

L'impact de l'entraînement assisté par ordinateur sur le développement des fonctions exécutives dans le cadre d'un trouble déficitaire de l'attention chez des enfants âgés de 7 à 9 ans

The impact of computer-based training on developing the executive functions in the context of an attention deficit disorder for children aged between 7 and 9 years old

Karen Abou Assi

Faculté de Pédagogie, Université Libanaise, Beyrouth, Liban

Hicham El Houry

LaRRIS, Faculté des sciences, Université libanaise, Fanar, Liban

Rima Malek, Hiba Naccache

Faculté de Pédagogie, Université Libanaise, Beyrouth, Liban

Résumé

La rééducation des fonctions exécutives est primordiale pour les sujets ayant un TDA/H. Afin d'offrir une rééducation efficiente, les psychomotriciens cherchent à proposer en parallèle aux séances de rééducation une possibilité d'entraînement régulier en ciblant les modalités pluri-sensorielles des fonctions altérées. Répondant à ces caractéristiques, 21 jeux numériques ont été spécifiquement conçus, testés et adaptés en se fondant sur les techniques de remédiation cognitive et des modèles décrivant les fonctions exécutives des personnes présentant un TDA/H. Les jeux, ciblant l'inhibition du type *go/no-go*, l'attention sélective visuelle et la mémoire de travail visuo-spatiale, ont été proposés sous la forme d'un entraînement assisté par ordinateur avec une moyenne de trois entraînements par semaine. Cinq enfants ayant un TDA/H ont suivi l'entraînement sur une durée de deux mois. Une évaluation grâce à des tests psychométriques effectués au groupe expérimental et à un groupe contrôle, montre un résultat prometteur en faveur du groupe expérimental¹.

Mots clés : jeux numériques, entraînement assisté par ordinateur, TDA/H, fonctions exécutives

Abstract

Rehabilitation of executive functions is essential for people with attention deficit disorder. In order to offer effective treatment, psychomotor therapists seek to suggest, in parallel to the regular sessions, a daily training opportunity targeting the multi-sensory modalities of the impaired functions. According to these characteristics, 21 digital games have been specifically designed, tested and modified based on the cognitive remediation techniques, attentional drill and models describing the executive functioning of people with ADHD. The games, targeting inhibitory control through go/no-go tasks, focal visual attention, and visual spatial working memory, were presented in a computer assisted training setting with an average of 3 times per week simultaneously with psychomotor therapy sessions. Five Lebanese children with ADHD trained for two months. The progress measured by psychometric tests, revealed promising results when training is performed.

Keywords: digital games, computer assisted training, ADHD, executive functions

¹ Nous tenons à signaler la limite de notre méthodologie relative à l'usage du T de Student dans cette recherche compte tenu du faible effectif sur lequel repose nos calculs. Notre discussion sur les résultats obtenus a donc valeur prospective.

I. Introduction

L'utilisation des nouvelles technologies numériques notamment celles en lien avec la remédiation cognitive assistée par ordinateur devient très fréquente dans les domaines de rééducation (Sablier, Stip et Franck, 2009 ; Samama, Voisin, Komano et Jouvent, 2017). Elle est utilisée auprès de patients cérébrolésés, de patients ayant des troubles mentaux en psychiatrie et d'enfants ou d'adolescents ayant des troubles neurodéveloppementaux comme le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (Franck, 2014). La remédiation cognitive assistée par ordinateur est concrètement présentée sous la forme d'un entraînement à des jeux numériques (Samama, Voisin, Komano et Jouvent, 2017). Elle constitue toutefois un défi et présente plusieurs enjeux tant pour les rééducateurs que pour les patients et leurs familles. Dans le cas d'enfants présentant un TDA/H, se pose la question de savoir quels bénéfices présentent les jeux numériques ? Dans quelles conditions l'entraînement doit-il être appliqué ? À quelle fréquence doit-il être suivi ? Sur quels fondements théoriques se base cette technique ? Et quelles en sont ses limites ?

Pour répondre à ces questionnements, 21 jeux numériques ont été conçus par une psychomotricienne, un informaticien et un ingénieur pédagogique ; ceci afin de tester si l'intégration des nouvelles technologies pourrait favoriser l'amélioration des fonctions exécutives, lorsqu'utilisée d'une manière appropriée. L'équipe pluridisciplinaire qui a développé ces jeux a facilement collaboré étant donné que tous ses membres sont formés aux technologies éducatives. Ces jeux ont été présentés à cinq enfants libanais ayant un TDA/H et âgés entre 7 et 9 ans. Ils ont été conçus, développés et testés afin de permettre aux enfants faisant partie du groupe expérimental d'entraîner l'inhibition au niveau des tâches de type *go/no-go*, l'attention sélective visuelle et la mémoire de travail visuo-spatiale sur une période de huit semaines. Une revue des théories fondant l'élaboration de ces jeux et leur utilisation auprès d'enfants ayant un TDA/H permettra de justifier la démarche suivie. Nous présenterons ensuite nos résultats et conclusions.

