NoGo. Avec un groupe de 23 enfants dont 11 atteints du TDAH, ils ont obtenu des différences de groupes significatives pour les tâches de temps de réaction avec choix et de MTVS seulement. Par la suite, 80 garçons, âgés entre 8 et 15 ans, ont été ajoutés à l'échantillon initial, incluant 27 atteints du TDAH. Pour cette étude, seules les épreuves de MTVS et de temps de réaction avec choix ont été utilisées. Encore une fois, les deux tests montrent des résultats significatifs pour distinguer les deux groupes. Une interaction est aussi présente et significative entre les groupes en fonction de l'âge, les tests



distinguant davantage les groupes quand les enfants sont plus âgés. Ainsi, l'épreuve de MTVS est celle qui distingue le mieux les enfants atteints du TDAH des enfants contrôles, ce qui justifie qu'on cible ici ce groupe pour documenter l'utilité de programme d'entraînement que vise à valider les présents travaux.

### 1.3 Mémoire de travail visuo-spatiale

Le terme mémoire de travail (MT) est un concept qui comporte plusieurs définitions différentes selon le domaine d'étude concerné. En effet, le terme mémoire de travail est utilisé tant en neurosciences comportementales avec l'étude du comportement animal qu'en psychologie cognitive (Miyake et Shah, 1999). Dans le dernier cas, il existe plusieurs modèles qui ont leur propre définition. Lorsqu'ils ont publié leur modèle en 1974, Baddeley et Hitch ont défini la mémoire de travail comme la représentation d'un système cognitif de capacité limitée qui a pour fonction de retenir l'information à l'esprit, de l'internaliser et de l'utiliser pour guider le comportement sans recourir à aucune aide extérieure. La MT joue un rôle important lorsqu'il s'agit d'apprendre, de comprendre l'information et d'y réfléchir (Baddeley, 1986). D'après la taxonomie de Posner (2004), la MT est un type d'attention qui implique de rester sur la tâche, en ayant pour objectif d'exécuter une tâche sans être distrait par d'autres buts. Ce type d'attention implique les processus de contrôle exécutif de la MT et inclut les processus d'inhibition du comportement inappropriés dont discute Barkley (1997a).

Le modèle de la MT le plus influent est celui de Baddeley (1986). Les études ayant permis à Baddeley de développer son modèle s'appuient sur la capacité limitée du système, aussi appelée empan mnémonique (Miller, 1956). La structure du modèle tripartite de la MT de Baddeley et Hitch comprend deux sous-systèmes opérés par un système exécutif de capacité limitée (Baddeley, 1986, 1992). Les deux sous-systèmes, la boucle articulatoire et le calepin visuo-spatial, qui traitent respectivement l'information verbale et visuo-spatiale, ont un rôle de rétention temporaire et de manipulation du matériel, tandis que l'exécuteur central est responsable du contrôle attentionnel de la MT (Baddeley, 1996).

En 2000, Baddeley a ajouté une quatrième composante à son modèle, le tampon (« buffer ») épisodique. Ce dernier sous-système a pour rôle de faire le lien entre l'exécuteur central et la mémoire à long terme. Les deux premiers sous-systèmes, la boucle articulatoire

et le calepin visuo-spatial, sont les systèmes auxquels on réfère lorsque l'on parle de la mémoire de travail verbale et de la mémoire de travail visuo-spatiale (MTVS), ou encore non verbale (MTNV). Baddeley (1993) croit que le terme mémoire de travail concerne l'attention et la coordination plutôt que la simple rétention en mémoire. Dans la documentation, lorsque les études font appel à la MT, directement ou indirectement, des tâches complexes sont souvent utilisées. Or, ces dernières font intervenir à la fois les buffers (mémoire tampon verbale, visuo-spatiale et épisodique), les mécanismes de répétition verbale et visuo-spatiale, ainsi que l'exécuteur central.

#### 1.4 Entraînements de la MTVS chez des enfants atteints du TDAH

En 2002, Klingberg, Forssberg et Westerberg ont entraîné la mémoire de travail des enfants atteints du TDAH, plutôt que l'attention, telle qu'entraînée traditionnellement dans le domaine de la réadaptation et du TDAH jusqu'alors. Les participants ont tous été diagnostiqués par un médecin. Ils ont été répartis en deux groupes, un groupe qui a reçu le traitement expérimental, un entraînement de la mémoire de travail, tandis que le groupe contrôle a reçu un entraînement semblable, mais de moindre intensité, de manière à réduire considérablement la charge de travail dans la mémoire de travail des participants. Tous les autres paramètres de l'entraînement étaient les mêmes pour les deux groupes. L'entraînement consistait en quatre tâches, soit une tâche de MTVS, une tâche d'empan de chiffre inversé, une tâche d'empan de lettre et une tâche de temps de réaction qui s'apparente à une tâche de type Go-No Go. Les groupes ne différaient pas selon les mesures prises avant l'entraînement, soit à une tâche de MTVS, une épreuve d'empan spatial, la tâche de Stroop, les matrices progressives de Raven en couleur et une tâche de temps de réaction. Tous ces tests ont montré ultérieurement une mesure statistiquement significative en faveur du groupe expérimental. De plus, une mesure des mouvements de la tête, visant à donner une mesure quantitative de l'hyperactivité des enfants, a aussi montré des résultats significatifs en faveur du groupe expérimental. La durabilité de l'effet à long terme n'a toutefois pas été mesurée, ni les conséquences fonctionnelles sur le quotidien des enfants (au delà des matrices de Raven, items impairs et pairs utilisés aux temps différents).



En 2005, Klingberg et al. reprennent l'étude précédente (2002) en entraînant la mémoire de travail d'enfants atteints du TDAH mais cette fois, l'entraînement a lieu à la maison ou à l'école plutôt que dans un centre hospitalier. Il est d'une plus longue durée (environ 15 minutes de plus) par séance et les mesures sont reprises trois mois après la fin de l'entraînement et cela, pour chaque enfant. Quatre mesures neuropsychologiques ont été prises, soit une épreuve d'empan spatial, une épreuve d'empan de chiffres, le test de Stroop et les matrices progressives colorées de Raven. À cela, des questionnaires Conners pour parents et enseignants ont été ajoutés. La mesure des mouvements de la tête a aussi été reprise lors de cette étude. Lors du traitement, le degré de difficulté du groupe expérimental est ajusté automatiquement à chaque essai en fonction de la performance du participant, de manière à concorder avec l'empan du participant. Pour le groupe contrôle, le degré de difficulté demeure faible et stable. Les médecins, psychologues, parents et enfants ignoraient si un enfant faisait partie du groupe expérimental ou du groupe contrôle. Deux séries de mesures ont été prises après l'intervention, soit immédiatement après la fin du traitement et trois mois plus tard. Toutes les mesures cognitives sont significatives soit, l'empan spatial, l'empan de chiffres, le Stroop et les matrices de Raven, ainsi que le questionnaire Conners dans sa version pour parents. Les mouvements de la tête et les questionnaires Conners, version pour enseignants, ne sont pas significatifs. Lors du suivi, trois mois plus tard, toutes les épreuves cognitives demeurent significatives, ainsi que le questionnaire Conners, version pour parents. Le programme d'entraînement de Klingberg comportait quatre tâches dont une seule consistait en une tâche de MTVS.

Holmes, Gathercole et Dunning (2009) et Holmes et al. (2010) ont tenté de répliquer les résultats de Klingberg (2002, 2005), à l'aide d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail dérivé de celui de Klingberg, le Cogmed Working Memory Training (2006) et ont obtenu des résultats significatifs à leurs deux études. Une première étude visait à comparer un entraînement de la mémoire de travail où le niveau de difficulté des tâches est adapté aux capacités cognitives de l'enfant avec un autre entraînement où le niveau de difficulté des tâches n'est pas continuellement adapté au cours de l'entraînement, alors qu'une deuxième étude comparait l'entraînement à une médication psychostimulante.

Lors de la première étude, 22 enfants ont participé à un entraînement adapté à leurs capacités cognitives et 20 autres enfants ont participé à un entraînement facile non adapté. Tous les enfants se situaient sous ou au niveau du 15<sup>e</sup> percentile lors de deux épreuves de mémoire de travail verbale, une épreuve d'empan de chiffres à l'endroit et à rebours. Les entraînements ont eu lieu à l'école des enfants. Des écoles différentes ont été recrutées pour les deux différents programmes d'entraînement. Tous les enfants ont été évalués à l'aide du Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI, Wechsler, 1999), d'une épreuve de lecture de base (WORD, Wechsler, 1993), d'une épreuve de raisonnement mathématique (WOND, Wechsler, 1996) et de sept tests de la batterie Automated working memory assessment (AWMA, Alloway, 2007) avant et après l'entraînement; ceux qui ont participé au programme adapté ont aussi été évalués six mois après la fin de l'entraînement. L'entraînement consistait en une variété de huit tâches de mémoire de travail verbale ou visuo-spatiale à l'ordinateur. Les enfants s'entraînaient durant environ 35 minutes durant 20 jours sur une période de cinq à sept semaines. Des éléments de motivation sont aussi présents tels qu'un feedback verbal positif, un tableau illustrant les meilleures performances de l'enfant et une récompense sous la forme de jeu vidéo standard, sans utilisation particulière de la mémoire de travail. Les enfants qui participaient au programme adapté ont montré des améliorations sur tous les aspects de mémoire de travail, tandis que le groupe d'enfants qui ont participé au programme non adapté ont montré des améliorations seulement sur les aspects verbaux (mémoire de travail et mémoire à court terme).

Dans la deuxième étude de Holmes et al. (2010), 25 enfants ayant reçu un diagnostic de TDAH et qui prenaient une médication psychostimulante ont participé à l'étude. Les douze tests de la batterie d'évaluation de la mémoire de travail AWMA (Alloway, 2007) ont été administrés à quatre reprises (pré-tests avec et sans médication, post-test sans médication immédiatement et six mois après l'entraînement), en plus d'une échelle d'intelligence abrégée WASI (Wechsler, 1999). Chaque enfant a participé à 20-25 sessions d'entraînement qui ont eu lieu à l'école sur une période de six à 10 semaines. L'entraînement consistait en une collection de huit tâches de mémoire de travail verbale ou visuo-spatiale à l'ordinateur. Des éléments de motivation et de renforcement positif étaient aussi présents. Les enfants ont montré des améliorations statistiquement significatives sur les quatre aspects de la mémoire de travail ayant été mesurés. Un effet d'interaction significatif est présent entre

l'entraînement et les quatre aspects de la mémoire de travail mesurés; la mémoire à court terme visuo-spatiale s'étant significativement plus améliorée que les trois autres aspects de la mémoire de travail ayant été mesurés. Dans l'ensemble, les tailles d'effet montrent que l'entraînement permet de plus grandes améliorations lorsqu'elle est utilisée en concomitance avec la médication, que la médication employée seule. Les effets d'entraînement demeurent présents pour trois des quatre composantes de mémoire de travail et cela, six mois après la fin de l'entraînement.

Les premiers travaux d'entraînement cognitif effectués dans le domaine de la réadaptation cognitive, les liens étroits qui prévalent entre la MTVS et le TDAH, ainsi que les programmes d'entraînement cognitif qui ont démontrés des améliorations cognitives significatives et cela, davantage sur des fonctions attentionnelles et malgré la présence de certains revers méthodologiques, ont permis d'orienter l'objectif de la présente recherche doctorale vers le domaine de l'entraînement de la MTVS chez les enfants atteints du TDAH. De plus, les quelques études plus récentes présentées, montrent bien la pertinence du sujet de recherche choisi.

### 1.5 Approche générale et fondements d'un nouveau programme d'entraînement de la MTVS

La conception de la présente recherche doctorale a débuté en 2000, alors que seulement quelques études, souvent critiquées, avaient été publiées et donc, avant la publication de plusieurs études majeures rapportées précédemment.

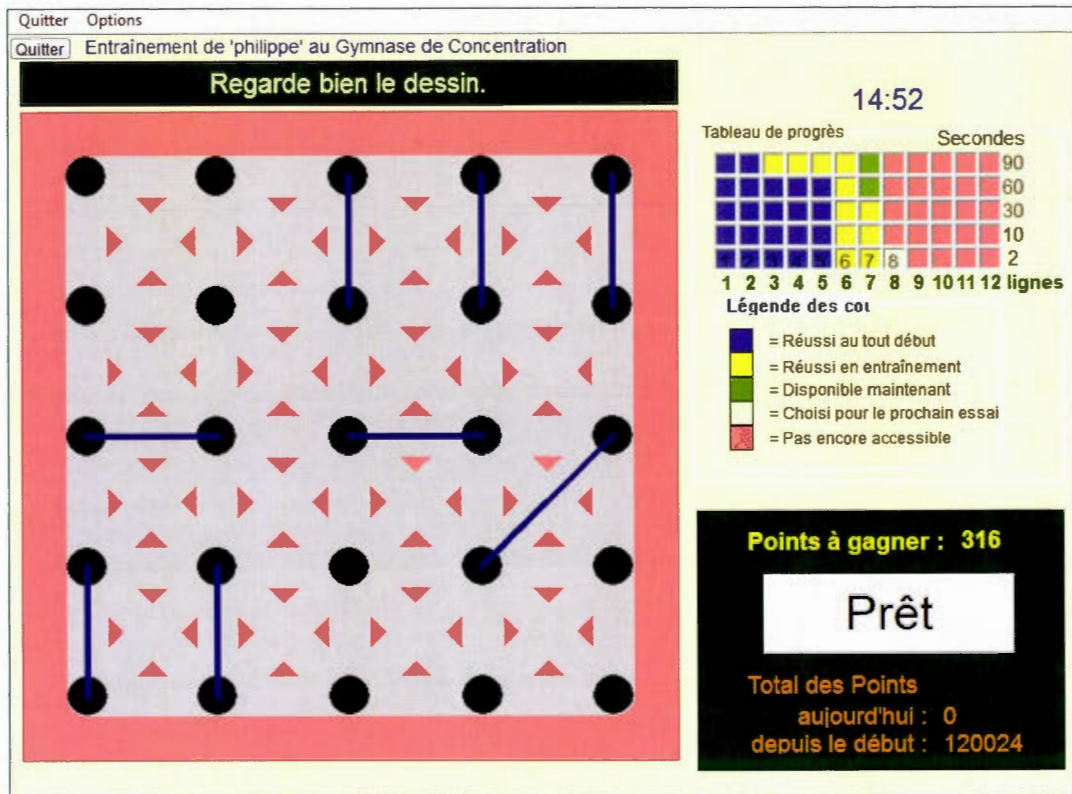
Dans le contexte où la MTNV semble représenter les fondements du modèle de Barkley portant sur le TDAH (2006), l'objectif principal de la présente recherche doctorale est de vérifier l'effet d'un entraînement qui utiliserait seulement une tâche de MTVS, adaptée aux capacités des participants, sur la performance à des épreuves cognitives de généralisation, chez des enfants atteints du TDAH. Pour encourager la collaboration des participants à l'entraînement et l'application aux apprentissages de l'augmentation des capacités de MTVS, le cas échéant, le contexte scolaire et son personnel paraissent tout indiqués pour être le siège des entraînements. En effet, l'intégration du programme d'entraînement dans l'environnement de l'enfant favorise le transfert ultérieur des apprentissages, le cas échéant. De plus, le personnel scolaire connaît bien l'enfant et ses caractéristiques particulières en



matière d'apprentissage. Ainsi, il est le mieux placé pour savoir comment présenter et introduire le programme d'entraînement d'une façon qui saura être comprise par les participants atteints de TDAH, qui peuvent parfois avoir des besoins particuliers lorsqu'il est temps d'apprendre.

L'activité « Les petits points », du Programme d'éducation de l'attention d'une collègue (Chevalier, 2000), a su être une source d'inspiration pour le développement d'un programme d'entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale. Son programme est basé sur la motricité et la sensibilisation des jeunes enfants aux dimensions de l'attention qui, malgré certains aspects intéressants, n'a pas obtenu par la suite les résultats escomptés. L'activité « Les petits points » est une tâche de nature visuo-spatiale, qui se prête bien à l'informatisation et qui est appréciée des enfants. Elle a donc été choisie, modifiée et informatisée pour être utilisée en vue d'un entraînement de la MTVS chez les enfants. Les éléments de l'activité « Les petits points » qui ont été retenus pour la nouvelle tâche modifiée sont la disposition des points de la grille (quatre lignes horizontales de quatre points, disposées les unes en dessous des autres, de manière à former une grille carrée de quatre points par quatre points), ainsi que l'idée de relier les points par des lignes et d'utiliser ces lignes entre points adjacents comme stimuli à mémoriser. Le nom Gymnase de concentration est donné au programme d'entraînement qui utilise cette nouvelle tâche modifiée (voir figure 1.1).

Dans l'objectif d'organiser la tâche de sorte que plusieurs niveaux de difficultés soient disponibles au cours de l'entraînement, le nombre de lignes présentées peut varier et être ajusté avant de débiter, en fonction des capacités initiales de chaque participant, et durant l'entraînement, en fonction de l'amélioration démontrée. Lorsque le nombre de lignes à présenter devient trop grand pour la capacité de la grille, les dimensions de la grille sont automatiquement agrandies. La grille peut alors être constituée de cinq lignes de cinq points. La grille originale de quatre points par quatre points peut contenir un maximum de sept lignes toutes disjointes.



**Figure 1.1** Exemple d'une interface graphique du programme d'évaluation et d'entraînement Gymnase. Ici, pour huit lignes disjointes, la grille de 4 x 4 a été remplacée par une grille 5 x 5. Les petits triangles roses donnent la largeur des corridors dans lesquels les lignes entre points adjacents doivent être dessinées à l'aide de la souris d'ordinateur.

Compte tenu du grand nombre de stimuli pouvant être requis au cours d'un entraînement se déroulant sur plusieurs semaines, la génération aléatoire des lignes a rapidement été envisagée puis adoptée pour générer les stimuli à mémoriser qui soient aussi diversifiés que possible.

Les stimuli du programme Gymnase sont présentés de façon simultanée plutôt que séquentielle, étant donné le léger avantage que semble présenter ce mode de présentation (Lecerf, 1998; Zimmer, Speiser, et Seidler 2003). De plus, la durée de présentation des stimuli (voir plus loin) de ce mode de présentation permet aux participants une plus grande liberté d'action sur le plan des stratégies personnelles d'encodage et de planification de la réponse motrice, pour favoriser un meilleur encodage de façon à être en mesure de reproduire

le patron de lignes après un délai. La mise en œuvre des processus exécutifs faisant appel à des stratégies mnémoniques qui nécessitent le déploiement d'un effort de mobilisation des ressources afin d'utiliser efficacement les stratégies devrait favoriser la réussite des essais lors de l'entraînement.

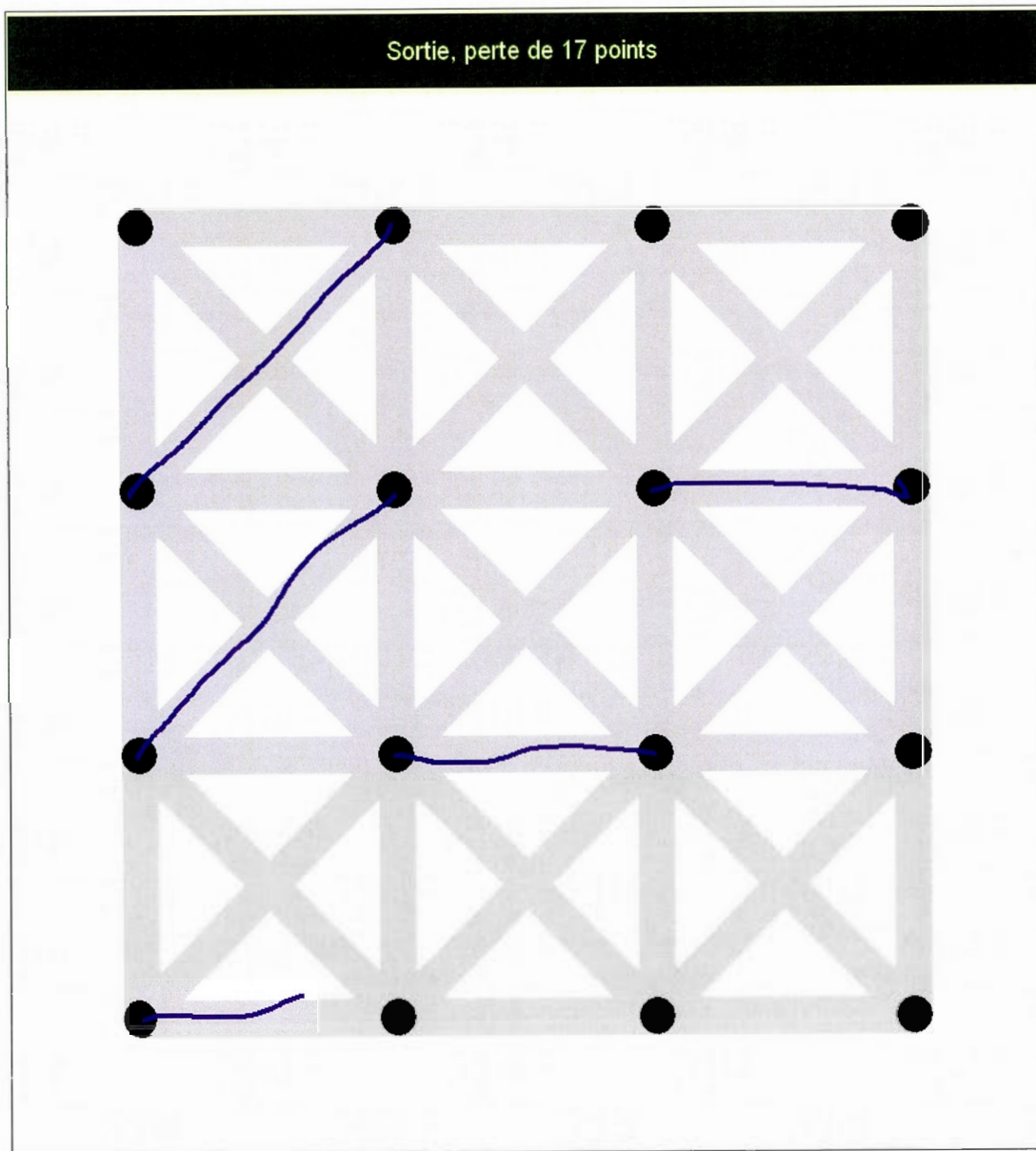
Dans le contexte d'un entraînement de la MTVS qui vise à favoriser son développement chez des enfants TDAH, l'ajout, au traitement plus automatique et perceptuel des stimuli visuo-spatiaux, d'un traitement des stimuli exigeant un effort cognitif et l'élaboration d'une stratégie d'encodage a été recherché. Durant l'entraînement des participants, un temps de présentation des problèmes minimal de cinq secondes est instauré pour limiter l'impulsivité motrice des participants qui ont un TDAH et leur permettre d'observer le problème présenté suffisamment pour être en mesure de tenter de créer mentalement un ou plusieurs liens entre les stimuli et si possible, d'élaborer une stratégie personnelle pour favoriser l'encodage des stimuli. L'âge des participants, ainsi que la problématique du TDAH dont ils sont atteints, favorisent une tendance vers une action immédiate et spontanée, ce qui limiterait les participants à mettre sur pied une stratégie d'encodage efficace. Aucune période maximale de temps d'observation des lignes à reproduire n'est imposée pour ne pas occasionner de stress aux participants qui auraient besoin de plus de temps pour créer des liens et élaborer des stratégies pour encoder les stimuli en mémoire. Dans ce cas, la disparition des stimuli pourrait être une source de frustration chez les participants qui seraient en train de créer des liens entre les stimuli afin de mieux les retenir en mémoire. Le traitement non automatique de la tâche visuo-spatiale devrait permettre aux participants de mieux performer (Naveh-Benjamin, 1987, 1988).

Bien que l'on s'entende généralement sur le fait que la mémoire de travail permette de retenir temporairement l'information en mémoire, la durée du maintien en mémoire demeure un sujet controversé encore aujourd'hui. Des facteurs confondants tels que la réactivation de l'information en mémoire, l'influence de la mémoire à long terme et l'encodage d'un contexte au moment de la présentation de l'information auraient tous une certaine influence sur la durée de la rétention de l'information en mémoire de travail (Cowan, 2008). Une durée minimale de deux secondes a été choisie. Toutefois, compte tenu de l'objectif des entraînements qui consistent à augmenter graduellement la capacité des participants à résister



à l'interférence présente dans un contexte de classe, des durées de 10, 30, 60 et 90 secondes sont aussi présentes. L'augmentation graduelle des durées de rétention en mémoire des stimuli permet aux participants de s'exercer à résister à l'interférence, quelle qu'en soit la source, pour des périodes de temps plus longues, bien que ces périodes demeurent bien en deçà des exigences d'un contexte de classe.

Lorsque le délai de rétention en mémoire est écoulé, le rappel libre de l'orientation (verticale, horizontale et diagonale montant vers la droite et la gauche) et de l'emplacement des stimuli en mémoire doit être exprimé par le biais d'une réponse motrice par le participant qui doit dessiner sur la grille de points les lignes à l'aide de la souris de l'ordinateur en prenant soin de ne pas dépasser un corridor de couleur gris de largeur égale au diamètre des points de la grille. Bien qu'une réponse sous la forme de reconnaissance soit favorable pour une évaluation plus juste de l'encodage en mémoire, compte tenu qu'elle réduise l'effet d'interférence causée par l'émission de la réponse motrice nécessitant un niveau de précision minimal (voir figure 1.2), une réponse en rappel libre semble être un meilleur choix dans le contexte d'un entraînement ayant lieu chez des enfants qui ont un TDAH. L'objectif de l'entraînement est d'abord de favoriser la pratique de plusieurs exercices de MTVS et cela, bien que l'on doive vérifier l'exactitude du rappel à chaque essai. L'interférence, causée par l'émission de la réponse motrice, permet en plus à l'enfant d'entraîner sa capacité de résister aux distractions. De plus, le rappel libre est plus exigeant, puisque le participant doit encoder tous les éléments pour réussir l'essai et il est plus représentatif de l'effort fourni puisque seuls les éléments ayant été encodés correctement peuvent être réussis. Dans ce contexte, un participant ne peut que très peu, par simple hasard, reproduire des éléments qui n'ont pas été encodés, tel que cela peut se produire lorsque la reconnaissance de la réponse par le participant, parmi un choix de réponses, est employée pour émettre une réponse. Enfin, en leur permettant d'être plus actifs physiquement, l'émission d'une réponse motrice peut répondre minimalement à un besoin de bouger chez certains d'entre eux, même si ce n'est que durant une courte période de temps à chaque essai, et favorise ainsi le maintien de l'intérêt pour l'ensemble de la tâche et de l'entraînement qui se déroule sur plusieurs semaines.



**Figure 1.2** Exemple d'une interface graphique du programme d'entraînement Gymnase où l'un des tracés dépasse un corridor gris, ce qui est signalé au participant et lui coûte des points.

## 1.6 Objectifs

L'objectif principal de la thèse est de vérifier la modification de performance, sur les épreuves de généralisation, pour les enfants ayant bénéficié d'un entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale, à l'aide du programme Gymnase, en comparaison avec les enfants qui étaient dans l'attente d'un même entraînement. Puisque le projet Gymnase est de nature exploratoire et qu'aucune donnée ne peut appuyer les possibles effets bénéfiques du programme d'entraînement pour le moment, pour des raisons éthiques, la présence d'un groupe placebo pour l'étude a été jugée prématurée à ce stade du projet.

Par ailleurs, la présence d'un groupe contrôle est incontournable pour contrôler d'éventuelles améliorations sur des épreuves de généralisations suite à l'entraînement, qui pourraient être le fruit d'effets de maturation développementale ou d'effet de pratique en raison d'administrations multiples des épreuves de généralisation.

L'objectif secondaire est de vérifier si l'on observe des performances différentes aux épreuves de généralisation, pour les enfants ayant bénéficié d'un entraînement plus intensif au programme Gymnase. Dans le domaine de la remédiation cognitive, les fréquences et les durées utilisées pour les séances d'entraînement diffèrent selon les études puisqu'aucun consensus n'existe pour le moment à ce sujet. La présente étude permettait de vérifier, dans une certaine mesure, l'effet de l'intensité de l'entraînement.

## 1.7 Hypothèse

Chez des enfants TDAH d'âge scolaire, après un entraînement de la mémoire de travail visuo-spatiale, à l'aide du programme Gymnase d'une durée de sept ou de dix semaines à une fréquence de trois ou de deux fois par semaine respectivement, les mesures de la MTVS et d'épreuves neuropsychologiques seront davantage améliorées, par rapport aux mêmes mesures prises avant l'entraînement, chez les enfants entraînés que dans un groupe contrôle sans entraînement mais initialement équivalent (voir Tableau 2.2 pour une description des diverses épreuves cognitives).

## 1.8 Devis

Le devis employé est un devis expérimental classique, inter-sujets, où les participants sont assignés au hasard aux groupes expérimental et contrôle. À cela s'ajoute une dimension factorielle où chacun des deux groupes est subdivisé en deux sous-groupes. Le groupe expérimental comprend un premier sous-groupe dont la fréquence et la durée de l'entraînement est de deux entraînements par semaine durant 10 semaines, alors que le deuxième sous-groupe s'entraîne trois fois par semaine durant 7 semaines. Au total, ces deux sous-groupes reçoivent 20 séances d'entraînement, le deuxième sous-groupe ne recevant que deux séances lors de la 7<sup>e</sup> semaine. Quant au groupe contrôle, il comprend aussi deux sous-groupes dont seule la durée de l'attente diffère, de manière à concorder avec la durée de l'entraînement du groupe expérimental.

Pour des motifs éthiques et éviter de léser les enfants du groupe contrôle dans l'éventualité où l'entraînement au Gymnase serait bénéfique aux enfants, le groupe contrôle sera entraîné dans un deuxième temps, lorsque l'entraînement du groupe expérimental sera terminé et que tous les enfants auront été réévalués une seconde fois; le groupe contrôle constituera ainsi un groupe en attente d'un entraînement.

Enfin, des séries de temps équivalentes sont utilisées pour procéder aux entraînements du groupe expérimental et du groupe en liste d'attente. Compte tenu de la lourdeur du processus d'évaluation initial pour qu'un enfant soit admis dans l'étude, ainsi que du temps qui y est accordé, il peut s'écouler plusieurs semaines, voire plusieurs mois, entre le moment où un enfant est prêt à s'entraîner au Gymnase ou à commencer la période d'attente équivalente, et celui où un autre enfant est prêt aussi. Ainsi, aussitôt qu'un enfant a terminé le processus d'évaluation initial, il est assigné à l'un des quatre sous-groupes. Pour éviter que les périodes de l'année soient différentes d'un sous-groupe à l'autre (ex. automne, hiver, printemps), les enfants sont assignés à un sous-groupe différent, de façon à ce que les sous-groupes comportent un nombre équivalent de participants, à mesure que l'étude se déroule, du moins, à chaque fois que quatre enfants ont terminé le processus d'évaluation initial.

## CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

Suite à une rencontre du Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CIÉR) qui a eu lieu en mai 2003, le présent projet de recherche, qui avait été soumis pour approbation par le Comité, a été accepté.

#### 2.1 Participants

Dans un premier temps, des orthopédagogues sont contactées pour leur présenter le projet Gymnase et connaître leur intérêt à y participer. Les directions d'école des orthopédagogues intéressées sont ensuite contactées à leur tour pour leur présenter le projet Gymnase et obtenir leur accord pour l'implantation du projet dans leur école. Par la suite, les orthopédagogues doivent identifier des élèves qu'elles croient susceptibles d'être atteints d'un TDAH.

La participation à l'étude s'effectue sur une base volontaire de la part des parents des élèves, à partir d'informations communiquées lors d'une rencontre relative à la présente étude. Dans l'ordre de réception des formulaires de consentement pour participer à l'étude, les enfants sont invités à rencontrer un pédopsychiatre, spécialiste du TDAH attaché à ce projet mené en collaboration avec la Clinique des troubles de l'attention (CTA) à l'Hôpital Rivière-des-Prairies. Les enfants sélectionnés pour participer à l'étude sont ceux qui reçoivent un diagnostic de TDAH par le pédopsychiatre, qui n'ont aucune autre problématique de santé mentale nécessitant des soins particuliers immédiatement, et à qui le pédopsychiatre peut recommander une participation au projet Gymnase.