II. L'entraînement assisté par ordinateur et le TDA/H : des critères complémentaires

Les jeunes ayant un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité semblent être attirés par les jeux numériques et par le monde digital comme bien autres enfants en 2019. L'excès de l'exposition aux écrans est certes nuisible au développement de l'enfant, mais des expositions réfléchies à courtes durées ne causent pratiquement pas de problèmes (Huerre, 2013). Pour cela, il serait intéressant de profiter de cet attrait afin de permettre aux enfants ayant un TDA/H d'entraîner leurs fonctions exécutives en utilisant un médiateur qui leur plaît et qu'ils manipulent aisément.

A. Définition du TDA/H, prévalence et traitement

Le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité peut être résumé en une triade symptomatologique : inattention, impulsivité, hyperactivité (American Psychiatric Association, 2013 ; Marquet-Doléac et Soppelsa, 2009). Ces 3 symptômes coexistent et se répartissent différemment d'un individu à l'autre. Les fonctions exécutives sont elles aussi altérées et la mémoire de travail est sévèrement atteinte (Barkley, 1997 ; Sonuga-Barke, 2013).

Au Liban, la prévalence est de 3,2% chez les enfants âgés de 7 à 9 ans, avec un ratio de genre de 4,5% pour les garçons et de 1,5% pour les filles (Richa et al., 2014). Cette même étude révèle que le taux est relativement inférieur au Liban que dans les pays européens et américains par manque de signalement et de sensibilisation. Ce trouble peut être comorbide avec des troubles spécifiques des apprentissages dans 20 à 25% (Plizka, 1998) des enfants avec TDA/H, sans réciprocity. Un grand nombre d'études (Soppelsa, Albaret et Corraze, 2009) signalent une comorbidité entre le TDA/H et le trouble d'acquisition de la coordination (TAC) appelé aussi trouble développemental de la coordination (TDC) et représenterait environ 31% des enfants de 9 ans avec TDA/H (The Adore study group, 2004).

Le traitement pharmacologique est utilisé avec une grande fréquence pour traiter le TDA/H et montre des effets efficaces et rapides sur le comportement et l'attitude des patients (Bourgeois, Kim et Mandi, 2014 ; Yang, Chung, Chen et Chen, 2004). La prise de ces médicaments stimule les fonctions

attentionnelles et diminue l'agitation. Les recherches ont prouvé que ces stimulants pharmacologiques, quoique nécessaires, restent insuffisants et n'améliorent pas les compétences exécutives chez les patients d'où l'intérêt des prises en charge paramédicales (Bidwell, Mccleron et Kollins, 2011) avec des techniques de rééducation efficaces.

B. Définition, importance et développement des fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des fonctions de direction qui permettent lors de l'accomplissement d'une tâche, en premier lieu la définition d'un but à atteindre et d'une stratégie pour y parvenir et en second lieu, le contrôle de sa mise en œuvre et des résultats (Godefroy, 2008). Elles servent plus spécifiquement « à manipuler les informations, à les enregistrer, à les recombinaisonner, à maintenir l'attention, à réduire les distractions et à ajuster la vitesse mentale afin d'accomplir une tâche » (Samier et Jacques, 2019, p. 55). Elles sont donc nécessaires pour la réussite scolaire et sont impliquées dans tous les domaines quotidiens tant au niveau cognitif qu'au niveau socio-émotionnel (Casey et Caudle, 2013 ; Houdé et Borst, 2018).

Plusieurs classifications existent et mettent en relief la présence de trois fonctions exécutives principales qui sont l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive (Diamond, 2013). En se basant sur ces trois fonctions se construisent la planification, la résolution de problèmes et le raisonnement, fonctions exécutives qualifiées de plus haut niveau (Collins et Koechlin, 2012). Ces fonctions sont les fonctions exécutives froides et opèrent dans un cadre non influencé par les émotions. Dans les situations affectives, ce sont les fonctions exécutives chaudes qui régissent le comportement, favorisent le traitement des émotions et permettent la prise de décisions affectives (Roy, Le Gall, Roulin et Fournet, 2012 ; Zelazo et Carlson, 2012).

Les recherches en neuroéducation montrent que l'inhibition et la mémoire de travail sont étroitement liées au développement des compétences en lecture, en grammaire et en mathématiques d'où l'importance de les stimuler précocement (Bull, Espy et Wiebe, 2008 ; Lanoë, Lubin, Vidal, Houdé et Borst, 2016 ; Roell, Viarouge, Houdé et Borst, 2017). Le contrôle inhibiteur est engagé lorsqu'un sujet doit faire preuve de résistance, de sortir de ses routines ou de se centrer sur une information spécifique sans tenir compte du reste des informations présentes qu'elles soient perceptives, motrices, cognitives ou émotionnelles (Friedman et Miyake, 2004). Quant à la mémoire de travail, elle « constitue l'atelier du cerveau » (Houdé et Borst, 2018, p. 201) en rendant possibles le maintien actif et la manipulation des informations pendant une dizaine de secondes afin d'aboutir à un objectif prédéfini (Diamond et Ling, 2016).