La prise de médication est variable d'un enfant à l'autre. En effet, certains prennent déjà une médication psychostimulante, prescrite par un omnipraticien, avant l'évaluation à la CTA, alors que ce n'est pas le cas pour d'autres. Plusieurs parents sont inquiets à l'idée d'administrer une médication psychostimulante à leur enfant. Ainsi, bien qu'un enfant reçoive un diagnostic de TDAH et une prescription relative à une médication psychostimulante d'un médecin (omnipraticien, pédopsychiatre, pédiatre), ils ont le droit de refuser de l'administrer à leur enfant. La décision définitive de donner une médication à un enfant revient aux parents, influencés par le personnel de son école, les recommandations des médecins de l'enfant (omnipraticien, pédopsychiatre, pédiatre), ainsi que par leur enfant lui-même (comportement, humeur, effets secondaires, etc.). Pour les raisons citées précédemment, plusieurs parents peuvent aussi décider de retirer la médication de leur enfant. *A priori*, tous les enfants devaient être évalués sans avoir pris de médication psychostimulante au préalable et cela, pour faciliter la comparaison des performances lors des analyses statistiques ultérieurement.

Les participants sont des enfants d'âge scolaire élémentaire qui sont recrutés dans différentes écoles. Considérant que la taille d'effet doit être importante pour justifier l'implantation ultérieure du programme dans des écoles, le projet visait une vingtaine de participants. Au total, 18 enfants participent finalement à l'étude dont deux filles et 16 garçons. Un garçon est exclu des analyses dû à un manque majeur de collaboration lors d'une évaluation. Il faisait partie du groupe expérimental où l'entraînement se déroulait sur 10 semaines. La moyenne d'âge de ceux qui restent est de 9 ans 4 mois, variant de 6 ans 9 mois à 12 ans 6 mois. Ils sont recrutés dans des écoles primaires de la région de la Montérégie, plus particulièrement des commissions scolaires des Grandes-Seigneuries et des Hautes-Rivières.

## 2.2 Environnement

L'étude se tient dans des locaux de l'Université du Québec à Montréal pour la majorité des entrevues avec les parents et l'administration des épreuves cognitives aux participants. Les évaluations pédopsychiatriques ont lieu à la CTA. Enfin, les évaluations et entraînements du projet Gymnase ont lieu aux écoles respectives des enfants qui participent à l'étude.

### 2.3 Programme d'entraînement Gymnase

Le Gymnase consiste en une application informatique programmée par André Achim, Ph.D., qui comprend deux modes différents : le mode évaluation et le mode entraînement. Le mode entraînement est le mode principal, celui sur lequel est basée cette étude. Il s'agit d'un entraînement cognitif où le participant doit d'abord choisir le niveau de difficulté qu'il désire, lorsque cela est possible, puis observer un patron de stimuli jusqu'à ce qu'il se sente prêt à le retenir durant le temps choisi, de façon à pouvoir le reproduire lorsque le délai sera écoulé.

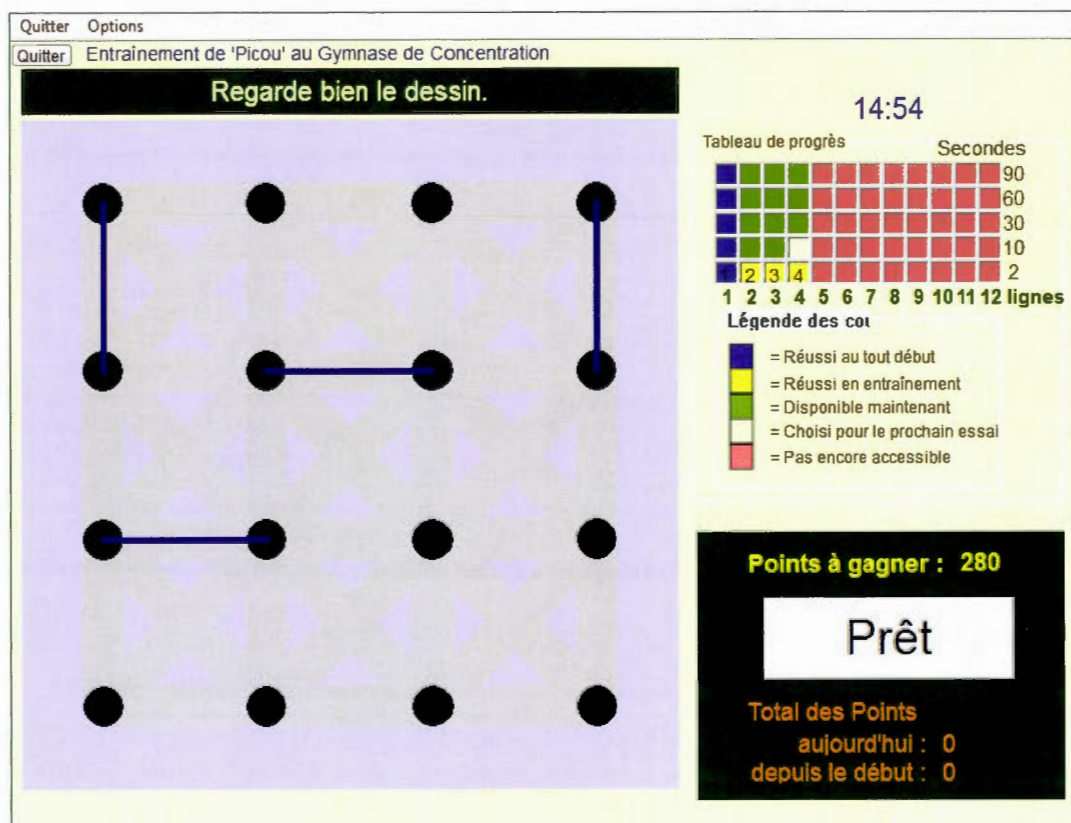
Un niveau consiste à un nombre de lignes donné et à un temps de rétention en mémoire de travail donné (voir figure 2.1). Pour le temps de rétention en mémoire de travail de deux secondes, des niveaux préliminaires sont présents. Pour les temps plus longs, seuls des patrons plus difficiles de lignes toutes disjointes sont à mémoriser. Ces niveaux préliminaires ont pour objectif une augmentation graduelle du niveau de difficulté de la tâche en regroupant quelques-unes ou toutes les lignes d'un niveau donné. Pour quatre segments, par exemple, on commence par quatre segments bout à bout formant un seul groupe, puis on passe à deux puis trois groupes indépendants (ne partageant pas de points à leurs extrémités). Ainsi, pour un nombre de lignes donné ( $x$ ), il existe  $x-1$  nombre de niveaux préliminaires ou nombre de groupes de lignes possibles. Un niveau est réussi lorsque trois problèmes consécutifs sont réussis à un même niveau. Les niveaux sont ordonnés de façon à augmenter graduellement la difficulté de la tâche. La difficulté de la tâche croît avec l'augmentation du nombre de lignes présentées et du temps de rétention en mémoire.

Au cours de leur entraînement, les participants ont la liberté de choisir le niveau auquel ils désirent s'entraîner au cours d'une séance. Toutefois, tous les niveaux ne peuvent être choisis par le participant pour s'entraîner mais seulement quelques-uns sélectionnés par le programme Gymnase en fonction de certaines règles. Pour aider le participant à progresser au cours de son entraînement, les niveaux réussis par le participant lors de l'évaluation initiale à la tâche d'entraînement ou lors de l'entraînement, ne peuvent être choisis. Il en est de même pour les niveaux de difficulté trop complexes en comparaison à l'ensemble des niveaux réussis par le participant jusqu'à présent. Dans ce contexte, les participants sont assurés soit de maintenir, soit d'améliorer leur niveau de performance initiale au programme d'entraînement.

Les niveaux où il est possible de s'entraîner pour le participant sont d'abord ceux qui ont un temps de rétention supérieur à un même nombre de lignes que les niveaux déjà réussis à des temps de rétention inférieurs, lorsque les stimuli consistent en des lignes séparées. Lorsque seulement quelques-uns des niveaux préliminaires ont été réussis à un temps de rétention de deux secondes, le niveau préliminaire qui comporte un groupe de lignes de plus que le dernier niveau préliminaire réussi pour un même nombre de lignes est disponible pour s'entraîner, de même que les temps encore à faire pour des stimuli avec moins de lignes (c.-à-d., les conditions désignées par des carrés verts de la figure 2.1). De plus, à un temps de rétention de deux secondes, lorsqu'un participant a réussi un niveau où les stimuli consistent en des lignes séparées, il est aussi possible de s'entraîner au niveau qui comporte une ligne de plus (ex. voir le petit carré blanc du tableau de progrès à la figure 2.1). Enfin, pour éviter qu'un participant ne s'entraîne qu'à des temps de rétention inférieurs à 90 secondes, lorsqu'un participant a accès au temps de rétention de 90 secondes à trois niveaux consécutifs et qu'il ne les choisit pas pour s'entraîner, pour ensuite les réussir, il devient impossible pour lui de choisir le premier niveau préliminaire, à un temps de rétention de deux secondes, qui comporte une ligne de plus que le plus complexe des trois niveaux consécutifs non réussis à 90 secondes. Pour y avoir accès, le participant devra réussir un niveau à un temps de rétention de 90 secondes. Voir figure 2.1.

Des points sont aussi calculés en fonction des stimuli réussis. Le but des points dans le programme est d'encourager les enfants et de contribuer à les motiver davantage.

Le mode évaluation vise à établir le niveau de base du participant sur le jeu, le niveau qu'il peut réussir sans avoir fait aucun entraînement au préalable et cela, à la fois sur le plan de la complexité des stimuli et sur celui du temps de rétention en mémoire.



**Figure 2.1** Exemple d'interface où le participant ne peut s'entraîner au niveau 5 lignes – 2 secondes, car trois niveaux consécutifs disponibles pour s'entraîner à 90 secondes n'ont pas été réussis (niveaux 2, 3 et 4 – 90 secondes). Réussir trois fois de suite 4 lignes à 90 secondes ferait passer comme réussis tous les niveaux inférieurs.

Compte tenu d'études pilotes antérieures, la procédure établie pour entraîner les enfants consiste en un entraînement effectué par un entraîneur désigné, en un à un, durant une période de 15 minutes à la fois. Dans le domaine de la remédiation cognitive, la durée des séances d'entraînement varie d'une étude à l'autre, en fonction des tâches particulières utilisées. Lors d'une étude pilote menée sur le programme d'entraînement Gymnase, il a été convenu qu'un entraînement de 15 minutes était suffisant, compte tenu que la collaboration diminuait chez certains participants après environ 10 minutes d'entraînement à la tâche. Étant donné que le Gymnase est une tâche cognitive où l'enfant est continuellement confronté à ses limites, l'entraîneur doit encourager l'enfant à réussir le plus d'essais possibles et à persévérer dans son entraînement lorsqu'il essuie des échecs. Pour ce faire, il lui propose un

entraînement adapté en utilisant diverses stratégies pour l'aider à réussir les essais. En fonction des intérêts généraux de l'enfant, les stratégies (d'encodage) peuvent consister à faire le lien entre le stimulus et des concepts scolaires tels que des lettres, des formes géométriques, des chiffres romains, des meubles, ou (de motivation) à lui proposer des concours, un système de jetons, une compétition avec d'autres enfants de l'école qui participent au projet via un tableau construits sur un carton, utiliser les points ou bien le tableau de progression du programme qui illustre les niveaux réussis par les enfants, visible à l'écran lors de tout entraînement, pour leur montrer leur amélioration au Gymnase et instaurer un sentiment de fierté, etc.

Les limites imposées à l'entraîneur relatives à la manière d'adapter un entraînement à un participant concernent l'horaire des entraînements. Les séances d'entraînement ne doivent pas être effectuées lors des périodes de dîner des enfants ou des périodes de récréation, qui consistent en des pauses essentielles dans leur journée d'école qui doivent être respectées dans le contexte où les entraînements au Gymnase sont exigeants sur le plan cognitif et ne sont pas considérés comme un moyen de se détendre, mais plutôt comme du travail personnel. De plus, l'intensité des entraînements de l'enfant, compte tenu du sous-groupe de participants dont il fait partie, doit être respectée. Ainsi, l'entraîneur doit planifier soit deux, soit trois périodes d'entraînement par semaine avec l'enfant, en fonction du sous-groupe auquel il a été assigné, tel que mentionné par l'expérimentatrice initialement. Quant aux stratégies employées par l'entraîneur pour adapter l'entraînement de l'enfant, aucune limite n'est imposée à l'entraîneur, compte tenu que l'entraîneur est un membre du personnel de l'école qui connaît davantage l'enfant, son enseignant, ainsi que la matière vue en classe, et qu'il est, par conséquent, en mesure de faire le lien entre le projet Gymnase et le milieu éducatif de l'enfant et ainsi, de créer et d'approfondir un lien privilégié avec lui, dans le contexte du projet Gymnase.

Pour vérifier le moment et la progression des entraînements effectués, un fichier de données, créé et tenu à jour par le logiciel d'entraînement, indique la date de chaque entraînement et l'heure où l'entraînement a débuté et celle où il se termine, de même que la séquence des essais et leurs résultats. En comparant avec l'horaire des classes des écoles, il est possible de savoir si les exigences relatives aux horaires ont été respectées. Avant de



débuter un premier entraînement, chaque entraîneur est rencontré individuellement pour lui expliquer le fonctionnement du logiciel Gymnase et le concept des entraînements, l'importance de suivre l'horaire déterminé par l'expérimentatrice pour chaque enfant et comment et pourquoi adapter un entraînement pour un enfant en particulier. Un exemple d'entraînement à l'ordinateur est aussi effectué pour faciliter la compréhension des entraîneurs.

Dans le projet Gymnase, plusieurs personnes agissent à titre d'assistant expérimentateur. Pour débiter, les évaluations cognitives (voir plus loin) sont effectuées conjointement par deux étudiantes au doctorat en psychologie dont la responsable du projet Gymnase. Un accord inter-juge est effectué afin de s'assurer de la congruence des évaluations lorsqu'elles sont effectuées par des évaluatrices différentes. Compte tenu du grand nombre d'évaluations à effectuer, d'épreuves cognitives à administrer aux enfants, et des séries de temps équivalentes mais différentes pour chaque enfant, les résultats antérieurs des enfants aux épreuves ne peuvent être retenus en mémoire facilement et ne sont pas connus des expérimentatrices au moment des évaluations ultérieures.

Les évaluations pédopsychiatriques de tous les enfants sont effectuées par un pédopsychiatre de la CTA. Ainsi, toutes les évaluations pédopsychiatriques sont effectuées par une même personne, sauf exception, de façon à réduire le biais attribuable au jugement clinique de personnes différentes lors de l'émission d'un diagnostic de TDAH.

Les entraînements sont effectués par un membre du personnel de l'école respective de l'enfant, soit l'orthopédagogue. Compte tenu du temps exigé pour entraîner un enfant, certaines orthopédagogues ne peuvent s'acquitter de cette tâche pour tous les enfants pour lesquels elles se sont engagées. Pour cette raison, elles ont demandé l'aide des éducatrices spécialisées et des enseignantes de l'école pour entraîner certains enfants. Celles-ci ont également été formées par l'expérimentatrice.

## 2.4 Mesures

### 2.4.1 Mesures des participants

Les caractéristiques des participants sont présentées au tableau 2.1.

**Tableau 2.1**  
Caractéristiques descriptives des participants.

Participants (no.)	Âge au début du projet (années/mois)	Sexe	Année scolaire	Groupe Intervention-étendue en semaines	TDAH (type)	Co-morbidités
1	8 ans, 7 m.	M	3	Attente - 7	Mixte	0
2	9 ans, 9 m.	F	4	Exp. - 7	Inattentif	Dyslexie
3	10 ans, 11 m.	M	6	Exp. - 10	Inattentif	T.O.C.
4	7 ans, 11 m.	M	2	Exp. - 7	Mixte	0
5	9 ans, 5 m.	M	4	Exp. - 10	Mixte	Dyslexie
6	6 ans, 9 m.	M	1	Exp. - 7	Mixte	0
7	8 ans, 11 m.	M	3	Attente - 7	Aucun	0
8	12 ans, 7 m.	F	6	Attente - 10	Mixte	Tr. adaptation, humeur, comportement, dyslexie
9	8 ans, 3m.	M	3	Attente - 7	Inattentif	0
10*	10 ans, 8 m.	M	5	Attente - 10	Impulsif	0
11	10 ans, 8 m.	M	5	Attente - 7	Mixte	Tr. langage
12	8 ans, 8 m.	M	3	Exp. - 10	Impulsif	0
13	9 ans, 1 m.	M	3	Exp. - 7	Mixte	Tr. anxiété, dyslexie
14	9 ans, 2 m.	M	4	Exp. - 10	Mixte	Tr. adaptation
15	7 ans, 6 m.	M	2	Exp. - 10	Mixte	Dyslexie
16	10 ans, 1 m.	M	5	Attente - 7	Mixte	Tr. langage
17	9 ans, 2 m.	M	4	Attente - 10	Inattentif	0

\* Suite à la période d'attente de ce participant, une contrainte de temps occasionnée par la fin de l'année scolaire a fait en sorte que l'entraînement ultérieur soit fait de manière intensive sur six semaines. Toutefois, le nombre de séances d'entraînement a été respecté.

#### 2.4.2 Instruments de mesures : épreuves de généralisation

Pour mesurer l'effet de l'entraînement, des épreuves connues pour mesurer la mémoire de travail visuo-spatiale ont été retenues, ainsi que plusieurs autres épreuves mesurant chacune soit divers type d'attention, soit diverses fonctions exécutives, compte tenu de la nature exploratoire de la tâche d'entraînement. Les épreuves cognitives de généralisation sont présentées au tableau 2.2.

#### 2.4.3 Mesures du programme d'entraînement Gymnase

Le programme d'entraînement Gymnase permet de recueillir de nombreuses informations concernant l'entraînement de chacun des participants, par l'intermédiaire d'un fichier de données (fichier journal d'entraînement). L'information recueillie peut être utilisée directement. Toutefois, le traitement de certaines informations recueillies permet d'extraire de nouveaux indicateurs. Toutes les mesures sont énumérées et décrites à l'appendice A.

#### 2.4.4 Mesures impliquant des jugements humains, correcteurs et observateurs

Certaines mesures nécessitent des jugements humains. D'abord, l'identification des participants à risque de présenter un TDAH est effectuée par les orthopédagogues des écoles qui participent au projet Gymnase, compte tenu de leur proximité avec les élèves en difficultés d'apprentissage et cela, pour chacune de leurs écoles respectives.

Par la suite, les pré-évaluations cognitives furent effectuées par Nancy Bélair, Mélanie Demers ou Josée Delisle, toutes alors doctorantes en psychologie dans la section neuropsychologie à l'UQAM. Une formation préalable aux pré-évaluations cognitives fut présentée par Marie-Claude Guay, psychologue à la CTA. Les trois étudiantes sont présentes lors de cette formation. Par la suite, tous les rapports de pré-évaluations cognitives sont corrigés par Marie-Claude Guay et Mélanie Rouillard, psychologues à la CTA. De plus, un accord inter-juge est effectué sur une pré-évaluation cognitive.

**Tableau 2.2**  
Nom et brève description des épreuves cognitives administrées

Nom de l'épreuve	Description
1. D2	Épreuve d'attention sélective
2. Test de performance continue de Conners II (CPT-II)	Épreuve d'attention soutenue visuelle
3. Système des fonctions exécutives Delis-Kaplan (D-KEFS) Épreuves administrées : Pistes, Fluidité graphique, Fluidité verbale, Interférence couleur-mot, Tour.	Épreuves d'attention alternée, de fluidité graphique, de fluidité verbale, de résistance à l'interférence et de planification.
4. Test d'attention journalière pour enfants (TEA-Ch) Épreuves administrées : Recherche dans le ciel, Coups de fusil, Extra-terrestres, Faire 2 choses à la fois, Marche-Arrête!	Épreuves d'attention sélective, d'attention soutenue auditive, d'attention alternée, d'attention partagée et d'inhibition.
5. Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants III (WISC-III) Épreuves administrées : Arithmétique, Recherche de symboles, Séquences de chiffres, Code.	Épreuves de calcul mental, d'attention sélective, d'empan verbal et de mémoire de travail.
6. Échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants III – Instrument de procédures (WISC-III PI) Épreuves administrées : Labyrinthes d'Elithorn, Empan spatial.	Épreuves de planification et d'empan spatial.
7. Test d'intelligence bref de Kaufman (K-Bit)	Épreuves d'intelligence verbale et non verbale.
8. Test développemental d'intégration visuo-motrice (VMI)	Épreuve de coordination visuo-motrice.

Lors de l'accord inter-juge, la pré-évaluation est effectuée par Nancy Bélair. Mélanie Demers, alors en observation, note sur des protocoles indépendants, les réponses du participant ainsi que certains comportements jugés pertinents pour la correction ultérieure des épreuves. La vérification d'une seule pré-évaluation représente 6% des pré-évaluations et 2% de l'ensemble des évaluations effectuées lorsqu'on considère trois évaluations pour chacun des 18 participants. Lors de la vérification de la pré-évaluation, 98 mesures sont vérifiées par les deux évaluatrices ayant effectué 94% des pré-évaluations et 98% de l'ensemble des évaluations de l'étude. Soixante-huit de ces mesures relèvent très peu de l'administration des épreuves par l'évaluatrice mais dépendent beaucoup de la performance du participant en quantité de réponses émises ou du temps d'exécution utilisé par le participant pour émettre ses réponses. Aucune divergence n'est observée entre les deux évaluatrices par rapport à ces 68 mesures. Des 30 mesures faisant davantage intervenir le jugement des évaluatrices dans les résultats du participant, 26 ne montrent aucun écart selon que ce soit l'une ou l'autre évaluatrice qui note, juge et corrige la réponse du participant. Enfin, quatre mesures montrent un écart mineur. En effet, trois mesures ont un point d'écart (Tour – D-KEFS, Coups de fusil et Marche-Arrête! – TEA-Ch), alors qu'un écart de 0,03 est présent à la dernière mesure (mesure du ratio du nombre de mouvements effectués en fonction du nombre de mouvement minimum possible – Tour – D-KEFS), en fonction de l'évaluatrice qui juge et corrige les épreuves. On s'entend sur l'évaluation à faire en de tels cas.

Enfin, le diagnostic de TDAH des participants est effectué par Dr Philippe Lageix, M.D. et pédopsychiatre et, en quelques occasions, par son collègue remplaçant, Dr Jacques-R. Leroux, M.D. médecin et pédiatre.

## 2.5 Procédure

Le projet Gymnase a été présenté aux parents des élèves qui avaient été identifiés précédemment par les orthopédagogues comme étant des élèves qu'elles croyaient susceptibles d'être atteints d'un TDAH. Soixante enfants ont été identifiés comme tels. Les parents qui étaient intéressés ont ensuite confirmé leur intérêt à participer au projet avec leur enfant en signant un formulaire de consentement. Cinquante parents ont signé le formulaire de consentement. Ces parents ont ensuite été contactés par téléphone pour déterminer un



moment qui leur convenait pour compléter deux questionnaires portant sur le comportement de leur enfant, en vue de l'évaluation pédopsychiatrique (DuPaul et al., 1998, Goodman, 1997). Quarante-quatre parents ont répondu aux questionnaires téléphoniques.

Suite à la correction des questionnaires administrés aux parents, ceux dont les résultats ont justifié une évaluation pédopsychiatrique ont été recontactés pour prendre rendez-vous pour une pré-évaluation cognitive de leur enfant et pour les informer que suite à cette pré-évaluation, la secrétaire de la CTA devait leur téléphoner pour leur donner un rendez-vous avec leur enfant pour une évaluation pédopsychiatrique. Trente-sept enfants ont participé à une pré-évaluation cognitive. Les parents dont les résultats des questionnaires ne justifiaient pas une pré-évaluation cognitive et une évaluation pédopsychiatrique ont aussi été recontactés pour les informer que leur enfant ne rencontrait pas les critères d'inclusion pour participer à la recherche et pour les remercier de leur participation jusque là.

Durant ce temps, les orthopédagogues qui participaient au projet Gymnase ont été rencontrées individuellement pour recevoir une formation relative aux procédures d'entraînement d'un enfant au Gymnase. Un document explicatif comprenant l'information présentée durant la rencontre, un exemple d'évaluation d'un enfant au Gymnase et les coordonnées de l'expérimentatrice à contacter au besoin leur a aussi été remis.

Les enfants pour qui l'évaluation pédopsychiatrique annonçait ou confirmait l'émission d'un diagnostic de TDAH ont ensuite été recontactés par l'expérimentatrice pour compléter l'évaluation cognitive préalable à la période d'entraînement cognitif ou d'attente, le cas échéant. L'orthopédagogue de l'école de l'enfant a aussi été contactée pour l'informer de la date du début de l'entraînement de cet enfant, s'il y a lieu, et de la fréquence de l'entraînement (c'est-à-dire, deux ou trois fois par semaine). De la même façon, les parents d'un enfant pour qui l'évaluation pédopsychiatrique n'impliquait pas le diagnostic de TDAH d'aucun sous-type ont eux aussi été appelés pour les informer que leur enfant ne rencontrait pas les critères d'inclusion de l'étude et pour les remercier de leur participation. Douze des 30 enfants qui ont reçu une évaluation pédopsychiatrique ne rencontraient pas les critères justifiant un diagnostic de TDAH. Quant aux enfants qui ont reçu un diagnostic de TDAH, la décision d'administrer ou non une médication prescrite est revenue à leurs parents respectifs. Pour diverses raisons (croyances, craintes, comportement, effets secondaires sur l'appétit et

le sommeil de l'enfant, etc.), ceux-ci ont choisi de donner ou non une médication à leur enfant ou encore d'en cesser l'administration.

La période d'entraînements ou celle d'attente a ensuite débuté. Les séances d'entraînement avaient lieu à l'école. Les enfants étaient accompagnés par leur entraîneur pour progresser dans le programme Gymnase. L'expérimentatrice a été appelée au besoin par les entraîneurs. Lorsqu'il s'agissait du commencement d'un entraînement, plusieurs orthopédagogues demandaient à ce que l'expérimentatrice procède à l'évaluation initiale des capacités de l'enfant sur le programme Gymnase pour débiter l'entraînement. Les entraîneurs qui avaient un plus grand nombre d'enfants à entraîner ont rencontré proportionnellement plus de problèmes que les autres. Aucune réévaluation sur le programme d'entraînement n'est prévue à la fin de l'entraînement, compte tenu des règles encadrant la progression des participants sur la tâche, qui ne permettent aucune détérioration de la performance initiale, de la présence d'un fichier de données qui permet de connaître le calendrier des entraînements d'un enfant mais aussi les performances réalisées à chaque session et donc, sa performance finale une fois l'entraînement terminé, ainsi que de la durée déjà importante du processus d'évaluation global des enfants.

À la fin de cette période, les parents ont été contactés à nouveau pour prendre rendez-vous pour une première réévaluation cognitive complète de leur enfant. L'enfant a ainsi été évalué à nouveau. Suite à cette évaluation, la période de latence ou d'entraînement a débuté pour les enfants qui ont reçu leur entraînement ou qui étaient sur liste d'attente, respectivement. Pour les enfants qui étaient d'abord sur liste d'attente, il s'agissait alors du début d'une période d'entraînement. L'orthopédagogue a été contactée pour débiter l'entraînement tel que mentionné précédemment. À la fin de cette nouvelle période, les parents ont été appelés à nouveau pour prendre rendez-vous pour une dernière réévaluation cognitive complète et être remerciés pour leur participation.

## CHAPITRE III

### RÉSULTATS

L'hypothèse principale de recherche consistait à vérifier l'effet du programme Gymnase à l'aide de plusieurs épreuves cognitives, chez des enfants d'âge scolaire atteints d'un TDAH.

Tel que prévu, la plupart des participants du groupe expérimental se sont améliorés sur la tâche entraînée à la fin de l'entraînement en termes de nombre de lignes séparées capable de retenir en mémoire. Deux des 10 enfants ont pu retenir trois lignes disjointes de plus après leur entraînement, quatre enfants ont pu en retenir deux de plus, deux autres enfants ont retenu une ligne de plus après leur entraînement et seulement deux n'ont pas été capable de retenir en mémoire plus de lignes séparées après leur entraînement.

Compte tenu des observations et des diverses notes recueillies au cours des mois durant l'expérimentation, un participant appartenant au groupe expérimental d'une durée de 10 semaines a été exclu des analyses en raison de sa mauvaise collaboration à l'évaluation qui a suivi son entraînement, ce qui mettait en doute la validité des résultats. En effet, dès son arrivée, l'enfant ne désirait pas participer aux épreuves cognitives présentées, il semblait anxieux, ne fournissait que très peu d'effort pour réussir les tâches, demandait à voir son père à plusieurs reprises, puis s'est mis à pleurer pour le voir, ce qui a mis un terme à l'évaluation. Un autre enfant, appartenant au groupe en liste d'attente d'une durée de 7 semaines, a quant à lui été retiré des analyses de la deuxième période de temps seulement, et cela pour des problèmes techniques en lien avec le matériel informatique utilisé, survenus durant l'entraînement au programme Gymnase et permettant de mettre en doute l'effet de l'entraînement.

Les données des 17 autres participants ont d'abord été inspectées pour vérifier la symétrie de distribution des variables dépendantes. Afin de procéder à ces analyses, toutes les données d'une même variable ont été incluses, indépendamment du temps de mesure. L'examen préalable d'une variable comprenait donc l'ensemble des participants pour chacune des trois évaluations effectuées dans le temps. De ces analyses, 34 des 78 variables montraient un coefficient d'asymétrie qui dépassait trois fois son erreur standard (trois fois l'erreur standard fut retenu, plutôt que deux fois, étant donné que les données des trois temps de mesure ne sont que partiellement indépendantes, ce qui fausse l'estimation de l'erreur type du coefficient).

Par la suite, le retrait de valeurs extrêmes ou l'usage de transformations logarithmiques ont permis de normaliser (au moins symétriser) les distributions des variables. Six des 34 variables aux coefficients d'asymétrie significatifs ne comptaient aucune valeur extrême, mais ne pouvaient être transformées d'aucune façon pour rencontrer les critères de symétrie fixés, compte tenu d'un manque de variabilité important. Par conséquent, ces variables, identifiées par la mention 'Retirée' à l'Appendice B, ont été retirées des analyses ultérieures, ces types d'erreurs étant commis très rarement, voire de manière exceptionnelle, de la part des participants.

Des 28 variables restantes, des valeurs extrêmes, qui consistaient en des données possibles techniquement bien qu'in vraisemblables cliniquement, ont été supprimées en considérant la distribution et les analyses descriptives de l'ensemble des valeurs de ces 4 variables concernées. Au total, 8 valeurs ont été supprimées. Ces valeurs concernaient trois épreuves pour cinq participants. Des 8 valeurs supprimées, six concernent l'épreuve Recherche dans le ciel et la tâche double qui lui est reliée, alors que les deux dernières valeurs supprimées concernent l'épreuve d'Arithmétique. Bien que le retrait de ces valeurs extrêmes n'ait pas permis de rendre la distribution des variables concernées symétrique, cela a permis d'utiliser une transformation logarithmique pour le faire.

Ainsi, les 28 variables non symétriques, incluant les 4 variables où ces valeurs extrêmes ont été supprimées et les 24 autres variables non symétriques qui ne présentaient pas de valeurs extrêmes, ont dû subir une transformation logarithmique pour réduire leur coefficient d'asymétrie inférieur à une fois son erreur standard, autant que possible, et rendre ainsi leur

distribution acceptablement symétrique. Les transformations utilisées sont décrites à l'Appendice B.