Par ailleurs, la motivation est un élément clé dans le développement des fonctions exécutives puisqu'elle facilite le maintien des consignes et stimule le système stratégique, chef d'orchestre au niveau du fonctionnement exécutif, permettant la définition des objectifs (Samier et Jacques, 2019). De ces faits, tout apprenant peut profiter de la stimulation des fonctions exécutives, mais ce sont ceux qui présentent des déficits à ce niveau qui en bénéficient le plus (Houdé et Borst, 2018) et c'est pour les raisons citées ci-dessus que notre travail de recherche propose de stimuler l'inhibition et la mémoire de travail chez des enfants présentant un TDA/H.

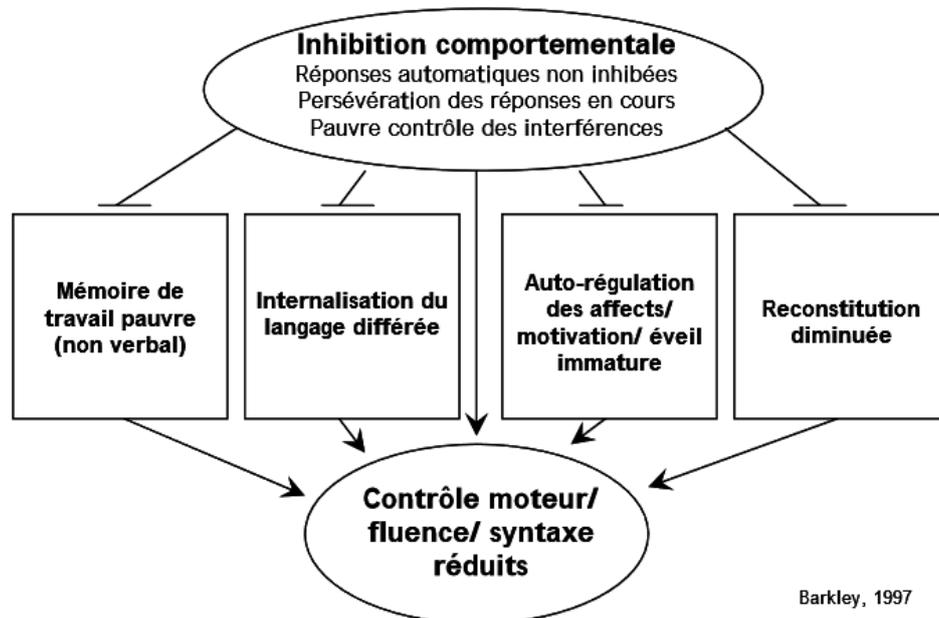
C. Fondements de base de la rééducation des fonctions exécutives chez les jeunes ayant un TDA/H

La démarche suivie afin de concevoir les jeux numériques et de les proposer aux participants s'est fondée sur des études permettant de comprendre le fonctionnement cognitif et exécutif des jeunes ayant un TDA/H. Nous évoquons en premier lieu la triade symptomatologique caractérisant ce trouble, laquelle invoque un déficit attentionnel, une impulsivité et une hyperkinésie (Marquet-Doléac et Soppelsa, 2009).

En deuxième lieu, le modèle de Barkley décrit le TDA/H comme étant un trouble de l'inhibition comportementale et de l'autocontrôle (Albaret, 2005 ; Barkley, 1997) (voir *Illustration 1*). Ce modèle explique d'une manière hypothétique le déficit au niveau de l'inhibition comportementale présent chez les sujets présentant un TDA/H des types hyperactif-impulsif et combiné. L'inhibition comportementale regroupe l'inhibition de la réponse face à un événement, l'arrêt de la réponse en cours autorisant un délai de réflexion ainsi que le contrôle des interférences. Ce déficit se répercute sur le

fonctionnement exécutif et plus précisément sur la mémoire de travail non verbale, l'internalisation du langage en lien avec la mémoire de travail verbale, l'autorégulation des motivations et de l'éveil ainsi que la reconstitution des éléments d'une nouvelle manière.

**Figure 1. Le TDA/H comme trouble de l'inhibition comportementale et de l'autocontrôle :
Le modèle de Barkley (1997)**



En dernier lieu, le modèle à deux voies de Sonuga-Barke met en relief un dysfonctionnement exécutif et une aversion pour le délai (Barkley, 1997) (voir *Illustration 2*). Le modèle à deux voies de Sonuga-Barke permet une vision holistique du TDA/H. La première voie concerne l'inhibition comportementale gérée par la boucle mésocorticale dopaminergique, indépendante du contexte environnemental. La seconde voie concerne l'aversion du délai : c'est la voie mésolimbique dopaminergique qui dépend de l'environnement. Ces deux voies explicitent le comportement et l'investissement d'une personne ayant un TDA/H durant une activité proposée.