Considérant le nombre de variables en comparaison avec le nombre de participants, une analyse factorielle a ensuite été effectuée pour réduire le nombre de variables dépendantes. L'analyse factorielle utilisait la méthode des composantes principales et une rotation Varimax sur la matrice de corrélations où les temps de mesure étaient traités comme des sous-ensembles de sujets distincts (technique enseignée par André Achim) pour donner des scores factoriels cohérents pour chaque participant à chacun des temps de mesure. Une première analyse a extrait les facteurs qui avaient une valeur propre supérieure à un. Des 72 variables dépendantes incluses, 18 facteurs ont ainsi été extraits. Pour l'interprétation des facteurs, le critère d'association d'une variable à un facteur était d'obtenir une corrélation (« factor loading ») supérieure à 0,5. Ce critère tient compte du nombre de participants inclus dans l'étude (16) et de leur représentation triple (à 3 temps de mesure). Cela ne constitue pas 32 participants indépendants des 16 premiers. Le nombre minimum de degrés de liberté est 14 (à cause des 16 participants indépendants). Pour ces degrés de liberté, le coefficient de corrélation de Pearson critique pour  $p < ,05$  est de ,4973, ce qui a été arrondi à 0,5. En deçà de 0,5 en valeur absolue, il est raisonnable de supposer que la corrélation d'une variable avec un facteur soit le fruit du hasard. Suite à l'observation du graphique des valeurs propres et de la matrice des composantes après rotation, il a été convenu que les données étaient mal représentées par autant de facteurs. En effet, il était difficile d'identifier non seulement une transition à l'emplacement de la 18<sup>e</sup> variable sur le graphique mais encore un concept cognitif sous-jacent différent pour chaque composante après rotation. Dans l'objectif de choisir le groupe de facteurs qui représentait le mieux les données, d'autres analyses semblables ont été effectuées en utilisant des valeurs propres de coupure de deux, trois, quatre et cinq, qui correspondaient à des points de rupture différents sur le graphique des valeurs propres. Après l'observation et l'interprétation des matrices des composantes après rotation, c'est l'analyse factorielle ayant extrait six composantes avec des valeurs propres supérieures à trois qui a été retenue pour procéder aux analyses ultérieures (Appendice C).

Étant donné le grand nombre de variables incluses dans l'analyse factorielle précédente (72 variables dépendantes), le nombre de variables exclues de chaque facteur est important



également. La présence de ces variables jugées non pertinentes à un facteur contribue toutefois au calcul des scores factoriels si on ne les gère pas. Pour supprimer l'apport de ces variables et raffiner l'évaluation des facteurs, une analyse factorielle a été effectuée pour chacun des six facteurs, en incluant seulement les variables retenues (celles corrélées à plus de 0,5 avec le facteur). Dans l'ordre des facteurs extraits initialement, 12 variables ont été incluses dans l'analyse factorielle correspondant au premier facteur, 10 ont été incluses dans la seconde analyse, 8, 9, 6 et 4 ont été incluses dans les analyses factorielles subséquentes, correspondant aux 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> facteurs respectivement. À l'exception du 3<sup>e</sup> et du 6<sup>e</sup> facteur, les variables retenues semblaient exprimer simultanément plus d'une variable latente. Des premiers, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> facteurs, deux nouvelles composantes avaient une valeur propre supérieure à 1, alors que trois nouvelles composantes en faisaient autant pour le 2<sup>e</sup> facteur. L'observation des tableaux de la variance totale expliquée et des graphiques des valeurs propres montrait toutefois que chacune des nouvelles premières composantes expliquait au moins 44 % de la variance et que les composantes suivantes formaient raisonnablement une ligne droite au graphique de valeurs propres. Par conséquent, seules les premières composantes extraites ont été retenues pour représenter le facteur initial dans les analyses ultérieures. Ainsi, ces nouvelles analyses factorielles ont été refaites en exigeant que seule la première composante de chacune soit extraite, de façon à ce que les cotes factorielles ne tiennent pas compte des autres composantes dont l'apport négligeable ne paraissait pas refléter la mesure du concept cognitif sous-jacent.

Par la suite, des corrélations bivariées ont été effectuées entre chaque nouvelle composante et le facteur initial correspondant, pour s'assurer que la mesure retenue corresponde bien, c'est-à-dire que les nouveaux facteurs qui seront utilisés dans les analyses ultérieures mesurent le même concept cognitif sous-jacent que les six facteurs extraits au commencement. Deux facteurs ont obtenu des corrélations supérieures à 0,9, alors que les quatre autres facteurs ont obtenu des corrélations supérieures à 0,8, la plus faible étant 0,821 et a été obtenue au facteur 4. Dans ce contexte, les nouveaux facteurs ont été jugés suffisamment satisfaisants pour être conservés pour les analyses qui consisteront à vérifier l'hypothèse principale, l'effet du programme Gymnase chez des enfants d'âge scolaire atteints d'un TDAH. On a ainsi réduit 72 variables initiales, disponibles à trois temps de mesure, en six scores factoriels épurés, également disponibles aux trois temps de mesure.

Des analyses de covariance ont ensuite été effectuées séparément sur chacun des six facteurs en fonction du groupe expérimental et du groupe en attente et séparément aussi pour les deux temps de mesure post entraînement. La première mesure post entraînement a donc lieu immédiatement après la période d'entraînement du groupe expérimental et immédiatement après la période d'attente du groupe contrôle, alors que la deuxième mesure post-entraînement a lieu après un délai de temps équivalent pour chaque sous-groupe expérimental (de 7 ou 10 semaines) et immédiatement après l'entraînement du groupe contrôle, la période d'attente de ce groupe s'étant terminée au moment du premier post-test. Ainsi, les analyses du deuxième post-test compareront des participants qui ont terminé leur entraînement depuis 7 ou 10 semaines, avec des participants qui ont tout juste terminé leur entraînement. Dans un premier temps, les sous-groupes expérimentaux et les sous-groupes contrôles ont été considérés comme constituant un seul groupe expérimental et un seul groupe contrôle, de manière à vérifier l'effet principal, soit l'effet de l'entraînement au programme Gymnase. Selon les résultats, des analyses supplémentaires pouvaient, s'il y avait lieu, être faites ultérieurement pour vérifier l'effet de l'intensité de l'entraînement en fonction de la fréquence des sessions d'entraînement par semaine.

Lors de l'analyse de la première période de temps située entre le premier et le deuxième temps de mesure, le groupe auquel appartenaient les participants constituait le facteur fixe (expérimental ou contrôle). Des analyses de covariances ont été menées séparément pour chacun des six facteurs, les scores pré-expérimentaux des six composantes constituaient des covariables, alors que les premiers scores post-entraînements (deuxième temps de mesures), constituaient des variables dépendantes. À ces analyses, aucun résultat n'est significatif (Tableau 3.1). L'effet de traitement le moins probable selon l'hypothèse nulle a un niveau de probabilité de ,191; l'observation des moyennes ajustées indique que cet effet favorise le groupe en liste d'attente en ce qui concerne l'empan et le traitement de l'information (facteur 2). Par conséquent, il n'y a pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe en attente (groupe contrôle) pour chacun des facteurs regroupant des épreuves cognitives visant à vérifier dans quelle mesure l'effet de l'entraînement se généralise. L'hypothèse nulle est ainsi acceptée en première approximation.

Lors de l'analyse de la deuxième période de temps située entre le deuxième et le troisième temps de mesure, le groupe auquel appartenaient les participants constituait le facteur fixe (expérimental entraîné antérieurement ou contrôle entraîné récemment), les premiers scores post-entraînements (deuxième temps de mesures) constituaient des covariables, alors que les deuxièmes scores post-entraînements (troisième temps de mesures), constituaient des variables dépendantes. À ces analyses, aucun résultat n'est significatif (Tableau 3.1). L'effet de temps après le traitement le moins probable selon l'hypothèse nulle a un niveau de probabilité de ,380. L'observation des moyennes ajustées indique davantage d'impulsivité (facteur 6) pour le groupe qui termine son entraînement, en comparaison au groupe l'ayant terminé il y a 7 ou 10 semaines. Par conséquent, il n'y a pas de différence significative entre le groupe de participants qui ont terminé leur entraînement il y a 7 ou 10 semaines et celui qui vient tout juste de terminer son entraînement et cela, pour chacun des facteurs regroupant des épreuves cognitives. L'hypothèse nulle est acceptée.

**Tableau 3.1**

Analyses de covariance des effets du programme d'entraînement (effet de traitement : entraîné versus attente) sur six facteurs avec le score factoriel avant l'entraînement en covariable des scores au premier temps de mesures après l'entraînement, lui-même en covariable des scores au deuxième temps de mesures après l'entraînement

Facteur	Post-test	N (Exp/Ctrl)	dl	F	Signification	Eta <sup>2</sup> partiel
1. Repérage visuel	Post-test 1	7 / 8	1	F = 0,053	p = ,822	,004
	Post-test 2	8 / 7	1	F = 0,191	p = ,670	,016
2. Empan et traitement de l'information	Post-test 1	7 / 8	1	F = 1,921	p = ,191	,138
	Post-test 2	8 / 7	1	F = 0,061	p = ,809	,005
3. Attention soutenue visuelle	Post-test 1	7 / 7	1	F = 0,104	p = ,753	,009
	Post-test 2	9 / 7	1	F = 0,001	p = ,978	,000
4. Flexibilité cognitive	Post-test 1	8 / 8	1	F = 0,075	p = ,789	,006
	Post-test 2	9 / 7	1	F = 0,769	p = ,396	,056
5. Attention alternée et inhibition	Post-test 1	7 / 7	1	F = 0,000	p = ,993	,000
	Post-test 2	9 / 7	1	F = 0,110	p = ,745	,008
6. Impulsivité	Post-test 1	9 / 7	1	F = 0,127	p = ,727	,010
	Post-test 2	9 / 7	1	F = 0,826	p = ,380	,060

\* Les valeurs varient selon les facteurs pour tenir compte de la validité de la participation des participants et des valeurs supprimées, tel qu'expliqué en détails précédemment.

Des corrélations partielles ont ensuite été effectuées afin d'augmenter les probabilités de détecter un effet éventuel du programme Gymnase sur les épreuves de généralisation. Ainsi, la présence de corrélations entre les diverses variables caractérisant l'entraînement au programme Gymnase et les facteurs mesurant les performances des enfants immédiatement après leur entraînement a été vérifiée, en tenant compte des performances des enfants immédiatement avant leur entraînement, sur les mêmes mesures factorielles de performance, ce qui ne laisse d'information que ce qui aurait changé suite à l'entraînement (Appendice D). Une inspection des variables caractérisant le programme Gymnase a permis de constater



quelques irrégularités sur le plan de la symétrie des variables où le coefficient d'asymétrie dépassait deux fois son erreur standard, ce qui constituait le critère d'inspection. L'observation de l'histogramme de la variable « Nombre de sessions d'entraînement de l'enfant » a permis de confirmer l'asymétrie suite à quoi une transformation a été effectuée ( $2 - \log_{10}(23-x)$ ). Deux valeurs extrêmes ont ensuite été retirées des variables « Jours de délai moyen entre chaque session d'entraînement » et « Écart type des jours de délai entre chaque session d'entraînement », alors qu'une seule valeur extrême a été retirée des variables « Étendue de l'entraînement en jours ouvrables (lundi au vendredi) » et « Tendence quadratique du temps d'observation d'un problème en secondes », ce qui a eu pour effet de rendre symétrique ces quatre variables. Puisque le groupe contrôle était un groupe en liste d'attente, il s'est entraîné au programme Gymnase dans un deuxième temps, après le groupe expérimental. Pour ces corrélations, tous les participants entraînés ont été inclus.

Dans l'ensemble des 120 corrélations effectuées, cinq sont statistiquement significatives (sans correction de Bonferroni pour le nombre de tests). Compte tenu que les mesures du programme Gymnase ne sont pas toutes indépendantes, une correction du seuil de signification à  $p < ,0005$  paraît raisonnable. À ce seuil, aucune des corrélations partielles effectuées n'est significative. Néanmoins, pour mieux apprécier les résultats obtenus et être en mesure d'en juger, les corrélations significatives à  $p < ,05$  sont décrites à titre indicatif seulement.

Le facteur 1, qui représente des capacités de repérage visuel, est corrélé avec quatre mesures qui caractérisent l'entraînement des participants au Gymnase. Ces mesures, dont l'interprétation est discutée après le prochain paragraphe, sont la tendance linéaire du temps d'observation d'un problème, en secondes ( $r = -,637, p = ,019, dl = 11$ ), la différence entre le nombre de lignes mémorisées à la fin de l'entraînement et lors de l'évaluation au programme ( $r = -,640, p = ,018, dl = 11$ ), le nombre de niveaux réussis ( $r = -,638, p = ,019, dl = 11$ ) et le nombre de lignes séparées réussies de plus en entraînement que lors de l'évaluation au programme ( $r = -,726, p = ,005, dl = 11$ ). Le facteur 5, qui regroupe des mesures d'alternance de l'attention et d'inhibition, est corrélé avec le nombre de minutes d'entraînement ( $r = -,553, p = ,050, dl = 11$ ).



Les degrés de liberté diffèrent selon les facteurs et les variables du programme Gymnase utilisés pour effectuer les corrélations partielles en raison des valeurs manquantes ou supprimées. Pour être calculée, la corrélation partielle nécessite la présence de trois valeurs pour chaque participant, soit la valeur de la variable Gymnase mise en corrélation et les valeurs avant et après l'entraînement du facteur choisi. Le participant pour qui l'une de ces trois valeurs est absente ne peut être pris en compte par la corrélation partielle. Compte tenu du grand nombre de variables et du petit nombre de participants à l'étude, plusieurs participants ont quelques valeurs absentes réparties parmi l'ensemble des variables mesurées. Le nombre de participants inclus dans les corrélations partielles calculées varie principalement en fonction du facteur choisi, étant donné que très peu de valeurs sont absentes parmi les variables du programme d'entraînement Gymnase.

En tenant compte des performances des enfants avant leur entraînement, les corrélations au facteur 1 signifient que la tendance linéaire du temps d'observation d'un problème est corrélée avec de bonnes performances aux épreuves de repérage visuel, compte tenu qu'il s'agit d'épreuves chronométrées pour lesquelles un bon repérage rapide obtient de meilleurs résultats qu'un bon repérage plus lent. Ainsi, l'augmentation du temps pris pour observer un problème, à mesure qu'un entraînement progresse dans le temps, corréle avec de bonnes performances aux épreuves de repérage visuel. Les corrélations suivantes concernent l'amélioration au programme Gymnase et indiquent qu'une plus grande différence entre le nombre de lignes mémorisées à la fin de l'entraînement et lors de l'évaluation au programme, que les lignes soient jointes ou disjointes (empan – lignes séparées) est corrélée avec de meilleures performances aux épreuves de repérage visuel. D'une façon similaire, la dernière corrélation au facteur 1 indique que le nombre de niveaux réussis lors des entraînements est corrélé avec de bonnes performances aux épreuves de repérage visuel. Enfin, l'unique corrélation au facteur 5 qui soit significative à  $p < ,05$  indique que le nombre de minutes d'entraînement est corrélé avec de mauvaises performances aux épreuves d'attention alternée et d'inhibition. Cette corrélation va à l'encontre de nos hypothèses de recherche. Compte tenu que 120 corrélations ont été effectuées, statistiquement, six corrélations significatives à  $p < ,05$  devraient être dues au hasard. On en a obtenu cinq en tout, dont seulement quatre pourraient avoir du sens. Ainsi, bien que le hasard puisse être seul responsable des cinq

corrélations avec  $p < ,05$ , seul le hasard semble en mesure d'expliquer la corrélation partielle significative au facteur 5.

## CHAPITRE IV

### DISCUSSION

Les résultats présentés précédemment ne montrent aucun effet de l'entraînement au programme Gymnase entre le groupe expérimental et le groupe contrôle, sur les épreuves de généralisation et cela, malgré l'amélioration sur la tâche entraînée et les principes apparemment bien fondés qui ont prévalu à son élaboration. Lors des premiers post-tests, l'analyse de covariance la moins probable favorise le groupe en liste d'attente au facteur 2 et regroupe les mesures d'empan et de traitement de l'information qui sont des mesures liées de très près à la tâche du programme Gymnase. De plus, lors des deuxièmes post-tests, l'analyse de covariance la moins probable indique davantage d'impulsivité pour le groupe venant tout juste de terminer son entraînement. Par contre, bien que les corrélations partielles ne montrent aucun lien avec une correction de Bonferroni, entre le programme d'entraînement Gymnase et les épreuves de généralisations administrées, quatre des cinq corrélations significatives à  $p < ,05$  sur 120 concernent le facteur 1, qui regroupe les épreuves de repérage visuel, et vont dans la direction attendue par nos hypothèses. Le hasard pourrait à lui seul rendre compte de ces corrélations puisqu'il admet six corrélations significatives sur 120.

D'un autre côté, des problèmes méthodologiques divers survenus au cours des entraînements pourraient avoir réduit l'effet de traitement. De plus, on note peu d'indications de la présence d'une simple problématique de puissance statistique qui serait dû à un manque de participants, pour des tailles d'effets qui justifieraient d'investir dans cet entraînement. En revanche, ces résultats pourraient-ils être expliqués par les problématiques imprévues rencontrées au cours des expérimentations?

Malheureusement, plusieurs enfants qui se sont présentés aux évaluations cognitives avaient déjà pris leur médication psychostimulante avant leur arrivée. Compte tenu des nombreuses exigences pour les parents que nécessitait la participation de leur enfant au projet de recherche, notamment quant à la distance géographique à parcourir, aux nombres évaluations nécessaires (4) et aux désagréments que peut entraîner l'arrêt de la médication sur le comportement d'un enfant (ex. effet rebond), il était réaliste d'anticiper une mortalité expérimentale lors d'éventuelle reprise de séance d'évaluation. Par conséquent, compte tenu de l'incapacité d'évaluer tous les enfants sans qu'ils soient sous médication psychostimulante, l'exigence de se présenter aux évaluations sans avoir pris de médication préalable a été retirée. Par la suite, la prise de médication des enfants n'a plus été relevée durant le projet de recherche.

De plus, les entraîneurs ont rencontré plusieurs difficultés différentes au cours des entraînements, davantage lors de leurs premiers entraînements avec des enfants. À titre d'exemple, mentionnons la non-transmission des résultats du mode évaluation au programme d'entraînement Gymnase, l'incapacité à exécuter le logiciel Gymnase par plusieurs ordinateurs utilisant la plateforme Windows 95, le manque de précision des périphériques-souris causant des erreurs aux enfants lors d'essais, ainsi que la suppression du fichier de données des enfants par un technicien informatique scolaire procédant à une mise à niveau de l'ordinateur où avaient lieu l'entraînement de quelques enfants. En plus des conséquences directes reliées à chaque problématique, dans tous les cas, l'intérêt et la motivation des enfants étaient affectés, soit en devant s'entraîner sur des niveaux déjà réussis sans entraînement lorsque les chercheurs ne sont pas informés rapidement, soit en devant attendre la reprogrammation du logiciel Gymnase, soit en devant résoudre de nouveaux essais à un même niveau de difficulté.

Des erreurs qui concernent la procédure d'entraînement par les entraîneurs ont aussi été relevées : entraînement durant les récréations ou les dîners, en sous-groupe de deux ou trois enfants, sans surveillance (ex. entraîneur-enseignant qui corrige des travaux scolaires durant l'entraînement de l'enfant), ayant pour conséquence un faible nombre de propositions de stratégies adaptées à l'enfant par l'entraîneur et la création d'un lien plus faible entre l'enfant et l'entraîneur, diminuant d'autant l'intérêt de l'enfant envers le Gymnase.

Le programme Gymnase avait été utilisé à plusieurs reprises dans des études de cas initiales puis lors d'une grande étude pilote effectuée au cours de l'année scolaire 2001-2002. Ainsi, les difficultés informatiques rencontrées relatives à la programmation du Gymnase étaient maintenant peu nombreuses et ont pu être corrigées rapidement. Les problèmes techniques relatifs au matériel utilisé dans les écoles et aux ressources matérielles et humaines (service de l'informatique) du milieu ont aussi été corrigés par les écoles aussi rapidement qu'il leur était possible de le faire. Le manque de disponibilité des orthopédagogues et des enseignants, qui se sont montrés intéressés au projet mais pour qui le Gymnase constituait un surcroît de travail à leurs tâches habituelles, devait être pris en compte lors du signalement des erreurs observées (ex. aucun entraînement durant les périodes de dîner ou de récréation, entraînement en un à un, respect de la fréquence des entraînements déterminée par la responsable du projet et proposition de stratégies cognitives adaptées aux enfants), relatives aux limites imposées aux entraîneurs concernant la procédure d'entraînement à suivre pour entraîner les enfants. En bref, dans le contexte scolaire où les ressources professionnelles sont trop peu nombreuses, certains orthopédagogues aux prises avec des contraintes de temps parfois plus importantes ont pu faire une mauvaise évaluation du temps nécessaire aux entraînements, ce qui a occasionné une dérogation à la procédure d'entraînement déterminée *a priori*, soit un entraînement individuel de chaque participant avec un orthopédagogue lors d'une période de classe. Cela permet un questionnement sur l'interprétation appropriée des résultats négatifs de cette étude.

Pouvons nous vraiment conclure, sur la base de ces résultats négatifs, que la tâche du programme d'entraînement Gymnase ne permet pas réellement l'entraînement de la MTVS? Se peut-il que le principe du Gymnase demeure valable mais que ce soient les difficultés rencontrées lors de l'implantation du programme d'entraînement Gymnase dans les écoles qui soient d'abord responsables de l'absence de résultats significatifs? Autrement dit, est-ce le principe utilisé ici pour entraîner la MTVS qui est à rejeter ou plutôt l'implantation qui en a été faite? De plus, bien que les effets visés du programme Gymnase concernaient davantage la MTVS, les questionnaires de comportements (version pour parents) n'ont pas été réadministrés après l'entraînement en raison de la crainte de mortalité expérimentale causée par les nombreuses exigences aux parents déjà requises pour la participation de leur enfant à



la recherche et cela, malgré l'importance des questionnaires de comportements dans l'évaluation et le diagnostic du TDAH.

Pour arriver à trancher entre un principe inadéquat de la tâche choisie et de simples défaillances d'implantation de sa validation, on peut chercher à vérifier si la tâche est bien effective à solliciter la MTVS, c'est-à-dire à activer les régions cérébrales préfrontales qui devraient être impliquées. À cet effet, une étude, visant à identifier si les régions cérébrales activées lors de la pratique de la tâche Gymnase sont celles habituellement activées lors de tâches de MTVS, permettrait de répondre au moins en partie à cette question. Une telle étude auprès de jeunes adultes sains a été menée à cet effet.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE 2

## CHAPITRE V

### CONTEXTE THÉORIQUE

Lors de l'étude précédente, la tâche du programme d'entraînement Gymnase a été décrite comme une tâche qui fait appel à la MTVS des participants. En effet, la principale exigence de la tâche nécessite de mémoriser des lignes présentées aléatoirement dans une grille, en vue de les reproduire graphiquement après un délai d'une durée variant de deux à 90 secondes. Ce type de tâche fait habituellement appel à la MTVS. Toutefois, compte tenu de l'absence de résultats à l'étude précédente, une confirmation de l'utilisation de la MTVS durant la pratique de la tâche d'entraînement du programme Gymnase s'avère dorénavant nécessaire. Nous revoyons d'abord à quoi s'attendre si la tâche du Gymnase active effectivement la MTVS.

En 1990, Owen et al. comparent des patients aux prises avec des excisions unilatérales ou bilatérales du lobe frontal à des patients atteints de la maladie de Parkinson et constatent que les patients qui ont des dommages frontaux font plus d'erreurs et ont moins de stratégies cognitives lors d'une épreuve qui vise à mesurer la capacité de la mémoire de travail spatiale. Lors d'une épreuve de planification (Tour de Londres), les patients avec des lésions frontales, font un plus grand nombre de déplacements et ont besoin de plus de temps pour compléter les problèmes, en comparaison avec les patients atteints de la maladie de Parkinson.

En 1993, en se basant sur leurs études faites sur des primates non humains (Petrides, 1988, 1991), Petrides et al. utilisent la tomographie par émission de positons (PET) et l'imagerie à résonance magnétique (IRM) pour démontrer l'existence, chez l'humain, de deux subdivisions fonctionnellement distinctes du cortex frontal latéral, l'une médiane et l'une plus postérieure. Une tâche de mémoire de travail autoordonnée, une tâche contrôle et

une tâche conditionnelle (apprentissage – mémoire à long terme) ont été employées. Lors de la tâche de mémoire de travail, les participants doivent choisir l'un des huit stimuli visuels abstraits présentés et le retenir ensuite en mémoire afin de ne jamais choisir le même stimulus et cela, jusqu'à ce que tous les stimuli aient été choisis. Ensuite, les mêmes stimuli sont présentés dans une nouvelle disposition et le participant doit en choisir un nouveau à chaque fois. Lorsque l'activation de la tâche contrôle est soustraite de l'activation de cette tâche de mémoire de travail, Petrides constate une activation significative du cortex frontal dorsolatéral médian bilatéralement, bien que la réponse soit plus importante à l'hémisphère droit (partie inférieure du gyrus frontal médian – aire 46). Une activation du cortex frontal dorsolatéral gauche a aussi été observée dans la partie postérieure du gyrus frontal médian (aire 9).

La tâche conditionnelle consiste à choisir un stimulus différent en se basant sur la couleur distinctive d'une ligne située au-dessus du stimulus présenté, associé lors d'un apprentissage au préalable. Lorsque l'activation de la tâche conditionnelle est soustraite de l'activation de la tâche de mémoire de travail, Petrides constate alors quatre pics d'activation dans le cortex frontal dorsolatéral médian droit (aire 46 et 9) et un autre dans le cortex frontal dorsolatéral médian gauche (aire 9), confirmant la contribution spécifique de ces aires pour la tâche de mémoire de travail. Lorsque la condition contrôle est soustraite de la tâche conditionnelle, seul le cortex frontal dorsolatéral postérieur (aire 8) est significatif. Aucune région du cortex frontal dorsolatéral médian n'est significative. Petrides conclut que le cortex frontal latéral est hétérogène et comprend deux subdivisions fonctionnelles distinctes où la région du cortex frontal dorsolatéral médian constitue la première subdivision du cortex frontal latéral (aires 46 et 9), alors que la région du gyrus frontal dorsolatéral postérieur (aire 8) représente la seconde subdivision.

En 1996, Owen, Evans et Petrides ont fait une étude comprenant cinq tâches expérimentales exigeant le recours aux fonctions exécutives à divers degrés et une tâche contrôle, pour mettre en évidence un modèle de traitement de l'information spatiale en deux étapes en mémoire de travail et cela, à l'aide de la PET et de l'IRM. Alors que les tâches d'empan spatial et de séquences spatiales fixes activent la région du cortex frontal ventrolatéral (aire 47), les trois autres tâches, où les exigences exécutives qui concernaient le

monitorage (vérification active de l'information présentée) et la manipulation de l'information en mémoire de travail spatiale étaient plus élevées, ont activé la région du cortex frontal dorsolatéral (aire 46 et 9). La première de ces trois dernières tâches consistait à choisir trois cercles, selon leur position, parmi huit ayant été présentés avant un délai de trois secondes. La seconde exigeait de toucher des cercles rouges disposés aléatoirement jusqu'à ce que l'un d'entre eux change de couleur et de poursuivre ainsi jusqu'à ce que les huit cercles aient changé de couleur une seule fois, sans retoucher les cercles ayant déjà été trouvés. La troisième tâche est semblable à la seconde à l'exception que 12 cercles, au lieu de huit, sont disposés aléatoirement.

En 2004, Olesen, Westerberg et Klingberg ont tenté de mesurer les changements neuroanatomiques qui ont lieu pendant un entraînement de la mémoire de travail. Deux études ont été entreprises : l'une où l'entraînement consistait en deux tâches de MTV et une tâche de MTVS, et l'autre où trois tâches de MTVS ont été utilisées, dans lesquelles les stimuli sont présentés séquentiellement et où la localisation et l'ordre de présentation des points d'une grille doivent être retenus en mémoire durant un délai. Des mesures d'IRMf (IRM fonctionnelle) ont été prises à trois reprises dans la première étude, soit deux fois avant l'entraînement et une fois après l'entraînement. Lors de la deuxième étude, cinq mesures d'IRMf ont été prises. Les deux premières ont eu lieu les deux jours consécutifs qui ont précédé le début de l'entraînement adapté de la mémoire de travail. La troisième mesure a eu lieu le lendemain du jour où l'entraînement a commencé, c'est-à-dire deux jours après la mesure précédente. Une quatrième mesure a eu lieu après une semaine d'entraînement adapté et une dernière mesure a eu lieu à la toute fin de l'entraînement. Les participants sont tous d'âge adulte.

La première étude montre une augmentation de l'activité cérébrale, après l'entraînement de la mémoire de travail, dans les régions frontale médiane droite, pariétale inférieure droite et dans le cortex intrapariétal, bilatéralement. Dans la seconde étude, les résultats montrent une augmentation de l'activité cérébrale dans la région du gyrus frontal médian gauche, dans plusieurs régions pariétales (cortex intrapariétal gauche, cortex pariétal inférieur et supérieur bilatéralement) et dans deux noyaux (tête du noyau caudé droit et noyau thalamique du pulvinar gauche). Une diminution de l'activité a aussi été observée à droite au niveau du



gyrus cingulé et frontal inférieur, ainsi qu'au niveau du gyrus post-central gauche. Quelques différences méthodologiques sont présentes entre les deux études telles que la reproduction des stimuli présentés durant les séances d'IRMf durant la deuxième étude alors que seulement des réponses oui/non étaient exigées lors de la première étude, ainsi que de plus grandes charges à retenir en mémoire de travail dans la seconde étude en comparaison avec la première étude, ainsi que davantage de tâches de MTV lors de la première étude. Les deux premières différences pourraient expliquer l'implication plus à gauche de l'activité cérébrale lors de la deuxième étude et cela, malgré qu'il y ait plus de tâches de MTV lors de l'entraînement de la première étude.

En 2007, Westerberg et al. effectuent des analyses intrasujet de trois participants de la première expérimentation de l'étude d'Olesen et al. (2004). Les tâches utilisées lors des entraînements consistent ainsi en une tâche de MTVS et deux tâches de MTV. Pour les trois participants, chacune des quatre tâches cognitives utilisées pour mesurer l'effet de l'entraînement montrent une amélioration significative de la performance après l'entraînement. Deux des trois participants ont été réévalués huit mois après la fin des entraînements et l'effet semble s'être maintenu pour ces deux participants. En IRMf, deux régions montrent une augmentation de l'activité cérébrale, soit la région frontale médiane inférieure droite et les régions intrapariétales inférieures, bilatéralement.

La tâche du Gymnase est une tâche de MTVS, dépourvue de séquence fixe, à la fois lors de l'encodage (c.-à-d. exposition simultanée des éléments à retenir) et lors de l'émission de la réponse (reproduction dans un ordre qui convient au participant), et exigeant la mémorisation de stimuli visuels disposés aléatoirement durant un délai annoncé d'avance; seul le délai de 10 secondes sera utilisé lors de la seconde étude. D'après les études précédentes, ce type de tâche devrait être en mesure d'activer le cortex préfrontal dorsolatéral (aires 9 et 46) (Owen et al., 1996). Les tâches spatiales séquentielles ne semblent pas activer la région du cortex préfrontal dorsolatéral mais plutôt le cortex préfrontal ventrolatéral (Owen et al., 1996) ou bien les régions frontale médiane gauche et pariétales supérieure et inférieure, bilatéralement (Olesen et al., 2004), selon les tâches précises utilisées qui diffèrent d'une étude à l'autre.