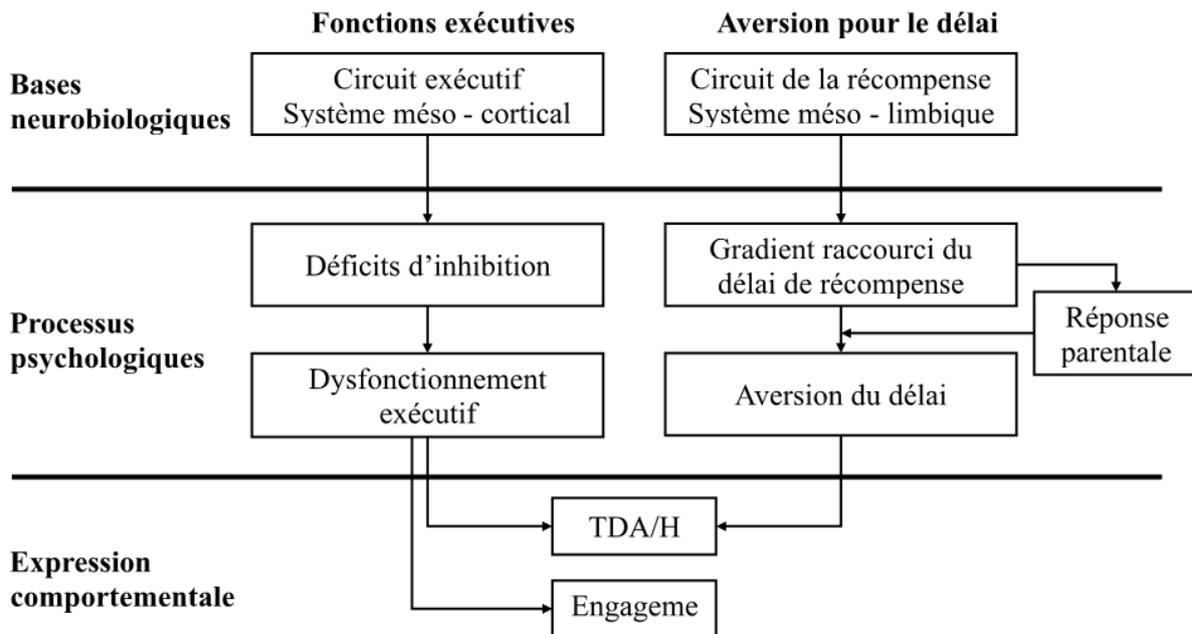
De ces modèles on déduit que la rééducation devrait cibler entre autres l'attention en toutes ses facettes, l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive, les compétences de planification et la réduction de l'hyperactivité.

L'utilisation du programme d'auto-instruction est très fréquente surtout en séances de psychomotricité, cette technique devant être installée et maintenue durant plusieurs séances (Meichenbaum et Goodman, 1971). Elle se base sur la description des tâches en cours d'exécution afin que l'enfant puisse verbaliser lui-même et puis intérioriser les tâches en cours d'exécution en passant tout d'abord par le soliloque.

La technique canadienne CO-OP (*Cognitive Orientation to daily Occupational Performance*) est aussi efficace auprès d'enfants ayant un TDA/H. Elle permet de décider d'un but à atteindre et des étapes à suivre, pour ensuite les évaluer et leur permettre de s'autocorriger (Polatajko et Mandich, 2004).

La relaxation et les exercices de stimulation des sens vestibulaires peuvent être utilisés avec les enfants ayant un TDA/H, lorsque le traitement est dans un stade avancé et à condition que l'hyperactivité ne soit pas très aiguë. Ces techniques permettent de réduire les symptômes associés à ce trouble, notamment l'anxiété (Chevalier, Guay et Achim, 2006).

Figure 2. Modèle à deux voies de Sonuga-Barke décrivant la physiopathologie du trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (2013)



Le *drill* attentionnel ou exercice d'attention est aussi une technique utilisable qui se base sur un entraînement intensif et répété de la fonction altérée afin d'aboutir à son amélioration (Sturm, Wilmess, Orgass et Hartje, 1997). Cette technique a été inspirée de la théorie de plasticité cérébrale et a inspiré les techniques d'entraînement cérébral.

D. L'entraînement cérébral assisté par ordinateur

À grand renfort médiatique, les programmes d'entraînements cérébraux deviennent une tendance dans les temps actuels et vantent une amélioration du fonctionnement cognitif. En se basant sur le concept de plasticité cérébrale et sur la faculté du cerveau à récupérer et à se restructurer, l'entraînement des fonctions cognitives permet au système nerveux de s'adapter et de participer à la réduction des conséquences des altérations structurelles causées par des troubles ou pathologies (Habib, 2014). En général, les programmes d'entraînements cérébraux s'adressent à des sujets neurotypiques, peu de programmes sont adaptés aux déficits cognitifs ou exécutifs que ce soit à cause du niveau de départ ou de la progression de la difficulté au fur et à mesure que les niveaux de jeu augmentent.

À condition que les jeux soient conçus d'une manière adaptée, des personnes ayant des déficits au niveau d'un ou de plusieurs domaines cognitifs pourraient bénéficier de ce genre d'entraînement. Nous citons entre autres, les patients atteints d'Alzheimer, les patients atteints de schizophrénies, les jeunes ayant un TDA/H... D'ailleurs, la remédiation cognitive s'inspire de ces entraînements, afin de bien mener les thérapies présentées aux patients (Franck, 2014).