## 5.1 Imagerie optique

L'avancement de la technologie a beaucoup démocratisé le domaine de l'imagerie fonctionnelle. L'imagerie fonctionnelle mesure diverses caractéristiques dynamiques du cerveau qui peuvent être associées à des changements dans le traitement de l'information cognitive. Les dernières études citées précédemment ont utilisé la PET ou l'IRMf (Olesen et al., 2004; Westerberg et al., 2007). Récemment, l'imagerie optique a gagné en popularité. L'imagerie optique diffuse (imagerie spectroscopique proche infrarouge fonctionnelle ou fNIRS) utilise la gamme infrarouge du spectre électromagnétique (qui traverse bien les tissus biologiques), d'où elle tire son nom, pour mesurer le flux sanguin, plus particulièrement les changements de la concentration d'hémoglobine et de son contenu en oxygène par l'intermédiaire de la détermination des taux d'absorption optique de lumière rouge ou infrarouge par l'hémoglobine en circulation cérébrale. Alors que les longueurs d'ondes sont perceptibles jusqu'à environ 800 nm (en rouges à partir d'environ 620 nm), les longueurs d'ondes de la lumière comprises entre 650 et 950 nm sont celles qui pénètrent le plus dans les tissus biologiques; c'est pour cette raison qu'on appelle cet intervalle « fenêtre du spectre proche infrarouge », « fenêtre optique » ou « fenêtre thérapeutique ». Peu de matière biologique absorbe la lumière à ces longueurs d'ondes, mais l'hémoglobine le fait, avec des préférences de longueurs d'ondes (affinité) selon que l'hémoglobine porte ou non de l'oxygène.

Il existe en effet deux états de l'hémoglobine selon qu'elle est oxygénée ou désoxygénée, chacun possédant un spectre d'absorption de la lumière différent, et s'inversant l'un par rapport à l'autre autour de 800 nm. À l'aide d'un minimum de deux longueurs d'ondes différentes (ex. 690 nm et 830 nm), il est possible d'obtenir de l'information sur les courbes d'absorption photonique de l'hémoglobine oxygénée et désoxygénée et, par conséquent, sur la quantité de chaque forme d'hémoglobine sur le trajet des photons d'une source à un détecteur voisin. À ces longueurs d'ondes, les autres constituants, notamment l'eau, n'absorbent que très peu les photons envoyés par la source (Wolf, Ferrari et Quaresima, 2007; Roche-Labarbe et al., 2005).

Lorsqu'on place une source de lumière du spectre infrarouge sur le cuir chevelu d'une personne, les photons sont dispersés aléatoirement à l'intérieur du crâne, d'où la diffusion de

la lumière. À quelques centimètres de la source de lumière (ex. 3 centimètres), on place des détecteurs composés de fibres optiques, appelés aussi photodétecteurs. Les fibres optiques fixées au cuir chevelu amenant la lumière ou la recaptant sont appelées optodes, par analogie aux électrodes en électroencéphalographie. Une très faible portion des photons émanant de la source va ressortir de la tête à la position de chacun des détecteurs. Le trajet des photons, qui sont susceptibles d'arriver au détecteur, est limité dans un volume en forme de banane entre la source et le détecteur. Sur ce trajet, l'absorption des photons se fait en fonction des concentrations relatives d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée présentes dans le flux sanguin, ainsi que des longueurs d'ondes utilisées (ex. 690 nm et 830 nm). Les fluctuations de l'intensité de la lumière recaptée reflètent ainsi celles des quantités d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée situées sur le trajet en banane des photons. La mesure est donc limitée par le volume de photons prenant la forme d'une banane et influencée par la distance entre la source et le détecteur, aussi appelé la distance interoptodes. Pour une distance interoptodes de trois cm, le profil de sensibilité spatiale est estimé à environ 15 mm de profondeur (Okada et Delpy, 2003). Ainsi, la lumière pénètre principalement la matière grise et peu la matière blanche (Okada et al., 1997). Puisque seules les variations du contenu en oxygène de l'hémoglobine située à l'intérieur du volume en forme de banane déterminé par une source et un détecteur situés à environ trois centimètres l'un de l'autre sont mesurées, toutes les variations situées à l'extérieur de volumes ne se trouvant pas près du crâne entre une source et un détecteur ne peuvent être mesurées par imagerie optique et demeurent inconnues.

Pratiquement, les optodes sont les embouts de fibres optiques que l'on place sur le cuir chevelu des participants, utilisées pour véhiculer les photons à partir de sources laser ou vers les détecteurs. Les sources contiennent deux fibres optiques pour permettre d'amener au cuir chevelu les deux longueurs d'ondes utilisées (690 nm et 830 nm). Les optodes sont le plus souvent disposées à tous les trois centimètres les unes des autres, en alternance source-détecteur, pour permettre une mesure d'absorption optimale de l'hémoglobine oxygénée et désoxygénée par le volume de photons prenant la forme d'une banane : une plus courte distance ne permettrait pas d'atteindre le cortex cérébral, alors qu'une plus longue distance permettrait de l'atteindre plus en profondeur mais aux dépens d'une plus grande dispersion

des photons, ce qui augmenterait la marge d'erreur de la mesure et en diminuerait la fiabilité en raison de la trop faible quantité de photons se rendant aux détecteurs trop éloignés.

Pour obtenir le maximum d'information possible sur la surface cérébrale à l'étude, on tente de disposer le maximum d'optodes, sources et détecteurs, sur le cuir chevelu, tout en respectant au mieux la règle du trois centimètres entre chaque paire d'optodes adjacentes de types différents (source ou détecteur). Ainsi, la disposition des optodes est souvent géométrique, prenant l'allure de triangles, de losanges ou de carrés. Habituellement, quatre détecteurs sont placés autour d'une même source puisque la lumière émise à la source est diffusée en trois dimensions tout autour d'elle. De la même façon, chacun des détecteurs est souvent entouré de quatre sources différentes. Pour connaître de quelle source proviennent les photons reçus à un détecteur en particulier et pouvoir identifier avec plus de précision la région de l'activation cérébrale, chaque source utilisée est modulée en amplitude à différentes fréquences. Les détecteurs recevant simultanément la lumière de toutes les sources qui l'entourent, on peut, à partir des différentes fréquences de modulation, déterminer la part attribuable à chacune d'entre elles. Par la suite, plusieurs calculs sont nécessaires pour transformer les quantités de photons recueillies en changements relatifs d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée, pour chaque espace situé entre une source et un détecteur.

Lorsqu'on présente une tâche cognitive telle que celle du Gymnase de concentration, les neurones des régions impliquées dans la fonction requise pour répondre adéquatement à la tâche s'activent et leur métabolisme augmente. Pour être en mesure de poursuivre leur activité, les neurones font appel au réseau sanguin local pour subvenir à leurs besoins en énergie et en oxygène (Ward, 2010). Une réduction locale en glucose et en oxygène stimule le cerveau à accroître la vasodilatation artérielle locale, ce qui a pour effet d'augmenter le flux sanguin cérébral local et le volume sanguin cérébral. Après quelques secondes, l'augmentation en oxygène provenant de l'hémoglobine sanguine excède le taux de consommation en oxygène local des neurones. Il en résulte une abondance en oxygène dans le sang de la région cérébrale active (Irani et al., 2007), plus précisément une augmentation relative en hémoglobine oxygénée. Parallèlement, il est commun d'observer une diminution relative d'hémoglobine désoxygénée en lien avec l'augmentation du débit sanguin (c.-à-d., suite à une bonne évacuation veineuse de l'hémoglobine qui a livré son oxygène au tissu

nerveux). L'imagerie optique détecte et quantifie ces changements relatifs en hémoglobine oxygénée et désoxygénée.

Lorsqu'une région cérébrale est activée, une plus grande quantité de photons est absorbée par l'hémoglobine oxygénée locale et parallèlement, une moins grande quantité est absorbée par l'hémoglobine désoxygénée (si son évacuation est accrue), compte tenu de l'apport sanguin en oxygène faisant suite à l'activation de la région cérébrale par la tâche. Bien que les niveaux absolus d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée soient difficilement récupérables, la loi de Beer-Lambert permet de mesurer le changement de concentration relative (c.-à-d. en référence à la concentration de la même région à un autre moment) d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée en mesurant le changement de l'atténuation de la lumière envoyée, présente le long du parcours de la lumière. Lorsqu'elle est modifiée, cette loi (loi de Beer-Lambert modifiée) permet, en plus, de tenir compte de la simple dispersion de photons, sans qu'il y ait eu absorption par l'hémoglobine présente dans les tissus principalement, ainsi que de la distance parcourue par la lumière ayant la forme d'une banane. Les détecteurs mesurent ainsi une diminution relative de photons n'ayant été ni dispersés (n'ayant pu revenir) ni absorbés par l'hémoglobine, à chacune des deux longueurs d'onde utilisées dans la présente étude (690 nm et 830 nm).

Ce sont les courbes d'absorption de la lumière du proche infrarouge, différentes pour les deux types d'hémoglobine, qui permettent de connaître les proportions relatives de photons absorbés à chacune des longueurs d'onde choisies (690 nm et 830 nm). Cette mesure de la concentration en hémoglobine est effectuée à chacun des emplacements situés entre une source et un détecteur, aussi appelé canal optique et cela, tout au long de la durée de l'enregistrement.

Le casque à optodes utilisé pour la présente étude a été construit de façon à utiliser toutes les sources de lumière disponibles par l'appareil utilisé (CW6). Ainsi, les 16 sources (à deux longueurs d'ondes chacune) et 21 des 32 détecteurs disponibles ont été utilisés. Compte tenu de la disposition des optodes sur le casque, 50 canaux optiques ont pu être enregistrés et cela, à la fois pour l'hémoglobine oxygénée et désoxygénée, pour un total de 100 canaux optiques (voir figure 5.1). Ainsi, à chaque canal optique, les données prennent la forme de courbes où la concentration d'hémoglobine varie dans le temps. Pour faciliter les analyses



statistiques, les courbes utilisées dans la présente étude commencent 5 secondes avant le début d'une tâche et se terminent 30 secondes après le début d'une tâche et cela, pour chaque essai, qu'il s'agisse de la tâche expérimentale ou de la tâche contrôle.

## 5.2 Hypothèse

L'exécution de la tâche du programme d'entraînement Gymnase permettra d'activer la région du cortex préfrontal dorsolatéral, lors d'une séance d'enregistrement en imagerie optique chez des adultes sains. Ceci serait interprété en faveur du principe implanté dans le Gymnase de concentration, les résultats négatifs de la première étude pouvant alors être attribués à des détails de cette implantation plutôt qu'au principe même de la tâche choisie.



**Figure 5.1** Disposition des optodes sur le casque. Sur l'image, une optode est placée sous chaque emplacement où est situé un cercle bleu ou un petit ensemble de deux à trois cercles bleus.

### 5.3 Devis

Un paradigme en bloc est utilisé pour présenter, en alternance et à intervalle régulier, la tâche du programme d'entraînement Gymnase et une tâche contrôle. Trois blocs sont présentés à chacun des participants. Une courte pause de quelques minutes est effectuée entre les blocs. Chaque bloc comprend 10 cycles de deux conditions où une tâche contrôle est présentée en premier lieu, suivie de la tâche du programme Gymnase. La durée de chacune des tâches est de 40 secondes chacune pour une durée de 80 secondes par cycle. Ainsi, les blocs comprennent un total de 20 essais et ont une durée totale de 13 minutes 20 secondes chacun. Le temps d'enregistrement total est donc de 40 minutes.

## CHAPITRE VI

### MÉTHODOLOGIE

#### 6.1 Participants

Compte tenu de la technologie d'imagerie optique utilisée, peu de participants semblent nécessaires pour rejeter l'hypothèse nulle, le cas échéant (Tsujimoto et al., 2004). Dans ce contexte, huit jeunes adultes sains participent à l'étude, quatre femmes et quatre hommes.

Lors d'une première rencontre avec un participant potentiel, une vérification des critères d'exclusion est effectuée. Une personne rapportant un problème d'ordre neurologique ou psychiatrique, qui exige un suivi médical au moment de l'étude, ne pouvait y participer pour éviter le risque d'obtenir une trop grande divergence d'activation cérébrale avec les autres participants dans les enregistrements d'imagerie optique.

Le recrutement des participants a lieu en personne ou par courriel et est dirigé vers des étudiants en neuropsychologie susceptibles d'être intéressés par une étude utilisant l'imagerie optique. Ainsi, l'échantillonnage est limité aux personnes connues par les expérimentateurs et la participation est volontaire.

Un formulaire de consentement est remis à chaque participant qui reçoit ainsi l'information concernant l'objectif de l'étude, les procédures utilisées, les avantages, les risques et les inconvénients à participer à l'étude, ainsi que les personnes à contacter au besoin.

#### 6.2 Environnement

Pour éviter que les enregistrements ne soient contaminés par un effet de nouveauté et d'adaptation à la tâche du programme Gymnase par les jeunes adultes et pour s'assurer qu'ils

effectuent la tâche de la même façon, autant que possible, que le faisaient les enfants lors des entraînements au programme Gymnase dans l'étude 1, un taux de succès minimal à la tâche du programme Gymnase devait préalablement être atteint par chacun des participants. Pour ce faire, une première familiarisation avec la tâche du programme Gymnase a lieu à l'Université du Québec à Montréal où une évaluation au programme Gymnase est effectuée d'une façon semblable à celle qui a été faite avec les enfants de la première étude, avant que ne commence leur entraînement au programme Gymnase, à l'exception que seul le temps de rétention en mémoire de 10 secondes a été utilisé. Compte tenu que la tâche du programme Gymnase de la présente étude ne génère que des stimuli comprenant six lignes, les participants devaient réussir les essais où les stimuli contiennent six lignes.

Les participants qui réussissent adéquatement les stimuli de six lignes terminent ensuite leur participation à l'étude au Laboratoire d'étude de la santé cognitive des aînés au Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, pour procéder à l'enregistrement de l'activation cérébrale par imagerie optique au cours de l'expérimentation.

Une copie du programme d'entraînement Gymnase de la première étude a été remise aux deux participants (no. 1 et 5) qui ne pouvaient déjà réussir les stimuli contenant six lignes, afin qu'ils puissent s'entraîner à domicile et réussir de tels stimuli. La réussite des stimuli à six lignes est un préalable pour la participation à la séance d'enregistrement de l'activation cérébrale par imagerie optique. Ces entraînements ont été effectués en privé par les participants concernés.

### 6.3 Appareillage

L'appareil CW6 de la compagnie TechEn est utilisé pour procéder aux enregistrements d'imagerie optique. Pour les besoins de l'étude, un casque fut développé (par André Achim) permettant d'obtenir le plus d'information possible (utilisant les 16 paires d'optodes sources disponibles) sur l'activation cérébrale ayant lieu sur toute la partie antérieure de la tête, étant donné l'hypothèse de l'étude qui prévoit une activation dans la région préfrontale dorsolatérale. Compte tenu des contraintes techniques quant au nombre de sources disponibles et à la distance optimale de 3 cm qui doit séparer toutes les sources des détecteurs, les régions temporales postérieures, pariétales et occipitales ne sont pas couvertes.

#### 6.4 La tâche Gymnase

La tâche du programme d'entraînement Gymnase de la première étude doit être utilisée pour être en mesure de répondre à la question de recherche et connaître les régions cérébrales activées par la tâche de la première étude. Toutefois, pour comparer l'activation cérébrale des participants entre eux, il est nécessaire qu'ils effectuent la même tâche comprenant les mêmes paramètres pour chacun des participants. Ainsi, la tâche expérimentale Gymnase débute par la seule présentation de la grille durant cinq secondes, suite à quoi le stimulus est présenté durant 10 secondes, après quoi un délai d'attente de 10 secondes précède l'enregistrement de la réponse. Les divers choix disponibles pour s'entraîner sur des essais de niveaux de difficulté différents ont été enlevés, compte tenu que la présente étude ne consiste pas en un entraînement. Pour des fins de comparaisons, les participants doivent effectuer des essais avec des stimuli qui contiennent tous un même nombre de lignes à retenir en mémoire et un même temps de rétention. Le nombre de lignes que peut contenir un stimulus a donc été fixé à six lignes, alors que le temps de rétention a été fixé à 10 secondes. Pour permettre l'activation du cortex préfrontal dorsolatéral (CPFDL), le niveau de difficulté de la tâche doit être suffisamment élevé pour que les participants doivent fournir un effort actif pour réussir à retenir les stimuli présentés. Le choix du temps de rétention de 10 secondes s'est imposé de soi, compte tenu qu'il s'agissait du temps de rétention du programme d'entraînement Gymnase qui se rapproche le plus des périodes de temps fréquemment employées par les chercheurs dans le domaine de la MTVS et en imagerie basée sur la réponse hémodynamique du cerveau (IRMf, fNIRS).

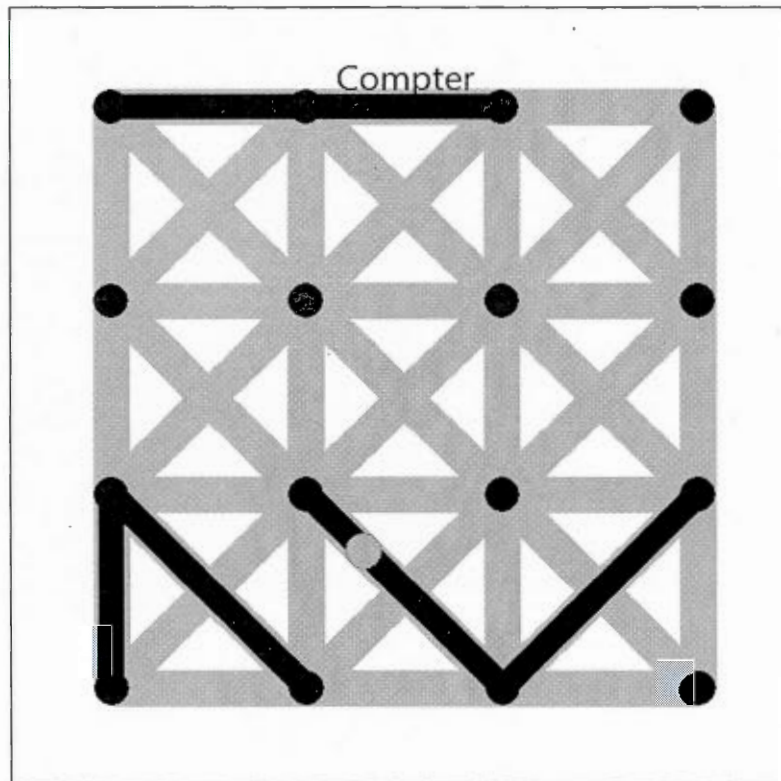
Enfin, lorsqu'arrive le temps pour le participant d'émettre sa réponse et d'identifier les lignes retenues comme faisant partie du stimulus présenté, la grille présentée a été légèrement modifiée pour permettre une bonne concordance avec la tâche contrôle décrite ci-après: des cercles ont été ajoutés sur chacune des lignes de la grille. Ainsi, l'émission de la réponse a été simplifiée : le participant doit cliquer à l'intérieur du cercle des lignes qui correspondent à sa réponse, plutôt que de les tracer entièrement comme c'était le cas lors de la première étude.



## 6.5 La tâche contrôle

La tâche contrôle vise à engager le participant dans les mêmes processus perceptuels, cognitifs et moteurs que la tâche d'entraînement du Gymnase de concentration à l'exception de la rétention du stimulus visuo-spatial d'un niveau de difficulté suffisant pour engager la mémoire de travail correspondante. Lorsqu'il effectue la tâche contrôle, le participant doit observer et porter attention à chacune des lignes présentées, comme c'est le cas pour la tâche d'entraînement, mais sans que la tâche donne l'intention de les encoder en mémoire de travail. L'encodage de la tâche contrôle devait être visuel et très simple de manière à maintenir l'attention sur la tâche tout en évitant que le participant s'engage dans des activités cognitives libres qui activeraient la MTVS. De plus, la réponse motrice devait être similaire à la réponse motrice de la tâche expérimentale et comporter, autant que possible, le même type et nombre de mouvements (cf. clics).

Lors de la tâche contrôle, la même grille est d'abord présentée au participant durant cinq secondes, tout comme pour la tâche expérimentale. Par la suite, un stimulus de six lignes survient de la même façon que lors de la tâche Gymnase et durant une période de temps équivalente (10 secondes). Toutefois, la tâche ne consiste pas à retenir les lignes en mémoire mais plutôt à porter attention à un cercle qui se déplace (par sauts) d'une ligne noire du stimulus à une autre, selon un balayage de gauche à droite et de haut en bas, comme c'est le cas pour la lecture. Le diamètre des points de la grille correspond à la largeur des lignes du stimulus. Le cercle est de couleur gris pâle et sa présence est d'une durée variable qui n'excède pas 3,8 secondes. À l'occasion, sa teinte de gris est modifiée pour une teinte de gris plus foncée alors qu'il est sur l'une ou l'autre des lignes du stimulus. La modification de teinte de gris a lieu durant les derniers 400 ms avant que le point se déplace sur une autre ligne de la grille. La tâche contrôle consiste pour le participant à compter le nombre de fois où le cercle change de teinte de gris durant un essai et à retenir la réponse, un simple nombre entre zéro et six, durant le temps de rétention qui suit.



**Figure 6.1** Interface graphique de la tâche contrôle durant la présentation du stimulus.

Le temps de rétention en mémoire de ce nombre est de 10 secondes, la même durée que dans la tâche expérimentale Gymnase, et a lieu de la même façon : seule la grille demeure présente. Le stimulus et le cercle ne sont plus présents. Pour l'émission de la réponse, la même grille de réponses que lors de la tâche Gymnase est présentée à l'écran où un cercle est présent sur chacune des lignes de la grille. Toutefois, les chiffres de zéro à six sont inscrits à l'intérieur de sept cercles. Six cercles sont situés sur les lignes présentées durant la présentation du stimulus, alors que le septième cercle est situé sur une autre ligne choisie au hasard. Pour émettre sa réponse, le participant doit cliquer sur tous les cercles qui portent un chiffre qui ne correspond pas à la réponse retenue en mémoire. Ainsi, la réponse motrice de la tâche contrôle exige de cliquer sur six cercles tout comme pour la tâche expérimentale Gymnase.

Compte tenu que certains participants ont bénéficié de temps de pratique sur la tâche d'entraînement Gymnase, tous les participants étaient capables de réussir des stimuli contenant six lignes. Néanmoins, il demeure possible que le niveau de difficulté choisi représente un défi différent pour chacun des participants. Pour certains, réussir des stimuli de six lignes est un exploit personnel alors que pour d'autres, les mêmes stimuli peuvent exiger un effort moindre en ce qui concerne les stratégies et les moyens personnels employés pour réussir les essais. Par conséquent, en plus du fait que les diverses régions cérébrales activées pourraient varier selon les individus et la stratégie qu'ils peuvent adopter, il est possible que l'activation du CPFDL varie aussi en intensité selon les capacités des participants.

L'expérimentatrice principale est Nancy Bélair, doctorante du présent projet de recherche. Elle est assistée à quelques reprises par Liliane Audet et Hussam Sabouni, tous deux étudiants au premier cycle en psychologie. Pour l'utilisation des appareils et logiciels reliés à l'imagerie optique, la formation de Nancy Bélair a été faite par André Achim tandis que la formation des deux assistants occasionnels a ensuite été effectuée par Nancy Bélair.

#### 6.6 Mesures d'imagerie optique

Les essais de la tâche Gymnase et la tâche contrôle sont chacun d'une durée de 40 secondes. Durant un essai, qu'il soit expérimental ou contrôle, il est possible de distinguer plusieurs périodes de temps distinctes en fonction de l'effort cognitif demandé au participant. Au cours des cinq premières secondes, seul le titre de la tâche apparaît. Durant ce temps, le participant doit se préparer à exécuter soit la tâche expérimentale, soit la tâche contrôle, selon le titre présenté qui est soit « Mémoriser », soit « Compter ». Du point de vue des analyses statistiques, ce premier intervalle de temps devait servir à établir un niveau de base de l'activité cérébrale où le participant est en attente et dans un état de vigilance à l'apparition d'un stimulus, sans autre activité cognitive à effectuer. Cette ligne de base devait permettre ensuite de déterminer si une région cérébrale est activée en comparant cette période avec les autres intervalles de temps qui suivent où le participant s'engage dans une activité cognitive particulière. L'examen des enregistrements a toutefois montré d'importantes fluctuations d'activation durant cet intervalle entre deux tâches, de sorte qu'une approche plus complexe a dû être employée. Pour faciliter les analyses statistiques qui suivront, on considère que les

tâches, expérimentale et contrôle, commencent à la fin de cette annonce de la tâche, à l'apparition même du stimulus. Ce premier intervalle de cinq secondes a donc lieu de -5 à 0 secondes.

Ensuite, le stimulus est présenté durant les 10 secondes suivantes (intervalle de 0 à 10 secondes) où le participant doit s'efforcer d'encoder l'information présentée correctement en mémoire, soit en observant/encodant les six lignes présentées, soit en suivant visuellement le cercle qui se déplace et en comptant le nombre de ses brefs changements de teinte.

Durant l'intervalle suivant (de 10 à 20 secondes), les lignes disparaissent et le participant doit retenir en mémoire soit l'emplacement de chacune des six lignes, soit uniquement le nombre de changements de teinte du cercle qui se déplaçait de ligne en ligne.

Enfin, au cours du dernier intervalle (de 20 à 35 secondes), le participant devait émettre sa réponse et attendre le début de l'essai suivant. Il devait donc cliquer six fois soit sur l'emplacement des lignes retenues en mémoire, soit sur tous les chiffres de zéro à six qui ne correspondent pas au nombre de changements de teinte retenus en mémoire.

Les intervalles utilisés lors des analyses statistiques seront légèrement différents afin de tenir compte du délai d'environ deux secondes de la réponse hémodynamique. Ainsi, pour fins d'analyse, la période où l'activation cérébrale correspond à l'encodage de l'information en mémoire s'étend de deux à 12 secondes. La période de rétention en mémoire qui suit s'étend, quant à elle, de 12 à 22 secondes et enfin, la période qui correspond à l'émission de la réponse est fixée de 22 à 30 secondes, compte tenu que peu de temps semble nécessaire pour émettre la réponse motrice, de six clics de souris à l'ordinateur, en rappel libre. L'intervalle final qui s'étend de 30 à 40 secondes (incluant le -5 à 0 de base du prochain essai) consiste en un temps de repos pour le participant afin de permettre une diminution de l'activation cérébrale et un retour à son niveau de base. Ainsi, cet intervalle ne sera pas considéré lors des analyses statistiques. Étant donné que le but premier de l'étude est de vérifier si la tâche d'entraînement est véritablement une tâche de MTVS, l'intervalle de 12 à 22 secondes depuis l'apparition du stimulus, qui correspond à la réponse cérébrale pour conserver l'activation en mémoire de travail visuo-spatiale, constitue l'intervalle critique pour répondre à la question de recherche.



## 6.7 Procédure

Lors de la séance d'enregistrement en imagerie optique, la procédure débute par la remise de deux copies du formulaire de consentement au participant. Ce dernier reçoit la consigne de lire attentivement le formulaire et de signer et dater les deux copies dans le cas où il consent à participer à l'étude. Dans le cas contraire, le participant aurait été remercié pour son intérêt initial.

Après que le participant ait accepté de participer à l'étude, on procède à l'installation du casque par l'expérimentatrice. Par la suite, on installe chacune des optodes en prenant soin de s'assurer qu'il n'y ait pas de cheveux en-dessous de l'optode et en vérifiant ensuite la qualité du contact de l'optode avec le cuir chevelu, exprimée en décibels (par rapport à un niveau non spécifié), par l'intermédiaire du programme CW6. Une optode qui a un contact d'une qualité inférieure à 90 db doit être réinstallée en vue d'en améliorer le contact avec le cuir chevelu du participant. Les réceptacles d'optodes sur le bonnet fournissent, avant qu'on y fixe leur optode, un accès pour écarter les cheveux là où l'optode doit faire contact avec le cuir chevelu.

Avant de commencer l'enregistrement, les lumières de la pièce sont fermées pour minimiser les risques que de la lumière ambiante atteigne aussi les détecteurs, en plus de la lumière rouge ou infrarouge en provenance des sources. On débute ensuite l'enregistrement d'un premier bloc d'essais expérimentaux et contrôles. Une courte pause est proposée au participant avant l'enregistrement du bloc suivant, de même qu'avant l'enregistrement du dernier bloc. Dès que la séance est terminée, les optodes et le casque installés sur la tête du participant sont retirés et ce dernier est remercié pour sa participation.

## 6.8 Analyses planifiées

Outre les procédures standards de traitement des données brutes telles que le rejet des artefacts, une analyse du groupe de participants est effectuée dans un premier temps. Advenant l'absence d'activation cérébrale particulière et de résultats significatifs allant dans le sens de l'hypothèse alternative, des analyses intrasujet ultérieures sont planifiées pour vérifier si on peut détecter une certaine activation chez certains participants.



Les analyses de groupe consistent d'abord à utiliser, pour chaque participant, la moyenne des essais de chaque condition, expérimentale et contrôle, en considérant tous les canaux optiques ensemble, comme s'ils se suivaient tous, les uns à la suite des autres. La moyenne des essais de la condition contrôle est ainsi soustraite de la moyenne des essais de la condition expérimentale, ce qui devrait ne laisser que l'activation cérébrale supplémentaire qui dépend de la tâche Gymnase et cela, pour chaque participant séparément. Par la suite, le test CP1 (Achim, 1995) de détection de signal, basé sur les scores factoriels sur la première composante principale de ces différences bout-à-bout, est appliqué. Plus précisément, les différences d'activation des différents participants, calculées précédemment, sont utilisées pour en extraire la courbe d'activation principale qui permet de reproduire le mieux possible les courbes de différence de chaque participant, en donnant à cette courbe la plus prototypique une pondération appropriée pour chacune, laquelle pondération est le score factoriel de la première composante principale des courbes de différence. Enfin, un test t de Student est effectué sur la moyenne des poids de la composante principale extraite afin de vérifier si cette moyenne diffère de zéro, ce qui signifierait qu'une forme commune est bien représentée, avec la même polarité, sur l'ensemble des participants, auquel cas l'hypothèse nulle est rejetée.

Advenant la possibilité que les analyses de groupe ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle, des analyses intra-sujet peuvent être effectuées. De la même façon que lors des analyses de groupe, tous les canaux optiques seront considérés ensemble, comme s'ils se suivaient tous, les uns à la suite des autres et cela, pour chaque essai, qu'il soit contrôle ou expérimental. Les essais de deux types jouent ici le rôle de sujets de deux groupes à comparer dans un design inter-groupe classique. Par la suite, le test CP2 (Achim, 2001) est appliqué, lequel ne considère pas les essais individuels de chaque condition comme appariés mais considère *a priori* qu'il pourrait y avoir deux formes de réponses, une par condition, outre le bruit dans les enregistrements. Pour cela, une analyse en deux composantes principales sur l'ensemble des courbes, indépendamment de la condition, vise à extraire deux activations cérébrales principales, qui devraient être des combinaisons de l'activation cérébrale du participant lors des conditions expérimentale et contrôle. Les pondérations de ces deux composantes extraites, pour reproduire le plus près possible chacune des courbes, sont ensuite déterminées. Une analyse multivariée de ces deux pondérations simultanées, le  $T^2$  de

Hotelling pour groupes indépendants, permet alors de constater si les deux conditions diffèrent entre elles sur leurs paires de pondérations. La même procédure est appliquée pour chaque participant.

Dans le cas où une activation est détectée pour l'ensemble des canaux bout-à-bout, les analyses statistiques peuvent être reprises pour chaque canal optique séparément, à titre de statistique descriptive, et cela autant pour l'analyse de groupe que pour les analyses intra-sujet, pour mieux localiser l'emplacement de l'activation cérébrale. Ainsi, dans le cas où l'hypothèse nulle globale est rejetée, la reprise de la procédure, canal par canal, vise à décrire la localisation de l'activation et à ce titre, ne requiert pas de correction de Bonferroni. Dans le cas contraire où l'hypothèse nulle serait acceptée au test global, la reprise de la procédure, canal par canal, visera alors la détection d'une activation cérébrale plus localisée et requiert cette fois une correction de Bonferroni pour tenir compte du nombre de tests qui correspond alors au nombre de canaux (100 canaux). Le seuil de probabilité est alors porté à  $p \leq ,0005$ .

## 6.9 Récapitulation

L'étude principale issue de la présente recherche doctorale visait à entraîner la MTVS des enfants atteints d'un TDAH et à vérifier si l'entraînement permet aux enfants d'améliorer leurs performances lors de diverses épreuves neuropsychologiques visant à mesurer la MTVS ainsi que d'autres fonctions cognitives connexes telles que les fonctions exécutives, par rapport aux mêmes mesures prises avant l'entraînement et en comparaison avec des enfants qui n'ont pas reçu d'entraînement. Malheureusement, en plus de rencontrer des contretemps sur le plan de l'implantation dans certaines écoles primaires qui ont participé et peut-être à cause de cela, les résultats n'ont montré aucun effet de l'entraînement. La question de l'adéquation de l'implantation a permis de jeter un doute sur la validité des résultats. Il importe maintenant de vérifier si la tâche d'entraînement est véritablement une tâche de MTVS. Dans cette seconde étude, l'activation cérébrale lors de la pratique de la tâche d'entraînement devrait correspondre aux régions cérébrales habituellement activées lors de tâches de MTVS, le cortex préfrontal dorsolatéral.

Dans le cas où la seconde étude ne permettrait pas d'activer le cortex préfrontal dorsolatéral, c'est le principe même du programme d'entraînement créé qui pourrait être

remis en cause et il conviendrait de s'interroger sur ce qui distingue la tâche du programme d'entraînement du Gymnase des autres tâches de MTVS qui activent le cortex préfrontal dorsolatéral. Dans le cas contraire, c'est plutôt l'implantation des entraînements, pour une tâche qui en serait une de MTVS, qui serait remise en cause. Dans ce cas, il serait pertinent de s'interroger sur les modalités de l'implantation du programme d'entraînement dans les écoles primaires avec une clientèle d'enfants atteints du TDAH. La méthodologie prévue lors de l'élaboration de l'étude pourrait alors être revue afin d'identifier les éléments qui pourraient bénéficier de modifications en vue de mieux encadrer la tâche en fournissant un programme d'entraînement mieux adapté qui tiendrait davantage compte des besoins des participants atteints du TDAH sur le plan cognitif et comportemental, ainsi que des diverses contraintes des milieux scolaires.

## CHAPITRE VII

### RÉSULTATS

L'hypothèse principale de recherche consistait à vérifier si les régions cérébrales activées lors de l'exécution d'une tâche appariée à celle du programme d'entraînement Gymnase sont les mêmes régions cérébrales que celles habituellement activées par une tâche de MTVS, principalement la région du CPFDL.

Dans un premier temps, le système CW6 procède lui-même à une réduction des données où les enregistrements bruts sont démodulés. À chaque longueur d'onde, un signal proportionnel au nombre de photons récupérés est donné par le système, échantillonné à 25 Hz. Au cours de cette démodulation des enregistrements, des artefacts techniques de nature mathématique et informatique surviennent et des points écartés par rapport au signal lumineux sont créés. Ces points sont des manifestations impossibles dans la réalité et ne peuvent correspondre en aucun temps à une réponse hémodynamique du participant. Dans notre traitement, ces points sont détectés automatiquement et ramenés au plus proche de leurs voisins immédiats.

Par la suite, une première phase d'analyses vise à établir la ligne de base avec laquelle les courbes seront comparées ultérieurement, les segments de 5 secondes avant la présentation des stimuli s'étant révélés inappropriés. Il s'agit donc ici de retrouver ce que serait le niveau moyen local d'activation, indépendamment de tendances lentes qui reflètent plutôt des changements dans le couplage des optodes avec le cuir chevelu (sueur, légers déplacements, etc.).

Pour identifier la tendance lente des courbes dans le temps de façon à l'enlever pour restituer un niveau de base adéquat pour chaque essai, les courbes de chacun des trois blocs d'essais ont d'abord été divisées sur leur longueur en 10 parties égales pour chacune desquelles une mesure de tendance centrale a été établie. Pour limiter l'influence des gros artefacts du signal (qui seront identifiés visuellement plus tard) sur la ligne de base, la tendance centrale est estimée par la moyenne émondée de 25% des valeurs disponibles à chaque extrémité de la distribution d'amplitudes des points de chaque canal, de façon à ne conserver que la fraction centrale des points représentant 50% des amplitudes. Ainsi, les points de la courbe situés aux deux extrémités, positive et négative, et représentant chacun 25% de l'amplitude totale, ne contribueront pas à l'établissement de la ligne de base, ce qui minimise considérablement l'influence d'artefacts possibles sur l'estimation de la tendance centrale de chaque tranche temporelle.

Quand cette approche fut développée par André Achim, il avait constaté des parcours globalement modulés de façon monotone (c'est-à-dire tendance du signal à s'atténuer avec le temps), ce qu'on tente souvent de corriger en enlevant des données leur tendance linéaire. L'observation montrait toutefois que la dérive de la ligne de base est souvent loin d'être constante du début à la fin d'un bloc d'enregistrement. Ceci indiquait que la dérive lente dans les données serait mieux représentée par une fonction logistique, soit une fonction monotone sigmoïde, qui prend la forme d'un S. L'ajustement d'une sigmoïde sur les données (ici les 10 mesures consécutives de tendance centrale) peut aussi prendre la forme d'une tendance linéaire si c'est ce que représentent les données. En un tel cas, l'échelle de temps est ajustée pour que seule la partie centrale de la sigmoïde, là où elle croise sa mi-hauteur, corresponde à l'intervalle des données. Ainsi, la tendance sigmoïdale des données, considérée comme le patron temporel de dérive de la ligne de base, est identifiée, par moindres carrés, à partir des 10 mesures de tendance centrale. Cette fonction peut ensuite être étendue à l'échelle originale des points de données individuels et soustraite des enregistrements pour ainsi rétablir une ligne de base constante. Notons que ceci est effectué sur les données brutes, c'est-à-dire sur les taux de photons captés à chacune des deux longueurs d'ondes, et non sur les taux d'hémoglobine oxygénée ou désoxygénée qu'on dérive à partir de ces premières données.



Lors de l'observation initiale des courbes, comme on l'a déjà mentionné, la période de temps qui précède les tâches, d'une durée de 5 secondes (de -5 à 0 seconde) où les consignes sont présentées au participant, montrait des variations importantes de nature erratique d'un essai à l'autre. Compte tenu de la méthodologie et de l'organisation des tâches expérimentale et contrôle, la période de temps qui s'étend de -5 à 0 seconde pour un essai, correspond aussi à la période de temps qui s'étend de 35 à 40 secondes pour l'essai précédent. Dans ce contexte de ligne de base des essais individuels non fiable, les essais expérimentaux et contrôles sont comparés entre eux, sur l'ensemble de la durée des tâches, c'est-à-dire sur le signal corrigé à chaque canal pour la meilleure estimation obtenue pour la dérive du signal dans le temps à l'aide de la fonction logistique sigmoïdale. Cette procédure a été reprise pour chaque canal optique de chaque participant et cela, pour chacun des trois blocs d'enregistrements.

Suite au prétraitement qui consiste à ramener à leur plus proche voisin les courts segments qui émanent d'erreurs locales dans la démodulation du signal et à corriger la dérive temporelle de chaque canal, on procède à un examen visuel des courbes de variation d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée des essais individuels. Ceci permet le repérage d'artefacts locaux (e.g. dus à un mouvement brusque du participant ou de cause indéterminée) et le rejet des essais correspondants. Le système de traitement développé par André Achim présente en position anatomique les courbes, à tous les canaux, des essais par groupe de 10, dans un ordre aléatoire indépendamment de la condition à laquelle elles appartiennent, qu'il s'agisse de la condition expérimentale ou de la condition contrôle. En éliminant ainsi l'identité des conditions, on met l'examen des artefacts à l'abri de biais de jugement humain pour décider si une déviation à certains canaux semble réelle ou un artefact. La présentation simultanée des canaux peut aider à juger si la variation dans une courbe par rapport aux courbes des neuf autres essais présentés simultanément semble d'origine cérébrale ou technique. Suite à l'observation d'une courbe dans tous les canaux, lorsqu'une courbe est jugée comme contenant un artefact, elle est retirée de tous les canaux. Ainsi, l'essai entier qui correspond à la durée totale d'un problème présenté au participant est retiré des données qui seront analysées ultérieurement.

Compte tenu du caractère subjectif et de l'importance que revêt le rejet des artefacts dans les analyses des résultats et du peu d'essais qui restaient chez certains participants après le premier examen, la procédure d'identification visuelle a été reprise entièrement une seconde fois pour s'assurer que les courbes d'essais rejetées étaient jugées comme étant des artefacts à deux reprises. Ainsi, pour chaque participant, toutes les courbes, identifiées à deux reprises comme étant des artefacts, ont été retirées des données en vue des analyses statistiques ultérieures. Les courbes qui ont fait l'objet d'une décision différente lors de la reprise de la procédure de réjection des artefacts ont donc été identifiées une seule fois comme étant un artefact. Ces dernières courbes ont été regroupées et revues une troisième fois, pour chaque participant. La décision prise au terme de cette procédure, concernant l'identification d'une courbe comme étant ou non un artefact, a été définitive.

Les premières analyses sont des statistiques de groupes effectuées sur l'ensemble des participants. L'hypothèse postule que, lors de l'exécution d'un programme qui utilise la tâche du programme d'entraînement Gymnase, le cortex frontal, plus spécifiquement la région du CPFDL, est activé par rapport à la tâche contrôle. L'analyse statistique vise en fait à détecter des différences d'activation, sans égard à quelle condition en montre le plus. Selon l'hypothèse nulle, le groupe de participants ne montrera pas d'activation du CPFDL lors de l'exécution de la tâche du programme Gymnase différente de celle pour la tâche contrôle. On note ici que cette hypothèse implique que la différence d'activation entre les deux tâches prenne sensiblement la même forme chez les différents participants. Pour vérifier ces hypothèses, une moyenne a d'abord été calculée sur les courbes pour chacune des conditions, expérimentale et contrôle, pour chaque participant. La différence entre les courbes moyennes issues des conditions expérimentale et contrôle de chaque participant a ensuite fait l'objet d'une analyse de groupe qui utilise la méthode des composantes principales (CP1) et cela, pour chaque intervalle d'intérêt des tâches. Des tests t de Student ont ensuite été effectués sur les scores factoriels, afin de vérifier si leur moyenne diffère de zéro et cela, pour chaque intervalle de temps d'intérêt des tâches. Les résultats de ces premières analyses sont présentés au tableau 7.1.

**Tableau 7.1**  
 Résultats des tests de Student pour tous les participants, aux différents intervalles, sur l'ensemble des canaux optiques (les uns à la suite des autres).

Intervalles de temps des tâches	Résultats
2 à 30 secondes	$t(7) = 1,06, p = ,3259$
2 à 12 secondes	$t(7) = 0,81, p = ,4464$
12 à 22 secondes*	$t(7) = 1,20, p = ,2708$
22 à 30 secondes	$t(7) = 1,01, p = ,3447$

\* Intervalle d'intérêt principal, qui correspond à la rétention de l'information en MTVS par les participants.

À ces analyses plus globales, aucun résultat n'est significatif. Ainsi, lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble, la tâche expérimentale, par rapport à la tâche contrôle, ne permet de montrer aucune différence d'activation cérébrale qui soit sensiblement la même chez tous les participants. L'hypothèse nulle est donc acceptée pour le moment : lors de l'exécution de la tâche du programme d'entraînement Gymnase, la région du CPFDL n'est pas activée (différemment de la tâche contrôle) chez tous les participants, du moins si on considère un test omnibus regroupant tous les points d'un intervalle et tous les 100 sites d'enregistrement, ce qui laisse passablement d'occasions au bruit de fond de cacher d'éventuels effets qui seraient très localisés.

Par la suite, les canaux ont été analysés séparément et cela, à chacun des intervalles de temps, pour vérifier si une activation cérébrale, plus locale, dans seulement quelques canaux, serait présente au même endroit chez tous les participants. Les résultats sont présentés à l'appendice E.

Lorsque tout l'intervalle des tâches est considéré par l'analyse par composante principale (de 2 à 30 secondes), aucun canal optique n'est statistiquement significatif. Lorsque la durée des tâches est séparée pour tenir compte des tâches cognitives effectuées, les analyses par composante principale sont alors effectuées sur les intervalles de temps où

les participants ont procédé spécifiquement à l'encodage des stimuli visuo-spatiaux (de 2 à 12 secondes), à leur rétention en mémoire de travail (de 12 à 22 secondes) et à l'émission d'une réponse (de 22 à 30 secondes). Très peu de canaux sont statistiquement significatifs, tant pour l'hémoglobine oxygénée que désoxygénée, avant que la correction de Bonferroni soit effectuée pour le nombre de tests statistiques, correspondant au nombre de canaux (100). Aucun canal n'était significatif avec la correction. Ainsi, bien que les analyses aient été effectuées sur chaque canal optique individuellement, la tâche du Gymnase, par rapport à la tâche contrôle, ne permet de montrer aucune activation cérébrale localisée dans l'ensemble des participants, et cela, à chacun des intervalles de temps des tâches. L'hypothèse nulle demeure acceptée.

Les taux de succès des participants aux tâches, expérimentale et contrôle, ont ensuite été extraits, de façon à être en mesure de les mettre en relation avec les résultats obtenus au niveau de l'activité cérébrale. Les résultats sont présentés au tableau 7.2.

La tâche expérimentale semble avoir été plus difficile à réussir durant la séance d'enregistrement de l'activité cérébrale par imagerie optique que lors de l'évaluation initiale effectuée au préalable. En effet, six des huit participants avaient réussi les deux essais comprenant un stimulus à six lignes séparées et même davantage pour certains d'entre eux, alors que les deux autres ont eu la chance de s'entraîner sur le programme d'entraînement de l'étude 1 avant la séance d'enregistrement de l'activité cérébrale en imagerie optique.

Une seconde hypothèse alternative consiste à vérifier si l'activation cérébrale du cortex frontal serait présente chez quelques participants. Selon une hypothèse nulle plus générale que la première, aucun participant ne montre d'activation cérébrale frontale pour la tâche par rapport à la condition contrôle. Pour vérifier cette hypothèse, des analyses intra-sujet ont été effectuées. Ainsi, pour chaque participant, une analyse par composantes principales (CP2) a été effectuée sur les essais, expérimentaux et contrôles, pour chaque intervalle de temps, en considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) dans un premier temps. Rappelons que, dans ce test intra-sujet, les essais individuels jouent le rôle de sujets dans deux conditions distinctes et que, pour chaque participant, deux composantes principales sont obtenues pour chaque intervalle de temps d'intérêt des tâches, ainsi que les poids à donner à ces composantes pour reproduire les courbes des essais individuels d'où les deux

composantes sont issues. Par la suite, un test  $T^2$  de Hotelling est effectué pour vérifier si les essais expérimentaux diffèrent des essais contrôles sur les moyennes des scores factoriels des deux composantes traitées simultanément. Le  $T^2$  est transformé en distribution F pour obtenir un niveau de probabilité des résultats sous l'hypothèse nulle. Les degrés de liberté de F dépendent du nombre d'essais valides dans l'une et l'autre des conditions. Les résultats pour le test omnibus (tous les canaux et tous les points de l'intervalle désigné) de chacun des participants pour les divers intervalles sont présentés au tableau 7.3.

**Tableau 7.2**  
Résultats des participants aux essais et taux de réussite à l'étude 2.

Participants	Sexe	Tâche	Réussis	Échoués	Taux de réussite
1	F	Expérimentale :	21	9	70%
		Contrôle :	16	14	53%
2	M	Expérimentale :	28	2	93%
		Contrôle :	30	0	100%
3*	F	Expérimentale :	17	2	89%
		Contrôle :	14	5	74%
4	F	Expérimentale :	21	9	70%
		Contrôle :	27	3	90%
5	F	Expérimentale :	21	9	70%
		Contrôle :	29	1	97%
6	M	Expérimentale :	23	7	77%
		Contrôle :	28	2	93%
7	M	Expérimentale :	20	10	67%
		Contrôle :	28	2	93%
8	M	Expérimentale :	25	5	83%
		Contrôle :	28	2	93%
Moyenne**		Expérimentale :	23	7	77%
		Tâche contrôle :	26	4	87%

\* Le participant no. 3 n'a complété que 19 des 30 essais.

\*\* La moyenne comprend une inférence des résultats du participant no. 3 à 30 essais.



Tableau 7.3

Résultats des tests  $T^2$  de Hotelling, transformés en F, pour chaque participant, à chaque intervalle de temps d'intérêt des tâches, en considérant tous les canaux bout à bout.

Intervalle de 2 à 30 secondes	Résultat
Participant numéro 1	F (2, 44) = 2,29, p = ,1129
Participant numéro 2	F (2, 38) = 0,20, p = ,8179
Participant numéro 3	F (2, 32) = 3,35, p = ,0479*
Participant numéro 4	F (2, 45) = 2,76, p = ,0740
Participant numéro 5	F (2, 47) = 4,74, p = ,0133*
Participant numéro 6	F (2, 28) = 2,67, p = ,0870
Participant numéro 7	F (2, 14) = 0,60, p = ,5628
Participant numéro 8	F (2, 45) = 0,58, p = ,5649
Intervalle de 2 à 12 secondes	
Participant numéro 1	F (2, 44) = 0,24, p = ,7882
Participant numéro 2	F (2, 38) = 0,46, p = ,6378
Participant numéro 3	F (2, 32) = 0,32, p = ,7314
Participant numéro 4	F (2,45) = 0,31, p = ,7386
Participant numéro 5	F (2, 47) = 0,90, p = ,4147
Participant numéro 6	F (2, 28) = 3,30, p = ,0519
Participant numéro 7	F (2, 14) = 0,51, p = ,6113
Participant numéro 8	F (2, 45) = 0,82, p = ,4455
Intervalle de 12 à 22 secondes <sup>1</sup>	
Participant numéro 1	F (2, 44) = 1,20, p = ,3096
Participant numéro 2	F (2, 38) = 0,29, p = ,7487
Participant numéro 3	F (2, 32) = 2,73, p = ,0801
Participant numéro 4	F (2, 45) = 3,53, p = ,0376*
Participant numéro 5	F (2, 47) = 7,31, p = ,0017*
Participant numéro 6	F (2, 28) = 2,38, p = ,1111
Participant numéro 7	F (2, 14) = 0,70, p = ,5138
Participant numéro 8	F (2, 45) = 0,44, p = ,6491
Intervalle de 22 à 30 secondes	
Participant numéro 1	F (2, 44) = 0,91, p = ,4081
Participant numéro 2	F (2, 38) = 0,14, p = ,8708
Participant numéro 3	F (2, 32) = 7,40, p = ,0023*
Participant numéro 4	F (2, 45) = 6,71, p = ,0028*
Participant numéro 5	F (2, 47) = 6,72, p = ,0027*
Participant numéro 6	F (2, 28) = 0,89, p = ,4215
Participant numéro 7	F (2, 14) = 0,63, p = ,5447
Participant numéro 8	F (2, 45) = 2,68, p = ,0792

<sup>1</sup>Intervalle d'intérêt principal pour la présente étude.

\* Résultat statistiquement significatif,  $p < ,05$ .

À ces analyses, trois participants montrent des résultats statistiquement significatifs (participants numéro 3, 4 et 5). Deux d'entre eux montrent une différence significative sur l'intervalle d'intérêt principal, soit celui de 12 à 22 secondes qui correspond à l'intervalle où le participant retient l'information présentée en MTVS. Ainsi, lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble (les uns à la suite des autres), deux participants semblent, selon le test omnibus, activer leur MTVS de façon différente selon qu'il s'agisse des stimuli de la tâche expérimentale ou de ceux de la tâche contrôle.

Lorsque l'ensemble de la durée des opérations cognitives est considéré (intervalle allant de 2 à 30 secondes) où toutes les opérations cognitives sont confondues, deux participants, 3 et 5, ont des résultats statistiquement significatifs. Ainsi, pour ces participants, les essais expérimentaux diffèrent significativement des essais contrôles quelque part sur l'ensemble de la durée des tâches, lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble (les uns à la suite des autres).

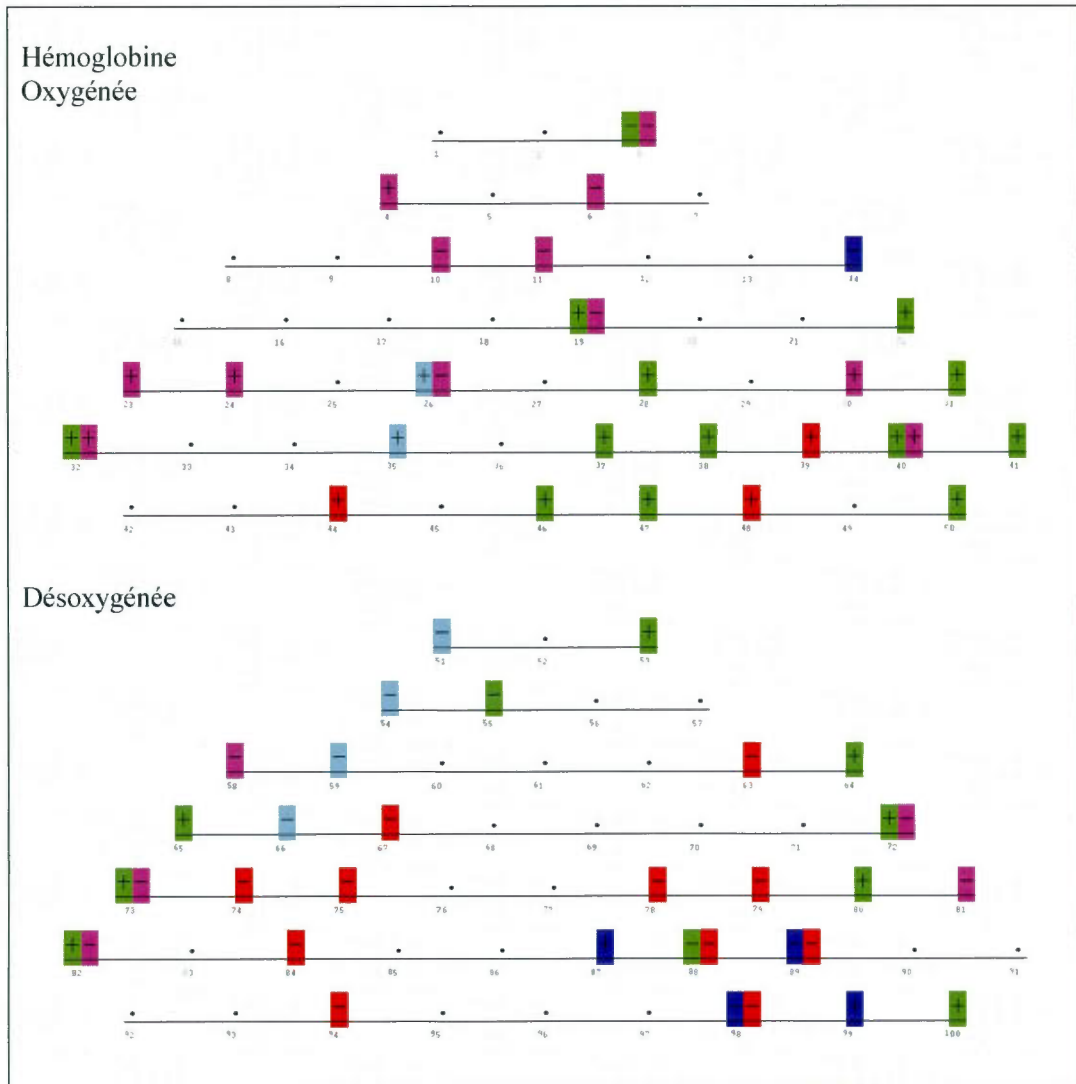
Lors de l'intervalle qui correspond à l'observation des stimuli par le participant (allant de 2 à 12 secondes), aucun participant ne montre de différence significative entre ses courbes. Ainsi, lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble (les uns à la suite des autres), l'observation des stimuli par les participants ne diffère pas entre les conditions expérimentale et contrôle. Par contre, lors de l'intervalle qui correspond à l'émission de la réponse par les participants (allant de 22 à 30 secondes), ce qui inclut le retrait de l'information de la mémoire de travail, les participants 3, 4 et 5 montrent des différences significatives. Ainsi, lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble (les uns à la suite des autres), trois participants émettent une réponse motrice différente, selon qu'il s'agisse de l'émission de la réponse dans la tâche expérimentale ou dans la tâche contrôle.

Ainsi, sur l'intervalle d'intérêt principal où le participant doit retenir l'information présentée en MTVS, deux des huit participants montrent une différence significative entre les deux conditions lorsque tous les canaux optiques sont considérés ensemble (les uns à la suite des autres). Pour identifier les canaux optiques qui diffèrent entre les deux conditions et être en mesure de les localiser sur le plan anatomique, les analyses précédentes ont été reprises pour chaque canal optique et cela, à tous les intervalles de temps des tâches, pour chaque participant. Les résultats sont présentés à l'appendice F. Bien que tous les sites avec  $p \leq ,05$

(valeur du tableau  $\leq 500$ ) y sont accentués, on s'intéresse ici plus particulièrement à la présence de canaux significatifs à ,05 en tenant compte du nombre de tests, soit  $p \leq ,0005$  (valeurs de 5 ou moins dans le tableau), étant donné que ceci est examiné indépendamment, que le test global soit significatif ou pas.

Tous les participants montrent plusieurs canaux (cinq ou plus) qui diffèrent à  $p < ,05$  entre les deux conditions, à chaque intervalle de temps (Appendice F). En tenant compte de la correction de Bonferroni ( $p < ,0005$ ), le nombre de canaux qui diffèrent entre les conditions est réduit à seulement quelques-uns. Les résultats des participants sont synthétisés à la figure 7.1 pour l'intervalle d'intérêt premier pour cette étude, en tenant compte de la polarité de la différence des moyennes (expérimental moins contrôle). À un seuil de signification de  $p \leq ,0005$ , cinq participants montrent chacun quelques canaux optiques significatifs, alors que les trois autres participants (6, 7 et 8) n'ont aucun canal optique significatif. Sur l'ensemble des 100 canaux optiques, 54 canaux différents sont significatifs au moins une fois et 11 d'entre eux le sont pour deux participants.

Ainsi, lorsque la différence entre les deux conditions est considérée, les participants montrent des différences cérébrales sur des canaux optiques appartenant à des régions cérébrales plus précises parmi l'ensemble de la région couverte par le casque utilisé pour procéder aux enregistrements d'imagerie optique. Dans le contexte où les analyses précédentes montraient peu ou pas de résultats statistiquement significatifs, cela signifie que les régions cérébrales qui diffèrent significativement entre les deux conditions ne sont pas les mêmes chez tous les participants et cela, à tous les intervalles de temps des tâches. La figure 7.1 permet de confirmer l'hétérogénéité anatomique des canaux significatifs en fonction des participants, chacun identifié par une couleur. L'hypothèse nulle, selon laquelle aucun participant ne montre de différence d'activation, lors de l'exécution de la tâche du Gymnase, en comparaison avec la tâche contrôle, peut être rejetée. Des participants montrent des différences d'activation cérébrale entre les deux tâches à des régions qui diffèrent entre les participants.



**Figure 7.1** Canaux optiques statistiquement significatifs à  $p \leq ,0005$  aux tests  $T^2$  de Hotelling pour les essais expérimentaux et contrôles de chaque participant, à l'intervalle d'intérêt principal des tâches (de 12 à 22 secondes), disposés en position anatomique, vus du dessus de la tête, devant vers le haut.

Un signe (+/-) indique un canal optique significatif à  $p < ,0005$  pour un participant donné, ainsi que la direction de la moyenne correspondante, positive ou négative.

La couleur du surlignage permet d'identifier le participant pour qui le canal est significatif (Participant 1 : bleu, 2 : vert, 3 : rouge, 4 : turquoise et 5 : rose).

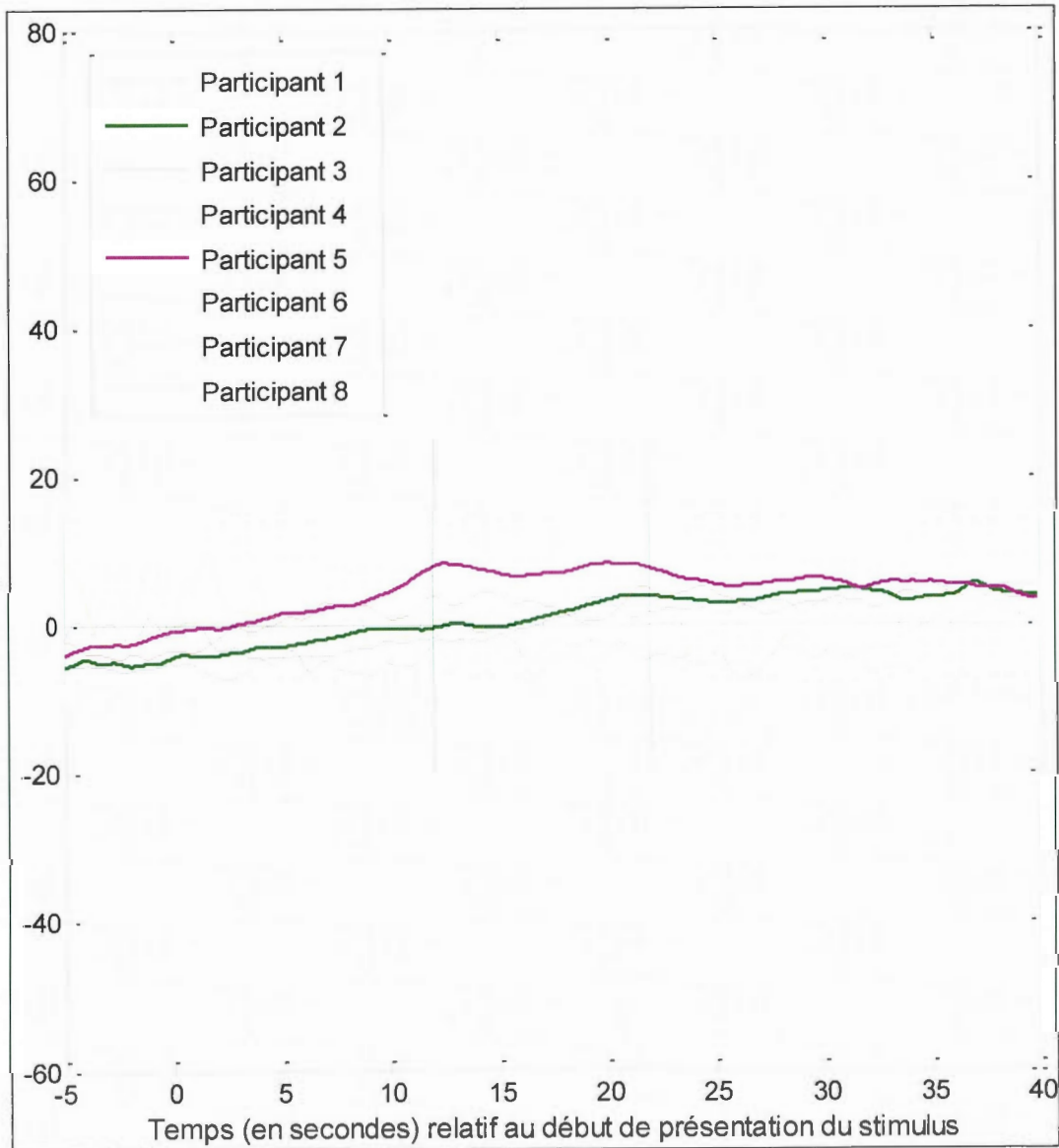
Les canaux sans résultat significatif sont marqués par un point et le numéro de chaque canal (de 1 à 100) est inscrit en petit sous l'emplacement.



L'un des 11 canaux significatifs pour deux participants, soit le canal 32 à l'extrême gauche de la sixième ligne, montrait deux très faibles probabilités, inscrites comme 0 à l'appendice F (i.e.,  $p < ,00005$ ) pour les participants 2 et 5. Or, malgré cela, ce canal donne, à l'appendice E,  $p = ,6048$  pour l'intervalle 12 à 22 s considéré ici, ce qui suggère fortement une hétérogénéité des patrons de réponse, même pour un seul canal. Dans le but d'illustrer cela, la différence de moyennes d'activation entre les conditions expérimentale et contrôle à ce canal fut examinée pour les huit participants (voir figure 7.2). Cela a permis de constater la présence d'artefacts résiduels importants dans les données du participant numéro 7. Un tel phénomène vient du fait que, dans l'examen visuel pour éliminer les artefacts, on optait parfois de garder un essai malgré l'identification d'artefact dans un canal, de façon à conserver un nombre suffisant d'essais pour des canaux jugés plus importants pour les fins de l'étude.