De plus, les jeux numériques sont en train d'être utilisés par des élèves français au service des apprentissages scolaires. Ce sont des « *ressources fonctionnant sur des supports numériques, organisées autour de ressorts et de modalités ludiques [...] destinées à développer des connaissances ou des compétences* » (Ministère français de l'éducation nationale de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2017). En d'autres termes, la différence entre les jeux vidéo présents sur le marché et les jeux conçus pour les entraînements assistés par ordinateur réside au niveau de l'objectif poursuivi : divertissement pour les premiers, soit les jeux vidéo ; et développement de compétences pour les seconds, soit les jeux conçus pour les entraînements assistés par ordinateur.

Pour démontrer les effets directs qu'ont les entraînements assistés par ordinateur sur le cerveau, des

chercheurs ont étudié l'activité cérébrale chez des sujets neurotypiques âgés entre 8 et 12 ans, grâce aux signaux enregistrés par un électro-encéphalogramme réalisé au moment où les sujets jouaient à des jeux numériques (Mondéjar, Hervas, Johnson, Gutierrez et Latorre, 2016). L'objectif était donc d'analyser les réactions du lobe frontal du cerveau responsable des fonctions exécutives au cours de cinq types de jeux utilisés dans les jeux vidéo commerciaux. Les résultats ont confirmé que ces jeux peuvent effectivement développer les fonctions exécutives et ont permis l'émergence d'une piste de conception de jeux ciblés.

L'un des intérêts de l'utilisation des jeux numériques réside en premier lieu dans le fait que la génération actuelle d'enfants et d'adolescents est fréquemment exposée aux jeux vidéo. Cette génération, très à l'aise avec l'utilisation du numérique, est habituée à ses caractéristiques. Grâce notamment à la rapidité de présentation des stimuli, à la possibilité de créer des expériences pluri-sensorielles et l'accès à distance, l'utilisation de jeux numériques pourrait donc être un moyen d'entraînement des fonctions cognitives déficitaires. Cet usage ne remplace certes pas les rééducations paramédicales, mais sert plutôt comme objet de support. Son utilisation dans le cadre paramédical et neuropsychologique peut se faire sous le nom de *remédiation cognitive assistée par ordinateur*.

III. L'expérience effectuée

Peu d'études montrent les résultats d'un entraînement assisté par ordinateur auprès d'enfants ayant un TDA/H, malgré les fondements théoriques justifiant leur utilisation et leur efficacité. Pour cela, ce travail a testé l'efficacité de l'entraînement à distance assisté par ordinateur comme support à la rééducation psychomotrice sur un groupe de cinq enfants libanais et de le comparer aux résultats de cinq autres enfants ayant suivi la rééducation psychomotrice régulière sans le support de l'entraînement à distance, ceci sur une durée de huit semaines.

A. La démarche expérimentale

La population choisie pour l'expérience est constituée de dix enfants libanais âgés de sept à neuf ans diagnostiqués comme ayant un TDA/H. Le nombre a été fixé à dix pour tenter d'avoir un groupe homogène au niveau de la sévérité du trouble et ainsi de tenter de mieux contrôler les variables.

Les dix enfants ont été divisés également et aléatoirement en un groupe témoin poursuivant la rééducation habituelle et en un groupe expérimental effectuant un entraînement cérébral durant huit semaines en parallèle à la rééducation habituelle. Les moyennes des deux groupes au niveau des différentes épreuves aux pré-tests sont similaires.

Parmi les dix enfants, il y avait sept garçons et trois filles.

Ces enfants sont scolarisés dans des écoles ordinaires ou inclusives et sont pris en charge depuis au moins deux mois et maximum un an.

Ils possèdent tous un Quotient Intellectuel (QI) appartenant à la moyenne en 90 et 109 selon les indices du test WISC-IV.

Les dix enfants ont été diagnostiqués comme ayant un TDA/H, ils sont tous pris en charge en rééducation psychomotrice présentant un comportement d'agitation en classe et des difficultés scolaires.

Les sujets peuvent être sous traitement médicamenteux (relatif au TDA/H) ou pas selon les prescriptions de leur psychiatre, en effet six jeunes étaient sous traitement pharmacologique et quatre ne l'étaient pas, ils ont été répartis équitablement dans les deux groupes.

Suite à l'évaluation, des réunions ont été faites avec les parents des enfants appartenant au groupe expérimental, durant leurs séances respectives, afin de discuter de l'importance de l'entraînement à effectuer à la maison et de leur expliquer le mode de fonctionnement des jeux élaborés. Les parents ont été encouragés à se montrer vigilants au niveau de la fréquence de l'entraînement et de noter sur une feuille le nombre d'entraînements effectués chaque semaine et de les communiquer au thérapeute au cours de chaque séance. Un suivi quotidien a eu lieu avec les parents afin de s'assurer de la régularité des entraînements effectués à la maison et pour collecter des informations concernant les difficultés

rencontrées, le comportement à l'école et les résultats scolaires.

L'intervention a eu lieu selon les étapes suivantes :

- Étape 1 : Pré-test en utilisant les outils d'évaluation précités, auprès des deux groupes ;
- Étape 2 : Entraînement pendant huit semaines pour le groupe expérimental et rééducation habituelle pour les deux groupes ;
- Étape 3 : Posttest aux deux groupes en utilisant les mêmes outils d'évaluation ;
- Étape 4 : Analyse des résultats des deux groupes.