Bien que le participant numéro 7 ne montre aucun canal significatif après la correction du seuil de signification à  $p < ,0005$ , de tels artefacts ont pu influencer les analyses de groupe faites précédemment sur les ondes. Dans ce contexte, ces analyses ont été refaites, en excluant le participant numéro 7. Les résultats sont présentés à l'Appendice G. En excluant le participant numéro 7, sur l'intervalle de temps d'intérêt des tâches (de 12 à 22 secondes), le test CP1 a été refait en considérant, dans un premier temps, tous les canaux optiques, les uns à la suite des autres. Cela donne  $t(6) = 0,90$ ,  $p = ,4036$ . Bien que ce test ne soit pas significatif, le test CP1 a tout de même été refait pour chaque canal individuellement. Lors de ces tests, seulement deux des 100 canaux seraient significatifs ( $p = ,0389$  et  $p = ,0260$ ) si on ne faisait aucune correction pour le nombre de tests. C'est déjà moins que les 5 tests attendus au hasard si les tests étaient indépendants d'un canal à l'autre. Ainsi, en excluant le participant numéro 7, les courbes des autres participants ne montrent pas de différence significative entre les conditions expérimentale et contrôle sur l'intervalle de temps des tâches allant de 12 à 22 secondes. L'hypothèse nulle (par rapport à un *effet commun* aux différents participants) demeure donc acceptée.





**Figure 7.2** Courbes illustrant la différence entre les moyennes des conditions expérimentale moins contrôle, pour chaque participant, au canal optique 32. L'intervalle 2 à 12 secondes est délimité par les lignes verticales pointillées.

Les courbes des participants 2 et 5 pour lesquels les tests  $T^2$  de Hotelling sont significatifs à  $p < ,00005$ , sont plus larges que les autres. Trois lignes pointillées sont ajoutées, soit le niveau zéro à l'horizontal et les limites de l'intervalle d'intérêt principal (à 12 et 22 s).

Toutefois, puisque les participants montrent individuellement des régions significatives entre les conditions mais qui sont hétérogènes entre les participants, une hypothèse nulle plus générale risque d'être rejetée. L'hypothèse nulle générale suppose qu'aucun participant ne montre de différence. Déjà, nous constatons que sur 800 tests (100 tests pas parfaitement indépendants chez 8 participants), 65 donnent  $p \leq ,0005$  (les rectangles de couleur à la figure 7.1). De plus, l'examen de l'appendice F, pour l'intervalle 12 à 22 s, indique que 38 tests ont  $p < ,00005$  (indiqués par 0+ dans la partie gauche des tableaux). Les cinq participants qui avaient au moins un canal significatif en ont respectivement 3, 15, 7, 2 et 11, significatifs à  $p < ,00005$ . Avec les 15 tests sur 100 qui ont  $p < ,00005$  pour le participant 2, il paraît difficile d'accepter l'hypothèse nulle la plus générale.

On peut toutefois formaliser davantage cette analyse qui admet des effets chez différents participants sans exiger que la forme soit la même dans leur ensemble. Bien qu'on ne puisse poser l'indépendance des canaux pour en combiner les probabilités, on admet d'emblée l'indépendance des participants, ce qui permet de combiner les probabilités des divers participants, tant au test global qu'à chacun des canaux. Le test de probabilités combinées de Fisher (1948) peut être utilisé ici pour combiner les probabilités des tests indépendants faits précédemment chez chacun des participants, tels qu'ils sont rapportés à l'appendice F. Ce test permet de fusionner des données comme si chaque participant constituait une étude distincte, tel qu'effectué lors d'une méta-analyse. Les calculs mathématiques utilisés pour obtenir les probabilités combinées sont décrits à l'Appendice H. Dans un premier temps, tous les canaux optiques ont été considérés ensemble (les uns à la suite des autres) pour constituer un test global. Les résultats de cette approche sont présentés au tableau 7.4 pour chacun des intervalles précédemment décrits pour les tests globaux.

**Tableau 7.4**  
 Résultats des tests de probabilités combinées des huit participants au test global.

Intervalle de temps des tâches	Résultats
Intervalle de 2 à 30 secondes	$X^2(16) = 31,86, p = ,0104^*$
Intervalle de 2 à 12 secondes	$X^2(16) = 12,89, p = ,6809$
Intervalle de 12 à 22 secondes <sup>1</sup>	$X^2(16) = 33,86, p = ,0057^*$
Intervalle de 22 à 30 secondes	$X^2(16) = 45,82, p = ,0001^*$

<sup>1</sup>Intervalle d'intérêt principal pour la présente étude.

\* Résultat statistiquement significatif,  $p < ,05$ .

L'intervalle qui considère l'ensemble de la durée des tâches (de 2 à 30 secondes) est statistiquement significatif, de même que celui d'intérêt principal pour la présente étude qui suppose que le participant retient l'information en MTVS (de 12 à 22 secondes). De plus, l'intervalle, où le participant récupère cette information pour émettre sa réponse, est aussi statistiquement significatif. Seul l'intervalle où le participant doit observer les stimuli à l'écran et encoder l'information n'est pas significatif.

Pour mieux identifier les régions cérébrales qui montrent des variations en hémoglobine statistiquement significatives, le test de probabilités combinées a été appliqué aussi pour chaque canal optique sur l'intervalle d'intérêt principal de l'étude (12-22s), en combinant les probabilités de tous les participants. Les résultats simplement exprimés en termes des probabilités résultantes sont présentés à l'appendice I.

Sur l'intervalle d'intérêt principal de l'étude (12-22s), un grand nombre de canaux optiques sont statistiquement significatifs à  $p < ,0005$ . Ainsi, étant donné les faibles probabilités des canaux significatifs chez les participants (voir appendice F) et l'hétérogénéité des canaux significatifs chez les participants, la fusion des probabilités montre une grande majorité de canaux statistiquement significatifs, très largement distribués, pour la différence entre les conditions expérimentale et contrôle sur l'intervalle d'intérêt principal de l'étude (12-22s). En considération des tests inter-sujets nettement non significatifs, on constate que différents participants utilisent des régions cérébrales différentes pour effectuer la tâche

expérimentale relativement à la tâche contrôle. Par conséquent, il devient difficile de localiser une région cérébrale en particulier pour expliquer l'exécution de la tâche utilisée dans le programme d'entraînement Gymnase. Ainsi, les résultats aux tests de probabilités combinées, qu'ils considèrent tous les canaux optiques comme un seul ou qu'ils les testent indépendamment les uns des autres, confirment les résultats illustrés à la figure 7.1 qui montrent des différences d'activation cérébrale significatives entre les tâches expérimentale et contrôle chez 5 des 8 participants, bien qu'elles soient distribuées de manière hétérogène pour ces participants. On ne peut donc pas dire que les tâches ne présentent aucune différence entre elles parmi les participants à cette étude.

## CHAPITRE VIII

### DISCUSSION

Les résultats de la seconde étude ont permis de constater une hétérogénéité de l'activation cérébrale lors de l'exécution de la tâche du programme d'entraînement Gymnase, en comparaison à une tâche contrôle. Ainsi, la tâche expérimentale ne permet pas d'activer spécifiquement le CPFDL de façon sûre chez une bonne portion des participants. Les participants chez qui on détecte une différence d'activation montrent tous leur activation cérébrale dans des régions spécifiques différentes. La figure 7.1 permet de visualiser les diverses régions activées en fonction des participants, soit plus à gauche, soit plus à droite, soit centrale, soit bilatéralement, soit une combinaison de ces possibilités.

L'hétérogénéité de l'activation cérébrale obtenue par imagerie optique, chez cinq des huit participants, laisse penser que la tâche du programme Gymnase autorise l'activation de plusieurs fonctions cognitives différentes plutôt que la seule MTVS. Ainsi, bien que la tâche du programme Gymnase soit une tâche de mémoire qui utilise des stimuli visuo-spatiaux et que, à un niveau de difficulté suffisant, elle nécessite un travail actif pour retenir l'identité des lignes présentées durant un court délai (en secondes), les participants ne semblent pas forcés d'utiliser la MTVS pour réussir la tâche et peuvent utiliser d'autres fonctions cognitives pour le faire.

Le besoin de rétention en mémoire de la tâche expérimentale appariée à celle du programme d'entraînement Gymnase est libre de toute contrainte en ce qui concerne la procédure à utiliser par le participant et ainsi, de la fonction cognitive à utiliser pour y arriver. En effet, la présentation simultanée des stimuli durant 10 secondes permet aux participants une grande liberté d'action relative aux stratégies personnelles d'encodage et de planification



de la réponse motrice. De plus, la réponse motrice n'exige aucune contrainte quant à l'ordre dans lequel les lignes récupérées en mémoire sont identifiées. Un encodage personnalisé est ainsi favorisé, augmentant les possibilités pour le participant de créer des liens plus significatifs entre le stimulus présenté et ses connaissances antérieures. Par ailleurs, cela permet aussi aux participants d'utiliser la fonction cognitive de leur choix pour réussir la tâche, qu'il s'agisse de la MTVS ou d'une autre fonction cognitive, selon leurs habiletés ou simplement leur préférence. Par conséquent, l'activation cérébrale sera différente selon les participants, produisant une hétérogénéité dans les régions cérébrales spécifiques activées. En effet, pour faciliter la rétention en mémoire, un participant peut avoir élaboré un système de coordonnées tel un jeu de bingo, un autre peut avoir imaginé qu'il prenait une photo du stimulus et tente ainsi de retenir le stimulus tel quel, un autre imagine que le stimulus ressemble à des objets, des formes géométriques, des lettres de l'alphabet, etc. Bref, il semble y avoir autant de façons de retenir le stimulus en mémoire que de participants à l'étude. Les données d'imagerie suggèrent que la tâche n'est pas assez spécifique pour forcer l'opération mentale visée.

En effet, la liberté laissée aux participants, pour créer et personnaliser une façon propre d'utiliser leur MTVS pour réussir la tâche expérimentale, semble trop grande et a peut-être permis aux participants d'utiliser d'autres fonctions cognitives que celle visée, telles que l'utilisation de la MTV, par exemple ou même la mémoire épisodique. Il est possible que les participants aient choisi d'utiliser leur plus grande force cognitive, différente pour chacun, pour réussir la tâche, de manière à réduire au minimum les efforts cognitifs nécessaires pour le faire. En effet, pourquoi fournir un plus grand effort cognitif si l'on peut réussir à moindre coût (cognitif)? Pour plusieurs adultes, l'utilisation des ressources verbales est plus facile d'accès et moins exigeante que l'utilisation des ressources non verbales, en raison de leur plus grande fréquence d'utilisation dans la vie quotidienne. À l'inverse, la création de liens entre le matériel présenté durant la tâche expérimentale et du matériel non verbal utilisé moins fréquemment implique une plus grande difficulté à accéder cognitivement au matériel dont la trace mnésique est plus faible et rend ainsi plus difficile la création de liens dans un délai limité par le temps d'observation de la tâche expérimentale (10 secondes lors de l'étude 2 et un minimum de 5 secondes lors de l'étude 1). Ainsi, en fonction de leurs aptitudes, verbales ou non verbales, les participants pouvaient choisir les ressources qui leur

convenaient le mieux pour réussir la tâche expérimentale. Ceci nous amène à la question : Est-ce que les enfants qui ont participé à la première étude auraient pu utiliser plusieurs fonctions cognitives différentes pour résoudre les essais présentés au programme d'entraînement Gymnase?

Par conséquent, les enfants de la première étude ont pu utiliser de la même façon les ressources qui leur convenaient le mieux pour réussir la tâche expérimentale. Par contre, compte tenu du niveau de développement atteint des enfants, de la fréquence d'utilisation de leurs ressources verbales et non verbales et de leurs habiletés à les utiliser, il est possible que les enfants de la première étude, atteints du TDAH, aient fait des choix de ressources cognitives différents des adultes sains, de la deuxième étude, tout en évitant de taxer leur MTVS sous-performante, la tâche d'entraînement ne les obligeant pas assez efficacement à le faire. En effet, en raison de leur jeune âge, les enfants atteints du TDAH qui ont participé à l'étude 1 fréquentent un établissement scolaire de niveau primaire et nécessairement, le niveau de développement atteint de leurs habiletés verbales ne peut être comparé à celui d'adultes sains. À ce titre, ils ne peuvent qu'être moins enclins à utiliser leurs ressources verbales que les adultes sains pour réussir la tâche du programme Gymnase. Cela ne peut que restreindre le choix de fonctions cognitives à utiliser pour réussir un problème de la tâche du programme Gymnase et favoriser l'utilisation des ressources non verbales pour le faire. Toutefois, les entraîneurs des enfants avaient pour rôle de les aider à faire le lien entre le stimulus présenté et divers concepts scolaires, favorisant ainsi une verbalisation minimale des éléments à encoder en mémoire.

Par ailleurs, trois participants de l'étude d'imagerie optique ne montrent aucun canal optique statistiquement significatif à la figure 7.1 (participant numéro 6, 7 et 8), en l'occurrence, trois des quatre hommes ayant participé à l'étude. En rétrospective, on a pu observer deux manières différentes d'appréhender la participation à l'étude. En effet, certains participants accordaient une grande importance à l'étude et à leur rôle dans l'obtention des résultats, alors que d'autres participants se préoccupaient moins du contexte de l'étude et davantage de la tâche qu'ils avaient à effectuer, qu'ils percevaient davantage comme une simple tâche de mémorisation de quelques lignes dans une grille, ce qu'ils avaient déjà très bien réussi lors de l'évaluation préalable. Ainsi, les premiers ressentaient davantage une

anxiété à bien performer et se mobilisaient pour réussir le mieux possible avec le minimum d'erreurs, tandis que les autres montraient davantage une grande confiance en eux face à un simple exercice de mémoire où commettre une erreur est tout de même banal et sans grande conséquence. Alors que les premiers se préparaient à l'arrivée du premier stimulus et tentaient de s'organiser durant le temps d'observation pour être en mesure de retenir toutes les lignes (ex. système de coordonnées), les autres se montraient plus confiants de réussir au premier coup d'œil et pouvaient se donner de petits trucs pour faciliter la rétention, bien que souvent moins structurés. Cela pourrait peut-être expliquer que les participants 6, 7 et 8 ne montrent pas d'activation différentielle à la figure 7.1. L'observation des temps de réaction des participants à émettre leur réponse motrice pourrait peut-être fournir une indication de ces deux manières différentes d'appréhender la participation à l'étude. Malheureusement, bien que des codes permettant d'identifier la réponse émise soient enregistrés dans les fichiers d'imagerie optique, ceux-ci apparaissent à un temps fixe pour chacun des stimuli présentés et ne permettent pas de connaître le temps de réaction pris par le participant pour émettre sa réponse.

D'autre part, certains choix méthodologiques et statistiques peuvent être questionnés surtout en rapport avec les résultats de groupe négatifs, notamment le fait de comparer les conditions expérimentale et contrôle entre elles, sans utiliser d'autres lignes de base que la tendance logistique, la sigmoïde. La période de temps habituellement utilisée comme ligne de base, pour un essai lors de recherches utilisant les potentiels évoqués comme principale méthodologie notamment, correspondrait ici aux cinq secondes précédant l'essai (de -5 à 0 secondes). Comme l'intervalle d'un essai à l'autre était fixe, le début d'un essai a une relation fixe avec la fin de l'essai précédent. Cette période de temps a donc lieu après l'émission de la réponse motrice de l'essai précédent par le participant. L'observation de cette période de temps traditionnelle a permis de relever la présence d'artefacts importants. Compte tenu que l'essai précédent est terminé, il est possible que cette période de temps soit empreinte d'artefacts causés par plusieurs petits mouvements du corps avant le début de l'essai suivant, même brièvement, en guise de détente. C'est pourquoi on n'a pas utilisé cette période comme ligne de base pour chaque essai.

Pour vérifier si le choix de la ligne de base pouvait avoir un impact marqué sur les résultats obtenus, les analyses ont été refaites *a posteriori*, en utilisant la période de temps allant de -5 à 0 seconde comme ligne de base pour chaque essai. Les résultats sont présentés à l'appendice J. La première page de l'appendice montre que les lignes de base potentielles diffèrent entre les conditions chez certains participants, suffisamment pour rendre très significatifs plusieurs tests de probabilités combinées. La page suivante suggère même qu'il y ait des effets de groupe, avec deux valeurs montrant  $p < ,005$ . Les pages suivantes montrent, pour l'intervalle critique de 12 à 22 secondes, des résultats tout à fait comparables à ceux obtenus précédemment : les analyses de groupe effectuées sur les courbes d'activation cérébrale ne sont pas significatives, les analyses intra-sujet montrent une hétérogénéité entre les participants et les combinaisons des probabilités sont grandement significatives. Ainsi, le choix d'utiliser la sigmoïde comme ligne de base ne semble pas avoir nuit aux résultats des analyses.

Par curiosité, les analyses ont aussi été refaites en utilisant la moyenne de l'intervalle analysé comme ligne de base pour chaque essai, sur l'intervalle d'intérêt principal (voir appendice J). Les résultats demeurent comparables aux résultats précédents et conservent la même interprétation. Ainsi, aucun autre choix de ligne de base n'a d'impact significatif sur les résultats obtenus. L'interprétation des résultats demeure la même quelle que soit la ligne de base utilisée (sigmoïde, cinq secondes précédant l'essai, la moyenne de l'intervalle analysé). À cause des différences détectées entre les conditions sur la ligne de base et de la perte d'information sur l'amplitude moyenne dans l'intervalle lorsque la moyenne est utilisée comme ligne de base, nous croyons que l'approche de sigmoïde était ici la plus judicieuse.

Malgré la procédure rigoureuse et impartiale mise en place pour procéder au rejet des artefacts, des artefacts sont demeurés présents dans les données, tel qu'en témoigne l'observation du canal 32 (figure 7.2). La procédure statistique de Rosner (1983) d'exclusion de cas aberrants multiples a été adaptée (par André Achim) et utilisée *a posteriori* pour procéder sur une base statistique au rejet des artefacts, afin de vérifier si une telle procédure, plus systématique et moins subjective que le jugement humain, aurait pu faire une différence importante et significative dans l'identification des artefacts. La procédure de Rosner est basée sur un test univarié et est efficace même en présence de multiples cas aberrants.



Autrement dit, elle offre une bonne résistance aux effets dits de masquage. Une première adaptation simple est faite pour des données en groupes (les deux conditions); cette adaptation vient de Caroni, 1998. Étant donné qu'il y avait plus de points de données, même limitée à l'intervalle d'intérêt premier sur un seul canal (soit 250 points de données), que de courbes jouant le rôle de sujets, une autre adaptation était nécessaire. Cette adaptation consiste à réduire le nombre de points de données en remplaçant les courbes par leur score sur la première composante principale, considérant qu'un artefact important va considérablement influencer la forme de la première composante principale. Les analyses ont ainsi été refaites de deux manières, soit en incluant ou pas les artefacts déjà identifiés visuellement. La procédure était appliquée globalement à l'ensemble des 100 canaux pour le test global, mais séparément pour chaque canal pour le test appliqué à un canal donné. En ce cas, des essais identifiés comme artefacts pouvaient devenir utilisables dans certains canaux où l'artefact ne se manifestait pas. Les résultats sont présentés à l'appendice K. L'interprétation des résultats demeure inchangée. Dans tous les cas, les résultats sont les mêmes : les analyses de groupe effectuées sur les courbes d'activation cérébrale ne sont pas significatives, les analyses intra-sujet montrent une hétérogénéité entre les participants, alors que les combinaisons des probabilités sont grandement significatives en raison de très faibles probabilités des canaux optiques significatifs lors des analyses intra-sujet. Une telle hétérogénéité cérébrale nous incite à douter fortement de l'efficacité du programme Gymnase pour activer la MTVS pour un entraînement cognitif de cette fonction.

Bien que la tâche du programme d'entraînement Gymnase fasse appel, en principe, à la MTVS, les résultats de l'étude 2, une activation cérébrale hétérogène entre les participants, met en doute l'utilisation tant soit peu systématique de la MTVS par les participants comme principale fonction utilisée pour réussir la tâche. D'après cette étude, la tâche du programme d'entraînement Gymnase permet aux participants d'utiliser la MTVS, mais d'autres fonctions cognitives peuvent aussi être utilisées pour réussir la tâche. Les participants peuvent choisir (en dehors du champ de leur conscience, peut-on présumer) la fonction cognitive qu'ils préfèrent utiliser selon leurs forces et faiblesses respectives. À la lumière des données d'imagerie, la tâche du programme d'entraînement Gymnase ne peut être considérée comme étant une tâche spécifique de MTVS, remettant en cause le principe même du programme d'entraînement créé.



Les résultats de l'étude 2 soulignent le grand intérêt pratique de s'assurer qu'une tâche expérimentale d'entraînement cognitif soit comparable en activation cérébrale aux autres tâches de la fonction visée présentes dans la littérature. Ils rappellent l'importance de vérifier la validité d'une tâche en développement, pour laquelle il n'existe pas encore d'études de validité, avant de l'utiliser dans une étude expérimentale. Une étude dans laquelle on procède d'abord à une comparaison entre les régions activées par la tâche en développement par rapport à celles activées par les autres tâches de MTVS via l'imagerie optique, par exemple, permettrait de s'assurer très efficacement de la validité de la tâche en développement et, éventuellement, de la modifier en conséquence de manière à obliger les participants à utiliser la fonction visée, ici la MTVS, plutôt que d'autres fonctions cognitives et à éviter qu'ils contournent ainsi leurs faiblesses cognitives, lors de la résolution de problèmes à la tâche du programme d'entraînement, Gymnase dans le cas présent.

Comme toute étude, la présente étude comporte ses forces et faiblesses. Parmi ses forces, on compte des entraînements adaptés aux capacités cognitives des participants, l'intégration de l'entraînement à l'environnement naturel et à l'horaire scolaire des enfants, ainsi que la participation d'un membre du personnel à titre d'entraîneur de l'enfant pour mieux adapter les stratégies mnémoriques aux apprentissages en cours de l'enfant et favoriser ainsi la généralisation des compétences. D'autres forces notées concernent les mesures, les évaluations cognitives complètes et exhaustives avant et après l'entraînement mais aussi trois mois après, afin de vérifier le maintien des améliorations dans le temps. La sélection des participants lors de la première étude, via une longue et rigoureuse procédure permettant aux enfants de participer, constitue certainement une force, de même que la collaboration d'un pédopsychiatre au diagnostic de TDAH des enfants. Tel que mentionné par Buschkuehl et Jaeggi (2010), la logistique nécessaire pour mettre sur pied une étude d'intervention exige beaucoup de temps de la part des organisateurs et représente souvent un défi financier. Enfin, on retient aussi parmi les forces, bien qu'on constate *a posteriori* qu'il aurait été avisé de commencer par là, l'utilisation de l'imagerie optique pour vérifier et localiser l'activité cérébrale produite par les participants durant la tâche expérimentale.

Par ailleurs, la plus grande faiblesse de l'étude 1 consiste en la possibilité pour les participants de ne pas utiliser la MTVS pour résoudre les problèmes du programme

Gymnase. La participation d'un pédopsychiatre au diagnostic des participants de la première étude a causé d'importants délais à débiter les entraînements et a ainsi limité le nombre de participants inclus dans l'étude, faute de temps. De plus, les imposantes évaluations cognitives peuvent avoir causé une perte d'intérêt et de motivation chez les jeunes participants, entraînant une diminution de leur collaboration à leur plein potentiel cognitif durant ces évaluations, surtout les deuxième et troisième. L'intégration du programme d'entraînement dans le milieu naturel de l'enfant a nui à la propension à résoudre rapidement des problèmes techniques informatiques et a aussi entraîné des imprévus relatifs à la fréquence des entraînements dus au calendrier scolaire. Tel que mentionné par Klingberg (2010), il est difficile de s'assurer de la qualité de l'entraînement lorsqu'il est effectué à l'extérieur d'un milieu contrôlé (ex. laboratoire). Dans la deuxième étude, la mise au point (par André Achim) d'un casque sur mesure qui répond aux besoins d'enregistrement cérébraux de l'étude, en utilisant un nombre maximal d'optodes dans la région frontale, bilatéralement, a causé un retard à débiter l'étude. En particulier, l'imposition d'un moratoire d'une durée d'un mois au cours de la même étude, en raison de céphalées causées par le casque chez les participants, a entraîné un délai supplémentaire dans le déroulement de l'étude. Nous avons fini par identifier que le problème venait d'une trop forte pression des optodes sur le cuir chevelu.

Malgré tout, le domaine de l'entraînement cognitif informatisé, aussi connu sous l'appellation remédiation cognitive, demeure un domaine embryonnaire qui continue de gagner en popularité. D'ailleurs, une récente étude a montré des effets bénéfiques d'un entraînement de mémoire de travail sur le développement des capacités de compréhension de lecture d'enfants aux prises avec des difficultés et besoins particuliers (Dahlin, 2011).

Néanmoins, si le programme Gymnase devait tout de même être amélioré, il conviendrait de modifier la tâche de manière à obliger les participants à utiliser leur MTVS pour réussir la tâche. Cela peut se faire, par exemple, par l'ajout d'une tâche verbale simple (ex. répétition de chiffres) durant la période d'attente, pour empêcher l'utilisation de la MTV et notamment, de la boucle articulatoire, en augmentant les probabilités que les participants utilisent la MTVS pour réussir un essai lors de la tâche du programme d'entraînement Gymnase. Une présentation séquentielle des lignes du stimulus pourrait aussi être envisagée

pour mieux mobiliser l'attention du participant durant la période d'observation du stimulus. L'importance donnée à la création de liens directs entre les lignes du stimulus et les connaissances du participant pourrait aussi être diminuée au profit d'un repérage d'un pattern identifiable parmi les lignes présentées aléatoirement lors de la présentation d'un stimulus, qui pourrait être suivi par l'identification de chacun des patterns identifiants à l'aide des connaissances scolaires du participant. Du même coup, cela diminue l'importance que l'entraîneur de l'enfant soit un membre du personnel scolaire, ce qui permettrait de réduire certaines erreurs méthodologiques qui leur sont associées. Suite à une modification de la tâche, une nouvelle vérification de l'activité cérébrale en imagerie optique pourrait être entreprise, avant la mise sur pied de nouveaux entraînements, pour vérifier si la nouvelle tâche active la région du CPFDL plus spécifiquement. Une population d'adultes atteints d'un TDAH pourrait être un choix judicieux en imagerie optique pour augmenter la similitude cognitive avec la population visée pour les entraînements cognitifs des enfants atteints du TDAH. Enfin, la nouvelle tâche qui activerait plus spécifiquement le CPFDL pourrait être soumise à de nouveaux entraînements cognitifs où l'intensité serait augmentée en ce qui concerne la durée des sessions d'entraînements et de leur fréquence hebdomadaire. Selon Jaeggi et al. (2008), un temps d'entraînement possiblement insuffisant empêche qu'une amélioration survienne aux tâches de généralisation. La gestion d'un entraînement plus imposant pourrait être prise en charge par un chercheur qui se voit prêter un local pour procéder aux entraînements quotidiens des participants d'une école. L'utilisation d'un ordinateur portable par le chercheur pourrait limiter les problèmes informatiques. Enfin, les mesures de généralisation de l'amélioration lors de l'entraînement devraient être moins nombreuses et plus ciblées vers des mesures de MTSV.

Bien que les récentes études ne mettent plus en doute l'efficacité de la remédiation cognitive, plusieurs questions persistent relatives aux facteurs et aux conditions nécessaires pour permettre la généralisation d'améliorations cognitives obtenues au moyen d'un entraînement cognitif (Klingberg, 2010; Jaeggi et al., 2011). La durée optimale des entraînements et leur fréquence, l'application des nouvelles habiletés dans la vie quotidienne (transfert des connaissances), le rôle de la motivation (intrinsèque et extrinsèque), des récompenses et leurs effets à court et à long terme, ainsi que les différences individuelles telles que l'âge et l'âge limite maximal auquel on peut s'attendre qu'un entraînement cognitif

généralise à d'autres tâches, sont quelques-unes des questions de recherche qui méritent que l'on s'y attarde (Klingberg, 2010).

## APPENDICE A

### MESURES INHÉRENTES AU PROGRAMME GYMNASÉ

Mesures	Description
Durée de l'entraînement (jours/sessions/minutes)	Étendue de l'entraînement en jours, en sessions et en minutes d'entraînement réalisés.
Nombre de jours de délai entre les sessions d'entraînement	Nombre de jours de délai total entre les jours d'entraînement réalisés.
Intensité moyenne*	Nombre de jours de délai moyen entre les sessions d'entraînement.
Écart type de l'intensité moyenne*	Écart type du nombre de jours de délai moyen entre les sessions d'entraînement.
Nombre d'essais	Nombre de problèmes présentés au participant à chaque session.
Moyenne de problèmes par session*	Nombre de problèmes moyens présentés à l'enfant pour s'exercer à chaque session d'entraînement.
Tendance linéaire du nombre de problèmes à s'exercer par session*	Recherche la présence d'une pente dans le nombre de problèmes à s'exercer à chaque session en fonction du nombre de sessions effectuées au cours de l'entraînement.
Tendance quadratique du nombre de problèmes à s'exercer par session*	Recherche une relation de second degré entre le carré du rang de chaque session d'entraînement (moins le rang moyen) et le nombre de problèmes à s'exercer à chaque session.



Mesures	Description
Temps d'observation de chaque problème présenté	Temps de présentation d'un problème qui débute dès la présentation des stimuli et se termine lorsque le participant clique sur le bouton « Prêt » suite à quoi le problème n'est plus présent.
Temps d'observation moyen*	Moyenne de l'ensemble des temps d'observation d'un problème au cours de tout l'entraînement.
Tendance linéaire*	Recherche la présence d'une pente dans le temps d'observation des problèmes présentés en fonction du nombre de sessions effectuées au cours de l'entraînement.
Tendance quadratique*	Recherche une relation de second degré, le carré du rang de chaque session d'entraînement (moins le rang moyen) et le temps d'observation des problèmes présentés.
Durée de chaque problème présenté	Temps requis pour compléter un essai en entier, de la présentation du problème au temps nécessaire pour répondre et tracer les lignes.
Moyenne de la durée d'un problème*	Durée moyenne d'un problème présenté au cours de l'entraînement.
Tendance linéaire de la durée des problèmes au cours de l'entraînement*	Recherche la présence d'une pente dans la durée d'un problème présenté en fonction du nombre de sessions effectuées au cours de l'entraînement.
Tendance quadratique de la durée des problèmes au cours de l'entraînement*	Recherche une relation de second degré, le carré du rang de chaque session d'entraînement (moins le rang moyen) et la durée d'un problème.

Mesures	Description
Nombre de niveaux réussis	Nombre de niveaux réussis au cours de l'ensemble de la durée de l'entraînement : un niveau correspond à un nombre de lignes donné et à un temps de rétention en mémoire de travail donné.
Amélioration par l'entraînement*	Différence entre le nombre de niveaux réussis lors de l'évaluation initiale sur le programme et le dernier niveau réussi à la fin de l'entraînement.
Temps de rétention en mémoire lors des niveaux réussis (choix des niveaux)	Temps de rétention des stimuli en mémoire de travail choisi lors des niveaux qui ont été réussis (lié au choix des niveaux d'entraînement par les participants).
Empan de lignes au programme Gymnase	Nombre de lignes disjointes retenues en mémoire : mesure prise avant et après l'ensemble des sessions d'entraînement au programme Gymnase.

\* Mesure issue d'un calcul à partir d'autres mesures du Gymnase.