Deux types de tâches d'inhibition ont été sélectionnées pour l'entraînement : la tâche de go/no-go où le sujet doit effectuer ou pas une action suite à un stimulus et la tâche d'attention sélective visuelle où le sujet doit focaliser son attention sur une information en présence de distracteurs. La mémoire de travail dite visuo-spatiale caractérisée par des informations de type visuel agencées dans un espace donné a aussi été choisie parmi les différents types de mémoire de travail. Afin de garantir le développement des fonctions exécutives, l'entraînement doit se faire d'une manière fréquente et l'ajustement continu du niveau de difficulté est essentiel (Diamond, 2012).

L'entraînement proposé au niveau de notre étude inclut trois techniques des quatre proposées pour la rééducation des fonctions exécutives chez les enfants ayant un TDA/H. Le programme d'auto-instruction, le soliloque et l'approche CO-OP ont été expliqués aux parents et aux enfants afin d'être utilisés lors des entraînements à la maison. La fréquence demandée s'est basée sur la technique de *drill* attentionnel (exercice d'attention) et l'importance de l'entraînement intensif. Pratiquement, les parents devaient encourager leurs enfants à verbaliser le but du jeu avant de le jouer, à répéter à voix haute les consignes à effectuer et à décrire les étapes à suivre ainsi que les erreurs effectuées et les alternatives auxquelles il fallait opter. La relaxation n'a pas été utilisée avec tous les enfants puisqu'elle n'est pas complémentaire à la nature de l'entraînement proposé et que les participants ne sont pas tous prêts à le faire.

B. Les jeux numériques conçus

Vingt et un jeux ciblant la tâche *go/no-go*, l'attention sélective visuelle et la mémoire de travail visuo-spatiale, ont été spécifiquement conçus en tenant compte du niveau des enfants et de leurs intérêts. Ces jeux ont été déposés sur une plateforme gratuite et l'accès à l'adresse a été donné au groupe expérimental. L'adresse est la suivante : <https://psychomotriciteliban.wordpress.com/>

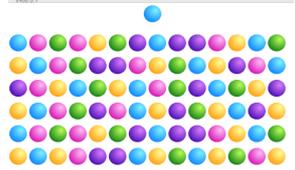
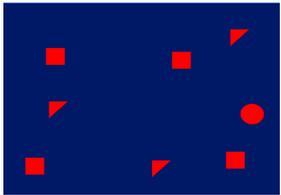
Un travail d'ingénierie pédagogique s'est imposé bien avant le développement des outils numériques : les jeux. Le choix du Modèle ADDIE (Analyse, Design, Développement, Implantation, Évaluation) générique a été fait afin de concevoir ces dispositifs d'enseignement et de formation qui sont adaptés aux besoins du public cible susmentionné. Ainsi, le Modèle ADDIE qui suppose un travail de synthèse intégrant les apports des chercheurs (Chaptal, 2003) a constitué la feuille de route pour le développement de la production de jeux. Basé sur cinq phases ADDIE a permis : 1) d'*Analyser* la situation de départ qui a montré clairement le besoin de créer des outils permettant l'accès à un entraînement intensif de chez soi et de faire un diagnostic des besoins du public cible, les enfants présentant un TDA/H. Ainsi le besoin a été identifié comme étant une plateforme contenant des jeux ciblant les fonctions exécutives ; 2) de faire un *Design* de ce dispositif : 21 jeux d'entraînement cognitif ciblant les fonctions exécutives ont été développés avec un niveau de difficulté augmentant progressivement ; 3) de *Développer* ces jeux en utilisant *scratch* comme langage de programmation favorisant ainsi l'utilisation des logiciels libres ; 4) d'*Implanter* ces jeux sur une plateforme en ligne et à accès libre afin de les rendre accessibles de tout lieu et à tout moment ; 5) d'*Évaluer* le résultat et de recommencer la boucle par la première phase, soit l'analyse, afin de réguler tout ce qui pouvait être amélioré. En effet, tous les jeux ont été modifiés à plusieurs reprises suite aux besoins observés majoritairement par la thérapeute et les parents qui accompagnaient les entraînements de leurs enfants (ils sont encore perfectibles).

Le logiciel *Scratch* a été choisi étant entièrement gratuit et permettant de mettre en place plusieurs situations de jeu, d'importer des images aux formats *.png* et *.jpg*, de créer des images en mode vectoriel

etc. De plus, ce logiciel permet de partager facilement les jeux sur des plateformes en ligne, il est continuellement mis à jour et ne présente pratiquement pas de blocage et d'erreurs. Le seul *Plug in* nécessaire pour le démarrage des jeux est *Adobe Air*, qui peut être installé. Ainsi, le langage Scratch est très accessible. Son interface graphique (*Graphical User Interface : GUI*) permet aux programmes d'être structurés en pile de blocs, c'est-à-dire que toute la programmation peut être effectuée à partir de la commande prédéterminée pour être regroupée. Bien que simple, le langage Scratch permet à l'utilisateur de libérer son imagination en développant des programmes interactifs. Cette fiabilité donne à l'auteur un accès très simple pour modifier, enlever ou ajouter une étape sous condition spécifique et en temps réel.

Les enfants participants à l'étude ont montré une aise quant à l'utilisation de l'ordinateur quoiqu'ils préfèrent l'utilisation de la tablette tactile. Ils ont dit être motivés par l'idée d'un entraînement assisté par ordinateur. Un parent a relevé une résistance de la part de son enfant suite à un score bas à une partie de jeu, mais ayant plusieurs jeux à leur disposition, l'entraînement a pu être repris sans grande opposition. L'accès à une connexion Internet relativement lente chez certaines familles a provoqué une impatience de la part d'enfants. Cette difficulté a été résolue par une prise de précaution de la part des parents qui attendaient que les jeux soient prêts avant de demander à l'enfant de démarrer son entraînement.

Tableau 1. Les jeux d'attention sélective visuelle

1	<p>Éclate les ballons bleus</p> <p>Jeu de niveau facile où l'enfant est amené à effectuer une recherche visuelle rapide de l'écran afin de trouver les ballons bleus et de cliquer dessus pour les éclater, avant qu'ils ne disparaissent. Des ballons ayant d'autres couleurs sont présents aussi sur l'écran et possèdent un rôle de distraction.</p>	
2	<p>Les étoiles filantes</p> <p>Ce jeu nécessite aussi des capacités de balayage visuel, mais cette fois, l'enfant usera de l'attention auditive et visuelle. Il doit attraper les étoiles roses s'il entend de la musique et les autres étoiles en l'absence de musique. L'intermodalité sensorielle le poussera à faire un plus grand effort attentionnel.</p>	
3	<p>Les balles colorées</p> <p>Ce jeu présente un niveau plus avancé que les deux sus-exposés. Une balle modèle est fixée en haut de l'écran et change de couleur. Plusieurs balles sont présentes sur l'écran et l'enfant doit cliquer uniquement sur celles qui ont une couleur identique à la balle modèle. Tout en exécutant cette tâche, l'enfant doit être capable de percevoir les changements de couleur de la balle initiale.</p>	
4	<p>Trouve l'intrus</p> <p>L'enfant est amené à faire un grand effort de sélectivité attentionnelle. Il doit trouver dans une variété d'éléments celui qui ne figure qu'une seule fois. Les éléments se ressemblent en forme et en couleur, ce qui rend la tâche complexe.</p>	

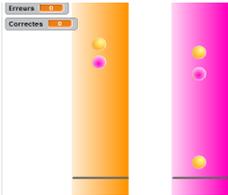
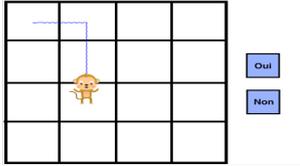
5	<p>Zap zap</p> <p>Ce jeu requiert une forte charge attentionnelle ainsi qu'une rapidité de réaction. Sur l'écran sont placées deux colonnes, une rose et une jaune. Des balles glissent dans les deux colonnes. L'enfant doit laisser passer les balles ayant une couleur identique à celle de la colonne où elles glissent et doit cliquer sur les balles ayant une couleur différente pour les supprimer avant qu'elles n'arrivent à la fin.</p>	
---	---	---

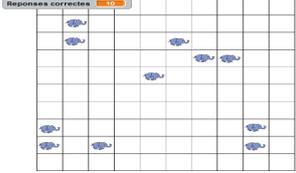
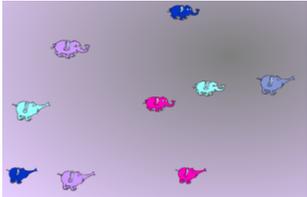
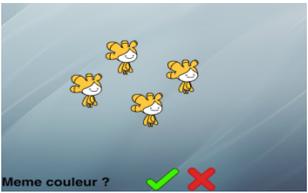
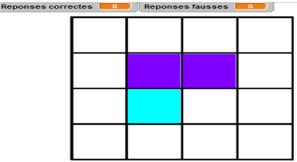
Tableau 2. Les jeux « go/no-go »

1	<p>Lunettes - chapeaux</p> <p>Jeu de niveau facile où l'enfant est amené à donner une réponse motrice rapide tout en gérant son impulsivité. L'absence de distracteurs et l'utilisation unique de la modalité visuelle permettent une meilleure inhibition. En effet l'enfant doit cliquer sur la touche « L » s'il voit des lunettes et sur la touche « C » s'il voit des casquettes.</p>	
2	<p>Lunettes - chapeaux - musique</p> <p>Jeu similaire au précédent qui fait cette fois intervenir deux modalités : la vision et l'ouïe. Le niveau est donc un peu plus avancé. L'enfant devra donc cliquer sur la casquette s'il entend de la musique ou sur les lunettes si la musique est absente.</p>	
3	<p>Chasse aux taupes</p> <p>L'enfant est amené dans ce jeu à avoir une réponse rapide et exacte à la fois. Il doit cliquer sur les taupes dont le ventre est d'une couleur bien précise et ne doit pas cliquer sur le reste des taupes. Un chronomètre a été intégré pour permettre à l'enfant de prendre conscience du temps qu'il est en train de prendre pour effectuer la tâche. Il pourra ainsi comparer ses scores chaque semaine.</p>	
4	<p>Clique sur le pingouin</p> <p>Ce jeu contient deux niveaux. Le premier intègre uniquement la modalité visuelle et le second intègre les modalités visuelles et auditives. Comme le reste des jeux d'inhibition, l'enfant doit donner une réponse à la fois rapide et correcte. Dans ce jeu, il doit cliquer sur le pingouin qui lève les bras dans un premier temps, puis sur le pingouin qui lève les bras si en même temps il entend de la musique.</p>	