## APPENDICE B

### VARIABLES ASYMÉTRIQUES

Nom des variables	Transformations logarithmiques
1. D2 – Erreurs	$Lg10(x+1)$
2. D2 – Fluctuations	$Lg10(x)$
3. CPT-II – Temps de réaction des réponses	$Lg10(x)$
4. CPT-II – Persévérations	$Lg10(x+4)$
5. D-KEFS Trail Making Test – Condition 1. Repérage visuel – Omissions	$Lg10(x+0.2)$
6. D-KEFS Trail Making Test – Condition 1. Repérage visuel – Commissions	Retirée
7. D-KEFS Trail Making Test – Condition 2. Séquence de chiffres – Temps d'exécution	$Lg10(x)$
8. D-KEFS Trail Making Test – Condition 2. Séquence de chiffres – Erreurs de séquence	Retirée
9. D-KEFS Trail Making Test – Condition 2. Séquence de chiffres – Pertes de l'ensemble	Retirée
10. D-KEFS Trail Making Test – Condition 3. Séquence de lettres – Erreurs de séquence	$Lg10(x+0.001)$
11. D-KEFS Trail Making Test – Condition 3. Séquence de lettres – Pertes de l'ensemble	Retirée

Nom des variables	Transformations logarithmiques
12. D-KEFS Trail Making Test – Condition 4. Alternance chiffre-lettre – Erreurs de séquences	Lg10(x+0.1)
13. D-KEFS Trail Making Test – Condition 4. Alternance chiffre-lettre – Pertes des ensembles	Lg10(x+0.3)
14. D-KEFS Trail Making Test – Condition 5. Vitesse motrice – Temps d'exécution	Lg10(x)
15. D-KEFS Fluidité verbale – Pertes de l'ensemble	Lg10(x+1.5)
16. D-KEFS Fluidité verbale – Répétitions	Lg10(x+0.2)
17. D-KEFS Fluidité graphique – Pertes de l'ensemble	Lg10(x+0.7)
18. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 1. Dénomination de couleurs – Erreurs corrigées	Lg10(x+1)
19. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 1. Dénomination de couleurs – Erreurs non corrigées	Retirée
20. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 2. Lecture – Erreurs corrigées	Lg10(x+0.2)
21. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 2. Lecture – Erreurs non corrigées	Retirée
22. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 3. Inhibition – Erreurs corrigées	Lg10(x+1.3)
23. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 3. Inhibition – Erreurs non corrigées	Lg10(x+0.1)
24. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 4. Inhibition/Commutation – Erreurs corrigées	Lg10(x+1.6)
25. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 4. Inhibition/Commutation – Erreurs non corrigées	Lg10(x+0.1)
26. D-KEFS Tour	Lg10(25-x)
27. D-KEFS Tour – Bris de consignes	Lg10(x+0.2)

---

Nom des variables	Transformations logarithmiques
28. TEA-Ch Sky Search – Cibles trouvées	$Lg10(20.7-x)$
29. TEA-Ch Sky Search – Temps par cible*	$Lg10(x+4)$
30. TEA-Ch Sky Search – Cote d'attention*	$Lg10(x+8)$
31. TEA-Ch Creature Counting – Cote	$Lg10(8-x)$
32. Sky Search DT*	$Lg10(x+1.7)$
33. WISC-III Arithmétique*	$Lg10(x+16)$
34. WISC-III Recherche de symboles – Erreurs	$Lg10(x+0.7)$

---

\* variables où des valeurs extrêmes ont été retirées au préalable.



APPENDICE C

CORRÉLATIONS SUPÉRIEURES À 0.5, DES MESURES À LEUR FACTEUR RESPECTIF LORS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES À SIX FACTEURS APRÈS ROTATION ET COEFFICIENTS STANDARDISÉS DES COMPOSANTES

Nom des composantes et des épreuves	Corrélations au facteur	Coefficients des composantes
1. Repérage visuel (explique 13,4% de la variance)		
a. D-KEFS Trail Making Test – Condition 2. Temps d'exécution	-,847	-0,112
b. TEA-Ch Recherche dans le ciel – Temps d'exécution	-,747	-0,119
c. WISC-III Recherche de symboles – Bonnes réponses	,724	0,115
d. WISC-III Code	,706	0,117
e. D2 – Cote totale (Gz)	,705	0,125
f. D-KEFS Trail Making Test – Condition 1. Temps d'exécution	-,670	-0,105
g. WISC-III Recherche de symboles – Cote	,667	0,105
h. TEA-Ch – Recherche dans le ciel – Cote d'attention	-,662	-0,109
i. D2 – Cote totale moins les erreurs (Gz-F)	,657	0,124

Nom des composantes et des épreuves	Corrélations au facteur	Coefficients des composantes
1. Repérage visuel (explique 13,4% de la variance)		
j. Test développemental d'intégration visuo-motrice	,638	0,093
k. D-KEFS Tour – Nombre de bris de consignes	-,551	-0,088
l. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 3. Temps d'exécution	-,503	-0,095
2. Empan et traitement de l'information (explique 10,6% de la variance)		
a. WISC-III PI Empan spatial – Cote totale	,706	0,159
b. D-KEFS Trail Making Test – Condition 3. – Erreurs de séquences	-,695	-0,148
c. WISC-III Séquences de chiffres – Ordre direct	,667	0,177
d. WISC-III PI Empan spatial – Ordre inverse	,648	0,136
e. WISC-III Séquences de chiffres – Cote totale	,638	0,166
f. D-KEFS Trail Making Test – Condition 3. Temps d'exécution	-,567	-0,159
g. WISC-III PI – Labyrinthes	,516	0,163
h. D2 – Erreurs	-,506	-0,092
i. TEA-Ch Compter les créatures – Bonnes réponses	-,505	-0,121
j. D-KEFS Fluidité verbale – Condition 1.	,502	0,149

Nom des composantes et des épreuves	Corrélations au facteur	Coefficients des composantes
3. Attention soutenue visuelle (explique 10,3% de la variance)		
a. Tâche de performance continue II – Erreur standard du temps de réaction	,912	0,170
b. Tâche de performance continue II – Score clinique	,901	0,166
c. Tâche de performance continue II – Variabilité	,870	0,163
d. Tâche de performance continue II – Omissions	,800	0,149
e. Tâche de performance continue II – Persévérations	,751	0,149
f. Tâche de performance continue II – Indicateur du style de réponse	,714	0,118
g. Tâche de performance continue II – Erreur standard des intervalles inter-stimulus	,697	0,134
h. Tâche de performance continue II – Temps de réaction des intervalles inter-stimulus	,680	0,133
4. Flexibilité cognitive (explique 8,7% de la variance)		
a. D-KEFS Fluidité graphique – Condition 1.	,712	0,171
b. TEA-Ch Compter les créatures – Temps d'exécution	-,662	-0,127
c. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 4. Temps d'exécution	-,662	-0,202
d. D-KEFS Fluidité graphique – Cote totale	,600	0,198

Nom des composantes et des épreuves	Corrélations au facteur	Coefficients des composantes
4. Flexibilité cognitive (explique 8,7% de la variance)		
e. D-KEFS Fluidité graphique – Répétitions	,588	0,120
f. D-KEFS Trail Making Test – Condition 4. – Temps d'exécution	-,568	-0,157
g. D-KEFS Interférence Couleur-Mot – Condition 2. Temps d'exécution	-,526	-0,192
h. D-KEFS Trail Making Test – Condition 4. – Erreurs de séquences	-,518	-0,054
i. D-KEFS Fluidité verbale – Condition 2.	,515	0,151
5. Attention alternée et inhibition (explique 6,6% de la variance)		
a. Tâche de performance continue II – Commissions	-,723	-0,300
b. D-KEFS Fluidité verbale – Condition 3. – Commutations	,704	0,288
c. Tâche de performance continue II – Détectabilité	,665	0,285
d. Tâche de performance continue II – Temps de réaction	,649	0,144
e. D-KEFS Fluidité verbale – Condition 3. – Bonnes réponses	,543	0,233
f. D-KEFS Fluidité verbale – Pertes de l'ensemble	-,502	-0,183

Nom des composantes et des épreuves	Corrélations au facteur	Coefficients des composantes
6. Impulsivité (explique 6,2% de la variance)		
a. D-KEFS Fluidité graphique – Pertes de l'ensemble	,666	0,435
b. D-KEFS Fluidité verbale – Répétitions	,648	0,394
c. TEA-Ch Coups de fusil	-,607	-0,308
d. D-KEFS Trail Making Test – Condition 5. – Temps d'exécution	-,542	-0,343



APPENDICE D

CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES CARACTÉRISANT L'ENTRAÎNEMENT  
AU GYMNASSE ET LES MESURES DE GÉNÉRALISATION PRISES  
IMMÉDIATEMENT APRÈS L'ENTRAÎNEMENT, EN TENANT COMPTE DES MÊMES  
MESURES PRISES AVANT L'ENTRAÎNEMENT

Variables Gymnase III <sup>1</sup>	Facteurs						
	1	2	3	4	5	6	
A	<i>r</i> =	,041	-,003	-,185	-,230	-,458	,292
	<i>p</i> =	,893	,992	,545	,430	,115	,291
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
B	<i>r</i> =	,176	,244	-,130	-,226	-,553	,408
	<i>p</i> =	,566	,421	,671	,438	,050	,132
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
C	<i>r</i> =	,067	,150	,001	-,090	-,279	,127
	<i>p</i> =	,828	,624	,996	,760	,356	,653
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
D	<i>r</i> =	,090	,149	-,034	,033	-,041	-,209
	<i>p</i> =	,770	,626	,911	,911	,893	,455
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13

<sup>1</sup> Où les lettres signifient :

A : Nombre de session d'entraînement

B : Nombre de minutes d'entraînement

C : Nombre de problèmes total à s'exercer

D : Moyenne de problèmes à s'exercer par session

Variables Gymnase III <sup>1</sup>		Facteurs					
		1	2	3	4	5	6
E	<i>r</i> =	,508	-,020	-,241	-,002	-,123	-,172
	<i>p</i> =	,076	,948	,429	,993	,688	,539
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
F	<i>r</i> =	-,028	-,035	,179	,117	,124	-,117
	<i>p</i> =	,927	,909	,558	,690	,688	,678
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
G	<i>r</i> =	,073	,092	-,031	-,026	-,202	,229
	<i>p</i> =	,812	,765	,921	,929	,509	,411
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
H	<i>r</i> =	-,262	-,487	,006	,124	,360	,205
	<i>p</i> =	,386	,092	,983	,673	,227	,463
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
I	<i>r</i> =	-,160	,501	,021	,166	-,209	,272
	<i>p</i> =	,602	,081	,947	,572	,494	,327
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
J	<i>r</i> =	-,474	-,015	,398	,061	,128	,081
	<i>p</i> =	,119	,963	,201	,843	,692	,784
	<i>dl</i> =	10	10	10	11	10	12

<sup>1</sup> Où les lettres signifient :

E : Tendance linéaire des problèmes à s'exercer par session

F : Tendance quadratique des problèmes à s'exercer par session

G : Moyenne de minutes passées par problème

H : Tendance linéaire des minutes par problème

I : Tendance quadratique des minutes par problème

J : Jours de délai moyen entre chaque session d'entraînement

Variables Gymnase III <sup>1</sup>		Facteurs					
		1	2	3	4	5	6
K	<i>r</i> =	-,538	,278	,462	-,051	,098	,003
	<i>p</i> =	,071	,382	,130	,868	,762	,991
	<i>dl</i> =	10	10	10	11	10	12
L	<i>r</i> =	-,498	-,018	,315	-,065	-,114	,267
	<i>p</i> =	,083	,954	,295	,826	,711	,335
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
M	<i>r</i> =	,201	-,421	-,121	,055	-,119	,195
	<i>p</i> =	,510	,152	,693	,851	,699	,487
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
N	<i>r</i> =	-,637	-,148	,301	-,109	,148	,296
	<i>p</i> =	,019	,628	,317	,710	,630	,284
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
O	<i>r</i> =	-,169	,157	,030	-,210	-,311	,119
	<i>p</i> =	,600	,626	,925	,491	,325	,685
	<i>dl</i> =	10	10	10	11	10	12
P	<i>r</i> =	-,504	,244	,209	-,269	-,566	,472
	<i>p</i> =	,095	,445	,514	,373	,055	,104
	<i>dl</i> =	10	10	10	11	10	11

<sup>1</sup> Où les lettres signifient :

K : Écart type des jours de délai entre chaque session d'entraînement

L : Étendue de l'entraînement en jours de la semaine de travail (5 jours)

M : Temps d'observation moyen d'un problème en secondes

N : Tendance linéaire du temps d'observation d'un problème en secondes

O : Tendance quadratique du temps d'observation d'un problème en secondes

P : Nombre de niveaux réussis en entraînement

Variables Gymnase III <sup>1</sup>	Facteurs						
	1	2	3	4	5	6	
Q	<i>r</i> =	-,640	,035	,111	-,333	-,152	,328
	<i>p</i> =	,018	,910	,718	,244	,620	,233
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
R	<i>r</i> =	-,638	-,079	,058	-,313	-,413	,425
	<i>p</i> =	,019	,799	,850	,275	,160	,114
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
S	<i>r</i> =	-,202	,110	-,261	,034	-,299	,142
	<i>p</i> =	,508	,721	,390	,908	,322	,614
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13
T	<i>r</i> =	-,726	,078	,120	-,393	-,095	,335
	<i>p</i> =	,005	,800	,696	,165	,758	,222
	<i>dl</i> =	11	11	11	12	11	13

<sup>1</sup> Où les lettres signifient :

Q : Différence entre le nombre de lignes mémorisées à la fin de l'entraînement et lors de l'évaluation au programme

R : Niveaux réussis sans répétition

S : Nombre de secondes de mémorisation lors des niveaux réussis

T : Nombre de lignes séparées réussies de plus en entraînement que lors de l'évaluation au programme

APPENDICE E

MOYENNES ET PROBABILITÉS DES TESTS DE STUDENT DES PARTICIPANTS,  
 POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES,  
 AUX DIFFÉRENTS INTERVALLES DE TEMPS AU COURS DES TÂCHES ET CELA, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE,  
 OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE

Probabilités x 10000 des tests de Student

Moyennes sur l'intervalle (unités arbitraires)

Hémoglobine  
 Oxygénée

Intervalle de 2 à 30 secondes

823	823	2162	-275	-198	-156														
771	2353	1781	2533	-231	-149	-109	-177												
6393	1618	4162	3975	1841	1175	4473	-55	-158	-82	-83	-181	-220	-181						
1301	3284	2827	6722	5685	5693	2742	7548	16	135	66	-3	-66	-50	-169	-1				
8423	1465	3380	3017	3568	9971	3249	4877	4784	-61	193	29	628	33	-11	-192	35	63		
6545	2770	8732	4687	3774	5098	7906	3700	5867	5607	-47	119	19	4	-10	-284	-2	-99	-9	-90
3204	4332	3818	3786	4538	9024	7481	8706	9171	-999	-283	71	939	-98	-17	-68	2	7		

Désoxygénée

1254	5393	3958	-88	-45	-1														
5530	1182	2585	2911	-47	-61	9	-56												
2428	5595	940	2184	8556	4535	5813	43	-61	-76	-32	-27	-41	-38						
3477	8529	2492	1191	2587	2105	3902	2220	-40	-10	-76	-48	37	-4	-37	100				
1332	7596	2297	3161	3322	6124	3506	1456	3838	90	-52	-134	-835	-139	26	105	-63	59		
2739	3065	1024	2812	3281	2867	4322	4221	5395	700	92	-119	-151	-249	-191	603	47	-60	35	53
3156	3826	3080	3347	5707	5987	810	2566	1233	999	454	-242	-999	22	30	-109	-10	12		



Probabilités des tests de Student

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 2 à 12 secondes

863	822	-321	-170
1220	3394	-237	-132
804	1212	-185	-264
2627	3745	-144	-32
652	6282	-151	-110
3476	7739	-146	-196
2149	3087	135	-236
3234	7632	-251	-59
3800	3322	-218	-42
3780	2877	106	-211
3299	6555	40	47
7248	1946	-218	-266
8404	2948	-137	-132
	1138	20	-97
		-42	-173
		1	-322
		999	-76
		-222	-133
		1	-118
		999	-32
		-193	15
		-77	-111

Désoxygénée

3599	8059	4431	-57	-20	37
8021	8489	2387	-24	-17	68
780	2695	5880	-20	-70	-8
8499	6282	9598	101	12	44
4543	7011	2510	88	7	94
3303	7350	2539	103	27	58
8397	3292	2544	25	-72	72
1337	3357	3438	999	-899	279
1469	3407	4318	-136	-125	-6
3234	4363	7502	999	-129	132
4003	3407	5116	395	-192	173
3352	4982	4841	395	-151	-28
641	4313	1219	40	-999	26
			43	-95	89

Pour alléger les tableaux, seules les probabilités des analyses par CPI sont présentées et elles ont été multipliées par  $10^4$  ou  $10\ 000$ .

Pour faciliter le repérage de résultat significatif ( $p < .05$ , soit une valeur inférieure à 500 dans la partie gauche des tableaux; toutefois seules les valeurs  $\leq 5$  seraient significatives selon une correction de Bonferroni pour 100 canaux), un signe (+) et un point (.) ont été ajoutés respectivement après le dernier chiffre d'une probabilité significative et de la moyenne correspondante. Un cadre gris a aussi été ajouté à chacun d'eux.

Les moyennes sont présentées pour connaître la direction des courbes analysées par CPI, soit positive ou négative. Bien que le test porte sur la forme des réponses des sujets, l'indication de polarité représente la moyenne sur l'intervalle pour la condition expérimentale moins celle pour la condition contrôle.



Probabilités des tests de Student

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 22 à 30 secondes

2110	4736	5998	-171	-44	-70
1324	4359	6468	-195	-101	-22
8116	4500	5431	32	-106	-76
3367	1787	9815	190	120	-5
9962	1201	3369	10	164	85
8512	2223	6916	-25	128	-33
3453	4450	4096	-999	-570	263
		3277			100
		7458			5
		8252			18
		4006			-22
		4780			-22
		9639			2
		9365			
		1732			
		9834			
		4023			
		6711			
		3945			
		6431			
		7168			
		6304			
		9365			

Désoxygénée

545	2435	1479	-101	-57	-55
1511	1743	3304	-80	-90	-50
895	1812	812	-100	-91	-85
224	771	936	-139	-134	-109
6045	1076	2854	-42	-134	-424
8301	4511	1979	-56	-144	-426
3414	3920	2984	999	816	-542
		2497			-439
		9318			-33
		6213			-15
		766			-122
		1802			-56
		1824			-78
		2417			-66
		9062			-38
		8595			-14
		2651			-10
		3251			-39
		3062			-78
		4995			-56
		3682			-72
		2220			-10
		2016			-14
		3124			-38
		2667			-66
		661			-103
		598			-103

























Participant numéro 3

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 12 à 22 secondes  
 $F(2,32)=2.73, p=.0801$

7355	4241	9214	7	31	177	-31			
3583	1775	7974	8882	-428	420	-162	-26		
3083	3367	6332	4812	4492	1060	306+			
9190	5751	2868	2322	4744	8989	19+	570		
2460	97+	748	7927	4099	5613	434+	198+	1900	
1743	2982	7+	6889	1288	4134	79+	1+	3695	9162
8938	256+	5+	38+	1456	145+	1+	905	8425	

Désoxygénée

89+	118+	2302	52						
1106	18+	166+	47+	27+	30+				
1575	8552	797	2+	787					
8220	0+	3599	3394	2+	58+	137+	255+		
8959	4178	0+	868	109+	9253	0+	1+	1524	5479
6062	3423	0+	51+	420+	913	0+	8076	3123	

Participant numéro 3

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 22 à 30 secondes  
 $F(2,32)=7.40, p=.0023$

2868	943+	2020	93	316.	212			
9522	242+	3631	1786	593.	275	166		
8070	5652	2344	273+	4382	101+	412+		
2099	2753	54+	189+	5766	1457	166+	761	
1484	784	72+	653	2651	587	33+	257+	1500
842	109+	5149	82+	259+	84+	14+	1099	3790
1289	9+	419+	37+	42+	5+	2376	5040	

Désoxygénée

276+	226+	128+	-211.	-242.	-156.										
74+	64+	70+	-135.	-426.	-116.	-150.									
13+	7+	21+	0+	-288.	-156.	-322.	-118.	-352.	-222						
5256	13+	0+	5+	1796	-81	-167	-400.	-509.	-482.	-88.	-313.	-169.	-168		
7182	21+	2+	1+	31+	9762	56	-178.	-666.	-302	-169	-333.	-323.	-116.	-16	
6825	131+	1633	5999	5+	7790	8703	-50	-307	-314.	-244.	-291.	-320	-329.	-246.	-16
5988	3196	0+	3070	3+	3020	1725	-53.	-256	-322.	-402.	-312.	-365.	-437.	-99	-67
324+	3324	287+	287+	287+	287+	287+									



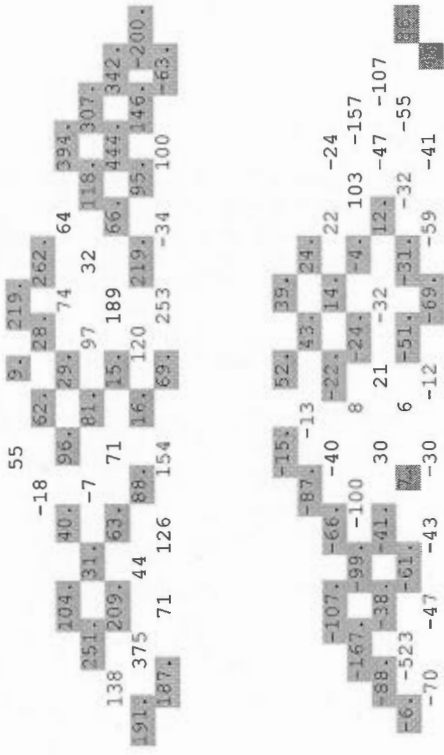
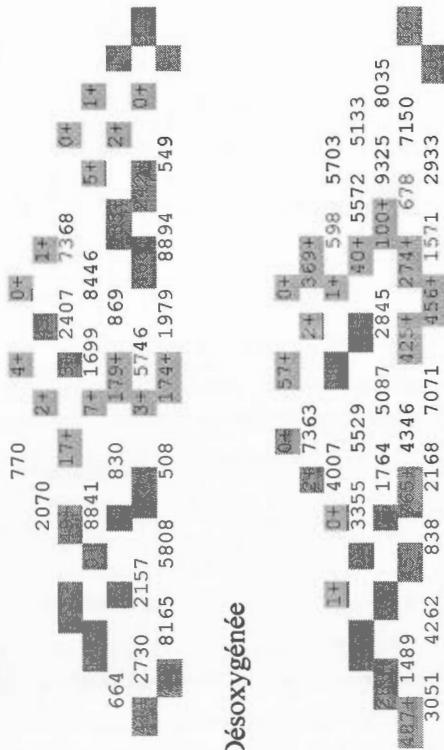
Participant numéro 4

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 2 à 30 secondes  
 $F(2,45)=2.76, p=.0740$



Désoxygénée

















Participant numéro 5

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 22 à 30 secondes  
 $F(2,47)=6.72, p=.0027$

1055 143+ 547 0+ 0+ 0+ 3+ 0+ 7+  
1801 2610 1+ 1+ 0+ 0+ 0+ 0+ 2+ 2100  
11+ 13+ 1571 0+ 0+ 0+ 0+ 0+ 0+ 3708  
36+ 88+ 130+ 68+ 798 20+ 506 0+ 0+ 0+ 0+ 53+  
130+ 130+ 24+ 1872 10+ 142+ 70+  
225+ 322+ 24+ 1872 95+ 727 0+ 0+ 0+ 0+ 0+  
427+ 162+ 9797 5896 7620 8182  
20+ 10+ 414+ 9876 3291 910  
4+ 548 16+ 1544 5668 3291 910  
530 1+ 4747 6167 1973 1766  
687 1150 6025 7616 6147 0+ 0+ 0+ 4381  
6053 395+ 5131 6336 2092 0+ 0+ 0+ 1609

176. 266. 36.  
17. 225. 136 92.  
468. 23. 15. 165. -2 89. 345.  
594. 226. 1 42. -127 -52. 185. 472.  
583. 384. 39 -57. -68 -146. -53. 403. 196  
593. 251 134 -148. -23. -185. -118. 168. 239. 187  
163 217. -11 -108. 14. -66. -121. 19. 83.

35 -40 -2  
-50. 19. -2 -11  
-367. -102. 44. 48. 2 40 -74  
-353 -120. -37 77. 72 -17 -41 -312  
-412. -263. -62 10. 30 22 -66 -376 -184  
-517 -286 -69 47 30 133. -87. -240. -75 -98  
-77 -149. 2 -31 46 214. 208. -46

Participant numéro 6

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 2 à 30 secondes  
 $F(2,28)=2.67, p=.0870$

1991 1081 6974 3597 607 1128 4746 1158 7096  
6277 3324 4072 1474 2083 824 1208 4704 7528  
7918 7806 1646 185+ 1815 110+ 2334 861

49+ 1941 5417  
266+ 165+ 2129 4761  
358+ 132+ 4809 2578 2001 7844  
3141 181+ 3583 1184 1462 8577 7231  
-999 -158 -338 -73 -768 -999 -267 -360 159  
-262 -531 -354 -800. -621 -520 -787 -441 -296 206  
158 153 -248 -909. -999 -999 -527 62

Désoxygénée

1569 8744 2663 3619 4057 7312  
987 3661 6666 7737 4057 2057  
3699 5439 5704 2346 1650 6065 9595 5808  
9733 7093 5693 551 1555 4404 1140 8113 1813  
5536 6858 2225 1962 2545 2059 5744 3939 1521

679 1092 5768  
819 5561  
-419 -331 4  
-321 -82  
-180 -63 -128 -132 -259 -64  
11 100 -90 -85 -62 -285  
253 -112 -202 -72 -242 -121 -18 -35  
115 144 -129 -219 -420 -89 -16 7 -241  
-152 -23 -148 -216 -146 -231 -121 -43 -185





Participant numéro 6

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 12 à 22 secondes  
 $F(2,28)=2.38, p=.1111$

3508	792	1461	4247	1988	7295	1813	-813	-531										
7391	7067	8106	2936	2647	1115	2823	8217	-535	-216									
1685	7296	6150	1922	1079	3052	9775	5883	-316	-593	-723	-462	-784	-536	-133				
4594	1663	5996	911	2716	2240	1538	1021	7692	7171	15	-114	152	57	-723	-270	69	213	
2960	7296	7366	901	2827	4110	1954	1031	8012	-999	-7	-404	-186	-999	-249	-349	176		
									-311	-579	-313	-841	-749	-511	-822	-524	-249	250
									281	62	-123	-880	-837	-963	-999	-625	170	

Désoxygénée

586	2715	4182	3592	5341	2016	1218	-456	-348	55						
1042	9695	8797	7700	5352	6688	-306	-84	-16	-321						
8657	3195	1376	8186	1373	564	3224	-156	-32	-44	-118	-255	-5			
7975	2613	7824	1945	4155	606	2020	-8	143	-73	-86	124	-49	-269		
6664	2881	6365	1895	3607	9899	7940	1363	331	-107	-161	-268	-143	-23	-58	
4069	6615	849	2039	4036	1871	7187	7347	186	373	-133	-415	-105	-22	17	-280
								-145	87	-209	-210	-139	-268	-89	-47

















Participant numéro 8

Probabilités du T2 de Hotelling

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

Intervalle de 12 à 22 secondes  
 $F(2,45)=0.44, p=.6491$

4382	4974	1271	-373	-352	-603						
1942	6442	1958	-414	-177	-371	-581					
5624	2280	7114	2931	971	1420	4694					
5573	2069	9717	4959	2333	1073	1901					
6986	4315	4074	4939	3197	1405	7213	9881				
6134	4271	3291	6066	4294	2424	4570	7089	8581			
7149	3599	3397	5807	4629	1246	3565	3709	9935			
			-121	245	324	187	146	358	324	-188	18
			161	358	-100	17	223	379	-181	-203	208
			118	-263	-286	224	64	-449	-206	26	
			-193	-298	-196	-175	-489	-342	-288		
			-210	-369	-11	144	-204	-518	-304		

Désoxygénée

5452	3152	2107	7	118	89						
1671	7589	8666	134	64	13	31					
8350	5038	7822	2854	753	4641						
8712	8172	8+ 2668	3339	5772							
1521	515	1722	1961	2196	169+	737	5746	4264			
9198	4742	6696	6+	7158	7470	5779	1897				
4777	4894	994	6781	2869	187+	1845	4055	8688			
			140	153	134	42	6	113	146	69	61
			180	128	-61	-80	137	158	-58	83	232
			75	32		9	114	-6	14	180	
			-6			6	14	17	28	77	
			134	64	13	31					
			7	118	89						













Probabilités des tests de Student

Moyennes

Intervalle de 22 à 30 secondes

En considérant tous les canaux (les uns à la suite des autres) :  $t(6) = 1.04, p=0.3390$

Hémoglobine  
Oxygénée

3223	7352	9462	-158	-10	3
2037	7500	9196	-190	-26	20
4458	7213	9904	111	-55	4
1800	2035	6509	280	134	44
9508	784	7283	21	203	52
4361	2504	9891	135	179	3
3856	337+	6253	-117	243.	-37
					2
					45
					123
					-46
					-12
					121
					0
					-60
					-149
					37
					-23
					-92
					185
					164
					132
					52
					17

Désoxygénée

628	2238	1658	-112	-67	-62
404+	826	2542	-115.	-121	-62
206+	95+	377+	-134.	-143.	-109.
61+	200+	611	-213.	-181.	-167
9076	80+	323+	-13	-182.	-229.
2824	5002	619	-89	-177	-158
3827	2653	1243	240	-144	-98
					-255
					-85
					-93
					-125
					-36
					-84.
					-132.
					-119
					-30
					-24
					-39
					10
					-96
					-58
					-98
					-52
					261+
					3411
					1161
					1526
					4516
					742
					1269
					5379
					9125
					667
					5598
					7255
					5274
					1437
					264+
					1658
					1394
					304+
					3584
					6731
					1136
					955
					4516
					742
					1269
					5379
					1526
					1161
					3411
					261+



## APPENDICE H

### PROCÉDURE MATHÉMATIQUE UTILISÉE POUR COMBINER LES PROBABILITÉS DES COURBES D'ACTIVATION CÉRÉBRALE LORS DE LA DEUXIÈME ÉTUDE

---

```
% Winer (Statistical principles inn experimental designs, 2nd edition, 1971, McGraw-Hill) p.
% 49 donne une règle pour combiner les probabilités individuelles Pi de k études
% indépendantes en une valeur de chi carré (X2) avec 2k degrés de liberté:
%  $X^2(2k) = -2 * \text{somme}(\ln(P_i))$ 
% Il spécifie que la prémisse sous H0 est que la moyenne des Pi est 0.5 et donne un exemple
% à partir de tests t unilatéraux. Cette prémisse ne fait pas de doute pour un test unilatéral à
% cause de la symétrie de la distribution de t. Je me suis d'abord assuré que la moyenne
% attendue demeure .5 pour des probabilités bilatérales. C'est le cas. Si ce ne l'était pas, les
% simulations qui suivent invalideraient la formule.
% Je vérifie ici directement la formule en mettant ensemble les résultats de 8 études (8 sujets
% dans le cas d'une étude de NIRS) pour lesquels les résultats proviennent de t de Student sur
% 20 paires de données appariées. Avec N=10000 simulations pour lesquelles H0 est vraie,
% on en attend 100 faussement significatives à .01 ou 500 à .05.
% L'intervalle de confiance à 99% pour p=.05 est 443.8611 à 556.1389
% L'intervalle de confiance à 99% pour p=.01 est 74.3708 à 125.6292
% obtenu par:  $p=.01; s=\sqrt{p*(1-p)*N}; p*N+[s -s]*\text{norminv}(.005)$ 

N=10000; % N études simulées où H0 est vraie
k=20; % k sujets par étude (i.e. de mesures appariées
px=zeros(N,1); % réserver de la mémoire
P=zeros(8,N); % idem
tic % noter l'heure au début des calculs
```

```

for j=1:N, % pour chaque étude simulée
    x2=0; % initialiser x2 à 0 (il cumulera les chi2 de chaque sujet
    for i=1:8, % pour chacun de 8 sujets
        x=randn(k,1); %
        t=mean(x)*sqrt(k)/std(x);
        P(i,j)=2*tcdf(-abs(t),k-1);
        x2=x2-2*log(P(i,j));
    end;
    px(j)=1-chi2cdf(x2,16);
end;
toc % donner la durée des calculs
[sum(px<=.01) sum(px<=.05)] % rapporter le nombre significatifs à p<=.01 et .05

% Une première fois: 95 490
% La deuxième fois: 103 473
% Ceci est nettement dans les intervalles de confiance 75-125 pour p=.01 et 444-556 pour
p=.05

% Pour N=1000000, les intervalles de confiance à 99% sont
% pour p=.05: 49439 à 50561
% pour p=.01: 9744 à 10256
% On obtient 9840 (dans l'intervalle pour p=.01) et 49342 (juste un peu sous l'intervalle pour
% p=.05). S'il y a de quoi, la procédure serait légèrement (très très légèrement) conservatrice
% avec p=.05. Une nouvelle série d'autant d'études simulées (méthode ci-dessous) donne
% 10068 (pour p=.01) et 49862 (pour p=.05), toutes deux dans leur intervalle de confiance.

% _____ méthode qui demande moins de mémoire vive _____
% la procédure ci-dessus a pris 1362.5 s (22.7 minutes) avec N=1000000.
% Celle ci dessous requiert moins de mémoire et devrait être plus rapide (mais a pris
% 1353.7 s, pas beaucoup mieux)
N=1000000; % N études simulées où H0 est vraie

```

```
k=20; % k sujets par étude (i.e. de mesures appariées)
n05=0;
n01=0;
x205=chi2inv(.95,16);
x201=chi2inv(.99,16);
tic % noter l'heure au début des calculs
for j=1:N, % pour chaque étude simulée
    x2=0; % initialiser x2 à 0 (il cumulera les chi2 de chaque sujet)
    for i=1:8, % pour chacun de 8 sujets
        x=randn(k,1); %
        t=mean(x)*sqrt(k)/std(x);
        p=2*tcdf(-abs(t),k-1);
        x2=x2-2*log(p);
    end;
    n05=n05+(x2>=x205);
    n01=n01+(x2>=x201);
end;
toc % donner la durée des calculs
[n01 n05] % rapporter le nombre significatifs à  $p \leq .01$  et  $.05$ 
```

APPENDICE I

RÉSULTATS AUX COMBINAISONS DE PROBABILITÉS,  
 POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES DE  
 TOUS LES PARTICIPANTS À L'EXCLUSION DU PARTICIPANT NUMÉRO 7,  
 À L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DE L'ÉTUDE, POUR CHAQUE CANAL  
 OPTIQUE, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE HORIZONTALE.

Intervalle de 12 à 22 secondes

En considérant tous les canaux (les uns à la suite des autres) :  $X^2(14) = 32.53, p=0.0034$

Hémoglobine  
 Oxygénée

				9+	97+	0+			
			7+	17+	1+	50+			
	643	2463	0+	2+	23+	671	0+		
	32+	3279	0+	22+	0+	1991	18+	0+	
	0+	0+	154+	0+	126+	1+	641	0+	0+
0+	1973	13+	1+	6+	0+	1+	1+	0+	0+
3525	286+	24+	1+	0+	0+	0+	0+	6+	0+

Désoxygénée

				0+	22+	0+			
			1+	4+	237+	0+			
	0+	0+	0+	13+	148+	3+	0+	4+	
	0+	0+	0+	93+	0+	4+	111+	0+	
	0+	1+	595	141+	0+	2+	0+	0+	0+
0+	2638	0+	1368	11+	1+	0+	0+	1+	1+
7549	6149	0+	98+	937	27+	0+	0+	0+	0+

Pour alléger le tableau, seules les probabilités des tests de probabilités combinées sont présentées et elles ont été multipliées par  $10^4$  ou  $10\ 000$ .

Pour faciliter le repérage de résultat significatif, un signe (+) situé après le dernier chiffre d'une probabilité significative ( $p \leq .05$ ) et un cadre gris ( $p \leq .0005$ ), ont été ajoutés.

APPENDICE J

RÉSULTATS DES TESTS DE PROBABILITÉS COMBINÉES, DES TESTS DE STUDENT ET LA MOYENNE, POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, DE TOUS LES PARTICIPANTS DE L'ÉTUDE 2, SUR L'INTERVALLE DE 5 SECONDES QUI PRÉCÈDE LES TÂCHES (DE -5 À 0 SECONDE) ET SUR L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DES TÂCHES (12 À 22 SECONDES) EN UTILISANT LA PÉRIODE ALLANT DE -5 À 0 SECONDE COMME LIGNE DE BASE POUR CHAQUE ESSAI ET LA MOYENNE DE L'INTERVALLE ANALYSÉ, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE

Analyses de l'intervalle allant de -5 à 0 seconde (la ligne de base utilisée est la sigmoïde)

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :  
 $\chi^2(16) = 48.21, p = 0.0000$

Hémoglobine  
 Oxygénée

	542	2+	0+
	1201	49+	4+
35+	158+	87+	40+ 60+ 1845 28+
2926	26+	44+	21+ 0+ 23+ 19+ 7+
122+	274+	315+	232+ 110+ 10+ 1+ 398+ 27+
1+ 1531	4156	37+	1+ 1698 21+ 37+ 85+ 37+
15+ 1489	8+	19+	9+ 2407 2675 1+ 5+



---

Analyses de l'intervalle allant de -5 à 0 seconde (la ligne de base utilisée est la sigmoïde)

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :

$$\chi^2(16) = 48.21, p = 0.0000$$

Hémoglobine  
Désoxygénée

0+	0+	0+	0+
830	11+	2+	300+
3+	9+	564	18+
0+	28+	214+	145+
246+	0+	50+	1590
0+	6185	1060	925
2456	6738	6463	611
		4452	9096
		1458	1458
		2+	0+

---

Pour alléger le tableau, seules les probabilités des analyses par CP1 sont présentées et elles ont été multipliées par  $10^4$  ou  $10\ 000$ .  
Pour faciliter le repérage de résultat significatif ( $p < .05$ ), un signe (+) et un point (.) ont été ajoutés respectivement après le dernier chiffre d'une probabilité significative et de la moyenne correspondante.



Analyses de l'intervalle d'intérêt principal des tâches (12 à 22 secondes)  
 (la ligne de base utilisée est l'intervalle de -5 à 0 seconde)

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :

$$\chi^2(16) = 82.21, p = 0.0000$$

Hémoglobine  
Oxygénée

	0+	0+	0+	0+	0+
	0+	0+	0+	0+	0+
1+	25+	0+	0+	0+	0+
0+	4+	0+	0+	7+	0+
0+	0+	1+	0+	2+	0+
0+	52+	0+	0+	0+	0+
59+	5+	0+	0+	0+	0+

Désoxygénée

	0+	1+	0+
	0+	0+	184+
0+	0+	0+	0+
0+	0+	3+	0+
0+	0+	856	7+
0+	43+	0+	58+
6904	2436	0+	28+



Résultats des analyses de l'intervalle d'intérêt principal des tâches (12 à 22 secondes)

(la ligne de base utilisée est la moyenne sur l'intervalle analysé)

\*Identification des artefacts : visuelle et statistique

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :

$$\chi^2(16) = 29.73, p = 0.0194$$

Hémoglobine

Oxygénée

	1+	76+	0+
	4+	1+	0+
520	2428	1+	0+
		6+	1297
137+	1889	0+	6+
		0+	482+
0+	62+	476+	0+
		0+	1+
0+	907	158+	2+
		38+	9+
1045	696	115+	32+
		1+	3+
		0+	36+
		1+	0+

Désoxygénée

	0+	110+	0+
	0+	119+	1+
		36+	113+
		2+	0+
0+	11+	0+	64+
		27+	0+
0+	0+	9+	773
		637	5+
0+	2324	9+	200+
		71+	256+
6502	3856	7+	40+
		1494	47+
		0+	0+
		0+	0+
		7+	0+
		106+	0+
		76+	0+
		28+	0+





APPENDICE K

RÉSULTATS DES TESTS DE PROBABILITÉS COMBINÉES, DES TESTS DE STUDENT ET DE LA MOYENNE DES PARTICIPANTS DE L'ÉTUDE 2, À L'INTERVALLE D'INTÉRÊT PRINCIPAL DES TÂCHES (12 À 22 SECONDES), POUR LA DIFFÉRENCE ENTRE LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET CONTRÔLES, POUR CHAQUE CANAL OPTIQUE, OXYGÉNÉ ET DÉSOXYGÉNÉ, DISPOSÉ EN POSITION ANATOMIQUE, VUE DU DESSUS DE LA TÊTE, SELON QUE LES ARTEFACTS ONT ÉTÉ IDENTIFIÉS VISUELLEMENT, STATISTIQUEMENT, OU LES DEUX À LA FOIS

Artefacts identifiés visuellement

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :

$$\chi^2(16) = 33.86, p = 0.0057$$

Hémoglobine

Oxygénée

	14+	115+	0+
	1+	2+	1+
			54+
217+	1322	0+	1+
		19+	563
		0+	0+
73+	1123	0+	0+
		1+	0+
		0+	962
		0+	35+
		0+	0+
0+	1927	7+	3+
		9+	1+
		2+	2+
		0+	0+
3159	402+	23+	1+
		0+	0+
		0+	12+
		0+	0+

Désoxygénée

	0+	32+	0+
	1+	4+	259+
		5+	0+
		0+	3+
0+	0+	13+	104+
		1+	4+
		0+	185+
		0+	0+
0+	0+	1+	552
		0+	177+
		0+	4+
0+	262+	0+	1740
		17+	2+
		0+	0+
6995	6511	0+	160+
		1133	40+
		0+	0+
		0+	0+
		0+	2+
		0+	0+









Artefacts identifiés statistiquement seulement

Tests de probabilités combinées

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :

$$\chi^2(16) = 50.08, p = 0.0000$$

Hémoglobine  
Oxygénée

	0+	1+	0+	
	2+	0+	0+	1+
3+	0+	0+	0+	15+
0+	250+	0+	1+	0+
0+	0+	0+	4+	1+
0+	222+	0+	4+	0+
399+	46+	1+	0+	0+
			11+	0+
			0+	0+
			0+	0+

Désoxygénée

	0+	17+	0+	
	0+	1+	0+	0+
0+	0+	17+	0+	0+
0+	0+	0+	5+	18+
0+	2034	0+	2573	1861
1012	4180	0+	754	12+
		0+	177+	1+
			0+	0+
			0+	0+
			2+	0+
			14+	0+
			1+	0+
			0+	0+
			0+	0+

En considérant tous les canaux ensemble (les uns à la suite des autres) :  $t(7) = 1.09$ ,  $p = 0.3118$

Probabilités des tests de Student

Moyennes

Hémoglobine  
Oxygénée

588	981	1041	-360	-214	-250
469+	1332	277+ 3176	-252.	-240	-283.
2385	382+	719 949	438+	2462	9878
3774	1625	4045 7617	1630	1384	5176 2654
5581	839	3822 7616	9511	8495	5181 5150 4435
4704	997	5544 4333	4323	9075	2202 7425 6498 7185
9651	9960	9102 2138	7301	6465	8360 3616 3287
			175	-253.	-203 -168
			219	111	-84 -1
			5	269	-108 -16
			58	178	74 -60
			45	18	51 75
					16 -14
					82 -41
					-96 113
					5
					176
					104 115
					73 87

Désoxygénée

1995	3431	5376	-94	-43	16
3598	1518	2367	1075		
5549	1734	3212	9320	6161	2130 8419
9402	3209	4925	730	1431	25+ 6505 8212
1435	6262	6597	8586	5011	5006 5442 7826 5709
1459	1629	1051	6876	4424	2616 2515 4434 3429 9180
5499	4562	7104	1002	4237	7489 3120 1480 8749
			25	-59	-49 -6
			25	-74	-46 -71
			-25	-79	-86 -24
			134	-79	-86 -24
			113	-184	-133 -49
			16	-5	-65 -106
					-19 -43
					-84 49
					11
					29
					-60
					24
					25
					-19
					53
					69
					5
					8

## RÉFÉRENCES

- Achim, André. 1995. « Signal detection in averaged evoked potentials: Monte Carlo comparison of the sensitivity of different methods ». *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 96, p. 574-584.
- Achim, André. 2001. « Statistical detection of between-group differences in event-related potentials ». *Clinical Neurophysiology*, vol. 112, p. 1023-34.
- Alloway, Tracy Packiam. 2007. *Automated working memory assessment*. Oxford: Harcourt.
- Baddeley, Alan David. 1986. *Working Memory*. Oxford : Oxford University Press, 289 p.
- Baddeley, Alan David. 1992. « Working memory ». *Science*, vol. 255, p. 556-559.
- Baddeley, Alan David. 1993. « Working memory or working attention? » Dans *Attention: Selection, Awareness, and Control*, sous la dir. de Baddeley et Weiskrantz, p. 152-170. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, Alan David. 1996. « The fractionation of working memory ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 93, p. 13468-13472.
- Baddeley, Alan David. 2000. « The episodic buffer: a new component of working memory? ». *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 4, no 11, p. 417-423.
- Baddeley, Alan David. et Graham J.L. Hitch. 1974. « Working memory ». Dans *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*, sous la dir. de G.A. Bower, p. 47-89. New York: Academic Press.
- Barkley, Russell. A. 1997a. « Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of AD/HD ». *Psychological Bulletin*, vol. 121, p. 65-94.
- Barkley, Russel. A. 1997b. *ADHD and the nature of self-control*. New York : Guilford Press, 410 p.
- Barkley, Russell. A. 2006. *Attention-Deficit Hyperactivity Disorder. A Handbook for diagnosis and treatment (3<sup>e</sup> éd)*. New York : Guilford Press, 736 p.

Barkley, Russell. A., Edwin H. Cook Jr, Adele Diamond, Alan Zametkin, Anita Thapar, Ann Teeter, Arthur D. Anastopoulos, Avi Sadeh, Bennett L. Leventhal, Betsy Hoza, Blythe Corbett, Brooke Molina, Bruce Pennington, Carl E. Paternite, Carol Whalen, Caryn Carlson, Charlotte Johnston, Christopher Gillberg, Cynthia Hartung, Daniel A. Waschbusch, Daniel F. Connor, Deborah L. Anderson, Donald R. Lynam, Eric J. Mash, Eric Taylor, Erik Willcutt, Florence Levy, Gabrielle Carlson, George J. DuPaul, Harold S. Koplewicz, Hector R. Bird, Herbert Quay, Howard Abikoff, J. Bart Hodgins, James J. McGough, Jan Loney, Jeffrey Halperin, John Piacentini, John S. Werry, Jose J. Bauermeister, Joseph Biederman, Joseph Sergeant, Keith McBurnett, Ken C. Winters, Kevin R. Murphy, Laurence Greenhill, Lawrence Lewandowski, Lily Hechtman, Linda Pfiffner, Lisa L. Weyandt, Marc Atkins, Margot Prior, Mark A. Stein, Mark D. Rapport, Mariellen Fischer, Mary A. Fristad, Mary Solanto-Gardner, Michael Aman, Michael Gordon, Michelle DeKlyen, Mina Dulcan, Oscar Bukstein, Patrick H. Tolan, Philip Firestone, Richard Milich, Rob McGee, Ronald T. Brown, Rosemary Tannock, Russell Schachar, Salvatore Mannuzza, Sandra K. Loo, Sheila Eyberg, Stephen Houghton, Stephen P. Hinshaw, Stephen Shapiro, Stephen V. Faraone, Steven R. Pliszka, Steven W. Evans, Susan Campbell, Terje Sagvolden, Terri L. Shelton, Thomas E. Brown, Thomas Joiner, Thomas M. Lock, Thomas Spencer et William Pelham Jr, 2002. « International Consensus Statement on ADHD ». *Clinical Child and Family Psychology Review*, vol. 5, no 2, p. 89-111.

Beery, Keith. E., Norman A. Buktenica et Natasha A. Beery. 2010. *The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration, 6th Edition (BEERY™ VMI)*. San Antonio, TX: Pearson Education, Inc.

Brickenkamp, Rolf et Eric Zillmer. 1998. *The d2 test of attention*. Cambridge, MA : Hogrefe & Huber, 72 p.

Buschkuehl, Martin et, Susanne M. Jaeggi. 2010. « Improving intelligence: a literature review ». *Swiss Medical Weekly*, vo. 140, no 19-20, p. 266-272.

Cappa, Stephano F., Thomas Benke, Scott Clarke, Barbara Rossi, Bastian Stemmer et Caroline M. van Heugten. 2003. « EFNS Guidelines on cognitive rehabilitation: report of an EFNS Task Force ». *European Journal of Neurology*, vol. 10, p. 11-23.

Caroni, Chrys. 1998. « Wilks' outlier test in more than one multivariate sample ». *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, vol. 27, no 1, p. 79-94.

Chevalier, Nicole. 2000. *La gestion de l'attention : un programme d'éducation de l'attention à l'usage des enseignant(es) du premier cycle du primaire*. Montréal : Université du Québec à Montréal, Service aux collectivités, 188 p.

- Cicerone, Keith D., Cynthia Dahlberg, Kathleen Kalmar, Donna M. Langenbahn, James F. Malec, Thomas F. Bergquist, Thomas Felicetti, Joseph T. Giacino, J. Preston Harley, Douglas E. Harrington, Jean Herzog, Sally Kneipp, Linda Laatsch et Philip A. Morse. 2000. « Evidence-based cognitive rehabilitation : Recommendation for clinical practice ». *Archives of Medical Rehabilitation*, vol. 81, p. 1596-1615.
- Cicerone, Keith D., Cynthia Dahlberg, James F. Malec, Donna M. Langenbahn, Thomas Felicetti, Sally Kneipp, Wendy Ellmo, Kathleen Kalmar, Joseph T. Giacino, J. Preston Harley, Linda Laatsch, Philip A. Morse et Jeanne Catanese. 2005. « Evidence-based cognitive rehabilitation : Updated review of the literature from 1998 through 2002 ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 86, p. 1681-1692.
- Cogmed. 2006. *Cogmed Working Memory Training*. San Antonio, TX : Pearson.
- Conners, C. Keith. 2004. *Conners' Continuous Performance Test II Version 5 (CPT-II Version 5)*. North Tonawanda, NY : Multi-Health Systems Inc.
- Cowan, Nelson. 2008. « What are the differences between long-term, short-term, and working memory? ». *Progress in Brain Research*, vol. 169, p. 323-338.
- Dahlin, Karin I.E. 2011. « Effects of working memory training on reading in children with special needs ». *Reading and Writing*, vol. 24, no 4, p. 479-491.
- Dean C. Delis, Edith Kaplan et Joel H. Kramer. 2001. *Delis-Kaplan Executive Function System™ (D-KEFS™)*. San Antonio, Texas : Pearson.
- Demers, Mélanie et André Achim. 2005. « Le programme d'entraînement « Fais Bien Attention! » avec ou sans médication? ». Communication affichée au 17<sup>e</sup> Colloque de l'Association québécoise des psychologues scolaires – AQPS (Trois-Rivières).
- DuPaul, George J., Thomas J. Power, Arthur D. Anastopoulos et Robert Reid. 1998. *ADHD Rating Scales – IV : Checklists, Norms, and Clinical Interpretation*. New York : The Guilford Press, 80 p.
- Fisher, Ronald Aylmer. 1948. « Questions and answers #14 ». *The American Statistician*, vol. 2, no 5, p. 30.
- Goodman, Robert. 1997. « The Strengths and Difficulties Questionnaire : A Research Note ». *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 38, no 5, p. 581-586.
- Holmes, Joni, Susan E. Gathercole et Darren L. Dunning. 2009. « Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children ». *Developmental science*, vol. 12, no 4, p. F9-15.



- Holmes, Joni, Susan E. Gathercole, Maurice Place, Darren L. Dunning, Kerry A. Hilton et Julian G. Elliott. 2010. « Working Memory Deficits can be Overcome: Impacts of Training and Medication on Working Memory in Children with ADHD ». *Applied Cognitive Psychology*, vol. 24, no 6, p. 827-836.
- Irani, Farzin; Steven M. Platek; Scott Bunce; Anthony C. Ruocco et Douglas Chute. 2007. « Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS): An Emerging Neuroimaging Technology with Important Applications for the Study of Brain Disorders ». *The Clinical Neuropsychologist*, vol. 21, no 1, p. 9-37.
- Jaeggi, Susanne M., Martin Buschkuhl, John Jonides et Walter J. Perrig. 2008. « Improving fluid intelligence with training on working memory ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, no 19, p. 6829-6833.
- Jaeggi, Susanne M., Martin Buschkuhl, John Jonides et Priti Shah. 2011. « Short- and long-term benefits of cognitive training ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, no 25, p. 10081-10086.
- James, William. 1890. *Principles of psychology*. Vol. 1. New York : Holt, 696 p.
- Kaplan, Edith, Deborah Fein, Joel H. Kramer, Dean C. Delis et Robin Morris. 1999. *Weschler Intelligence Scale for Children – Third Edition ; Process Instrument*. New York: Psychological Corporation.
- Kaufman, Alan S. et Nadeen L. Kaufman. 1990. *Kaufman Brief Intelligence Test (K-BIT)*. Minnesota : American Guidance Service.
- Kawashima, Ryuta, Katsuo Okita, Ritsumi Yamazaki, Nobumoto Tajima, Hajime Yoshida, Masato Taira, Kazuki Iwata, Takeo Sasaki, Katsujiro Maeyama, Nobuo Usui et Koji Sugimoto. 2005. « Reading Aloud and Arithmetic Calculation Improve Frontal Function of People With Dementia ». *Journal of Gerontology : Medical Sciences*, vol. 60A, no 3, p. 380-384.
- Kimberly A., Kerns, Karen Eso et Jennifer Thomson. 1999. « Investigation of a Direct Intervention for Improving Attention in Young Children With ADHD ». *Developmental Neuropsychology*, vol. 16, no 2, p. 273-295.
- Klingberg, Torkel, Hans Forssberg et Helena Westerberg. 2002. « Training of working memory in children with ADHD ». *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, vol. 24, p. 781-791.
- Klingberg, Torkel, Elisabeth Fernell, Pernille J. Olesen, Mats Johnson, Per Gustafsson, Kerstin Dahlström, Christopher G. Gillberg, Hans Forssberg et Helena Westerberg. 2005. « Computerized training of working memory in children with ADHD – A randomized, controlled Trial ». *Journal of American Academy Child and Adolescence Psychiatry*, vol. 44, p. 177-186.

- Klingberg, Torkel, 2010. « Training and plasticity of working memory ». *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 14, no 7, p. 317-324.
- Lecerf, Thierry. 1998. « Mémoire de travail visuo-spatiale : Présentation simultanée et présentation Séquentielle ». Thèse de doctorat, Genève, Université de Genève, 386 p.
- Luria, Alexander. 1980. *Higher cortical functions in man (2ième éd.)*. New York : Basic Books, 634 p.
- Manly, Tom, Ian H. Robertson, Vicki Anderson et I. Mimmo-Smith. 2006. *TEA-Ch Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant*. Paris : Éditions du Centre de Psychologie Appliquée.
- Mateer, Catherine A. et Robert Mapou. 1996. « Understanding, evaluating, and managing attention disorders following traumatic brain injury ». *Journal of Head Trauma and Rehabilitation*, vol. 11, p. 1-16.
- Miller, George Armitage. 1956. « The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information ». *Psychological Review*, vol. 63, no 2, p. 81-97.
- Miyake, Akira et Priti Shah. 1999. *Models of Working Memory : mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge : Cambridge University Press, 528 p.
- Naveh-Benjamin, Moshe. 1987. « Coding of spatial location Information: An automatic process? » *Journal of Experimental Psychology Learning, Memory and Cognition*, vol. 13, p. 595-605.
- Naveh-Benjamin, Moshe. 1988. « Recognition memory of spatial location information: Another failure to support automaticity ». *Memory & Cognition*, vol. 16, no 5, p. 437-445.
- Okada, Eiji, Michael Firbank, Martin Schweiger, Simon R. Arridge, Mark Cope et David T. Delpy. 1997. « Theoretical and experimental investigation of near-infrared light propagation in a model of the adult head ». *Applied Optics*, vol. 36, no 1, p. 21-31.
- Okada, Eiji et David T. Delpy. 2003. « Near-infrared light propagation in an adult head model. II. Effect of superficial tissue thickness on the sensitivity of the near-infrared spectroscopy signal ». *Applied Optics*, vol. 42, no 16, p. 2915-2922.
- Olesen, Pernille. J., Helena Westerberg et Torkel Klingberg. 2004. « Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory ». *Nature Neuroscience*, vol. 7, p. 75-79.

- Owen, Adrian M., John J. Downes, Barbara J. Sahakian, Charles E. Polkey et Trevor W. Robbins. 1990. « Planning and Spatial Working Memory Following Frontal Lobe Lesions in Man ». *Neuropsychologia*, vol. 28, no 10, 1021-1034.
- Owen, Adrian M., Alan C. Evans et Michael Petrides. 1996. « Evidence for a Two-Stage Model of Spatial Working Memory Processing within the Lateral Frontal Cortex: A Positron Emission Tomography Study ». *Cerebral Cortex*, vol. 6, p. 31-38.
- Owen, Adrian M., Adam Hampshire, Jessica A. Grahn, Robert Stenton, Said Dajani, Alistair S. Burns, Robert J. Howard et Clive G. Ballard. 2010. « Putting brain training to the test ». *Nature*, vol. 465, p. 775-778.
- Petrides, Michael. 1988. « Performance on a non-spatial self-ordered task after selective lesions of the primate frontal cortex ». *Society for Neuroscience Abstract*, vol. 14, p. 2.
- Petrides, Michael. 1991. « Monitoring of selections of visual stimuli and the primate frontal cortex ». *Proceedings of the Royal Society of London B*, vol. 246, no 1317, p. 293-298.
- Petrides, Michael, Bessie Alivisatos, Alan C. Evans et Ernst Meyer. 1993. « Dissociation of human mid-dorsolateral from posterior dorsolateral frontal cortex in memory processing ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 90, p. 873-877.
- Posner, Michael I. 2004. *Cognitive Neuroscience of Attention*. New York : Guilford, 466 p.
- Posner, Michael I. et Stephen J. Boies. 1971. « Components of attention ». *Psychological Review*, vol. 78, p. 391-408.
- Posner, Michael I. et Steven E. Petersen. 1990. « The attention system of the human brain ». *Annual Review of Neuroscience*, vol. 13, p. 25-42.
- Posner, Michael I. et Robert D. Rafal. 1987. « Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits ». Dans *Neuropsychological rehabilitation*, sous la dir. de Manfred J. Meier, Arthur L. Benton, Leonard Diller, p. 182-201. New York : Guilford Press.
- Posner, Michael I. et Marcus E. Raichle. 1994. *Images of Mind*. New York, NY : Scientific America Books, 256 p.
- Roche-Labarbe, Nadège, Gargi Vishnoï, Ardalán Aarabi, Patrick Berquin, Reinhardt Grebe et Fabrice Wallois. 2005. « La Spectroscopie dans le proche InfraRouge (NIRS) ». Dans XV<sup>e</sup> Congrès de la Société Française de Neurologie Pédiatrique (Amiens, France).
- Rosner, Bernard. 1983. « Percentage Points for a Generalized ESD Many-Outlier Procedure ». *Technometrics*, vol. 25, no 2, p. 165-172.

- Semrud-Clikeman, Margaret, Kathleen H. Nielsen, Amanda Clinton, Leihua Sylvester, Nancy Parle et Robert T. Connor. 1999. « An Intervention Approach for Children with Teacher-and Parent-Identified Attentional Difficulties ». *Journal of Learning Disabilities*, vol. 32, no 6, p. 581-590.
- Sohlberg, McKay Moore et Catherine A. Mateer. 1986. *Attention Process Training (APT)*. Association for Neuropsychological Research and Development. Washington : Puyallup.
- Sohlberg, McKay Moore et Catherine A. Mateer. 1987. « Effectiveness of an attention-training program ». *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, vol. 9, no 2, p. 117-130.
- Swanson, James M., B. J. Casey, Joel Nigg, Francisco Xavier Castellanos, Nora D. Volkow et Eric Taylor. 2004. « Clinical and cognitive definitions of attention deficits in children with attention-deficit/hyperactivity disorder ». Dans *Cognitive neuroscience of attention*, sous la dir. de Michael I. Posner, p. 430-445. New York, NY : Guilford.
- Swanson, James M., Francisco Xavier Castellanos, Michael Murias et James Kennedy. 1998. « Cognitive neuroscience of attention deficit hyperactivity disorder and hyperkinetic disorder ». *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 8, p. 263-271.
- Tamm, Leanne, Bruce D. McCandliss, Angela Liang, Tim L. Wigal, Michael I. Posner, James M. Swanson. 2007. « Can Attention Itself Be Trained? Attention Training for Children At-Risk for ADHD ». Dans *Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: A 21st Century Perspective*, sous la dir. de Keith McBurnett, p. 397 - 409. New York: Marcel Dekker.
- Thomson, Jennifer B., Lynn Seidenstrang, Kimberly A. Kerns, McKay Moore Sohlberg et Catherine A. Mateer. 1994. *Pay Attention!* Washigton : Puyallup, Assocation for Neuropsychological Research and Development.
- Tsujimoto, Satoshi, Tsuyoshi Yamamoto, Hideo Kawaguchi, Hideaki Koizumi et Toshiyuki Sawaguchi. 2004. « Prefrontal Cortical Activation Associated with Working Memory in Adults and Preschool Children: An Event-related Optical Topography Study ». *Cerebral Cortex*, vol. 14, p. 703-712.
- Uchida, Shinya et Ryuta Kawashiwa. 2008. « Reading and solving arithmetic problems improves cognitive functions of normal aged people: a randomized controlled study ». *Age*, vol. 30, p. 21-29.
- Van Zomeren, Adriaan H. et Wiebo H. Brouwer. 1994. *Clinical neuropsycholgy of attention*. New York : Oxford University Press, 264 p.
- Ward, Jamie. 2010. « The imaged brain ». Dans *The Student's Guide to Cognitive Neuroscience*, sous la dir. de Jamie Ward, p. 48-77. New York : Psychology Press.



- Weber, Anna M. et Sidney J. Segalowitz. 1990. « A measure of children's attentional capacity ». *Developmental Neuropsychology*, vol. 6, p. 13-23.
- Wechsler, David. 1991. *Wechsler Intelligence Scale for Children*, 3<sup>e</sup> éd. New York: Psychological Corporation.
- Wechsler, David. 1993. *The Wechsler Objective Reading Dimensions*. New York: Psychological Corporation.
- Wechsler, David. 1996. *Wechsler Objective Numerical Dimensions*. New York: Psychological Corporation.
- Wechsler, David. 1999. *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence*. San Antonio, TX : Psychological Corporation.
- Westerberg, Helena, Tatja Hirvikoski, Hans Forsberg et Torkel Klingberg. 2004. « Visuo-Spatial Working Memory Span: A Sensitive Measure of Cognitive Deficits in Children With ADHD ». *Child Neuropsychology*, vol. 10, no 3, p. 155-161.
- Westerberg, Helena, H. Jacobaeus, Tatja Hirvikoski, Peder Clevberger, M.-L. Ostensson, Aniko Bartfai et Torkel Klingberg. 2007. « Computerized working memory training after stroke – A pilot study ». *Brain Injury*, vol. 21, p. 21-29.
- Williams, Dennis James. 1989. « A process-specific training program in the treatment of attention deficits in children ». Thèse de doctorat, Seattle, University of Washington, 226 p.
- Wolf, Martin, Marco Ferrari et Valentina Quaresima. 2007. « Progress of near-infrared spectroscopy and topography for brain and muscle clinical applications ». *Journal of Biomedical Optics*, vol. 12, no 6, p. 062104-1-062104-14.
- Zimmer, Hubert D., Harry R. Speiser et Beate Seidler. 2003. « Spatio-temporal working-memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms ». *Acta Psychologica*, vol. 114, p. 41-65.