5	<p>Attention aux chats</p> <p>Ce jeu est d'un niveau plus avancé que ceux qui le précèdent. Il intègre uniquement la modalité visuelle, mais les informations reçues changent et l'enfant doit s'y adapter. Il y a des chats de chaque côté de l'écran chacun d'une couleur et des chats apparaîtront au milieu au fur et à mesure du jeu. L'enfant devra envoyer le chat du milieu chez celui qui possède la même couleur. Les chats sur les côtés échangeront leurs places au cours du jeu, l'enfant devra s'adapter au changement sans être impulsif.</p>	
6	<p>Attention aux chats – niveau 2</p> <p>Ce jeu suit le même principe que le précédent sauf que l'enfant doit envoyer le chat vers le côté opposé à la couleur qui lui est identique. Ainsi, ce jeu nécessite beaucoup plus de flexibilité attentionnelle et de meilleures capacités d'inhibition.</p>	
7	<p>La licorne</p> <p>Le jeu de la licorne nécessite une vitesse de réaction et des compétences d'inhibition. L'enfant est amené à aider la licorne à s'échapper de la sorcière tout en collectant les fruits rouges uniquement. S'il collecte les fruits jaunes, il sera pénalisé.</p>	
8	<p>La licorne – niveau 2</p> <p>La même consigne que le jeu précédent est donnée, sauf que dans le niveau 2, l'enfant doit collecter les fraises rouges uniquement. Il ne doit pas collecter le reste des fruits rouges ni les bananes.</p>	

Tableau 3. Les jeux de mémoire visuo-spatiale

1	<p>Gratte ta mémoire</p> <p>L'enfant est amené à travers ce jeu à retenir une suite de trois ou quatre éléments visuels chronologiquement. Le niveau est facile, c'est un exercice idéal pour démarrer l'entraînement de la mémoire visuo-spatiale puisque les éléments distracteurs ne sont pas très pointus.</p>	
2	<p>Les singes et les bananes</p> <p>Le niveau étant un peu plus difficile que le premier jeu, l'enfant doit cette fois retenir le chemin effectué par un singe et utiliser l'information mémorisée pour l'utiliser ultérieurement. Les chemins augmentent graduellement de complexité.</p>	

3	<p>Nouvel objet niveau 1</p> <p>Des éléments vont apparaître progressivement sur l'écran puis disparaître et réapparaître. À chaque fois un seul nouvel élément apparaît avec les anciens. L'enfant n'a pas le droit de cliquer sur le même élément deux fois, il doit donc faire un bon effort de mémorisation.</p>	
4	<p>Nouvel objet niveau 2</p> <p>Même consigne que le niveau 1 mais les éléments augmentent de complexité, ils se ressemblent et donc l'enfant doit bien retenir les détails.</p>	
5	<p>Mémoire d'éléphant niveau 1</p> <p>Des éléphants d'apparence complètement identique vont apparaître progressivement dans un tableau puis disparaître et réapparaître. À chaque fois un seul nouvel éléphant apparaît avec les anciens. L'enfant doit cliquer sur le nouvel éléphant à chaque fois. Les emplacements deviennent proches au fur et à mesure qu'on progresse dans le jeu pour augmenter la complexité et stimuler un effort de rétention mnésique.</p>	
6	<p>Mémoire d'éléphant niveau 2</p> <p>Cette fois aussi des éléphants vont apparaître progressivement sur l'écran puis disparaître et réapparaître de nouveau. À chaque fois un seul nouvel éléphant apparaît avec les anciens. La différence se tient au niveau de l'apparence et des emplacements. L'enfant n'a pas le droit de cliquer sur le même éléphant deux fois, il doit donc bien retenir les détails de l'apparence des éléphants sur lesquels il clique.</p>	
7	<p>Identiques ou pas ?</p> <p>Ce jeu présente un niveau de difficulté encore plus avancé que ceux qui précèdent. Plusieurs éléments apparaîtront sur l'écran, ces éléments auront des particularités au niveau de la couleur, de la forme, du nombre et du sens de rotation. À chaque fois que les éléments disparaissent, une question de comparaison avec ceux qui les ont précédés apparaîtra et l'enfant devra répondre par oui ou non. Vu que la question apparaît après avoir vu l'élément, un grand effort de restitution mnésique doit être effectué.</p>	
8	<p>Les carreaux</p> <p>Ce jeu nécessite beaucoup d'effort de rétention et de restitution mnésiques. Des carreaux de couleurs différentes apparaîtront dans un tableau pour ensuite disparaître. L'enfant devra cliquer sur l'emplacement des carreaux de la couleur indiquée par la consigne. La complexité augmente graduellement.</p>	

C. Les moyens d'évaluation

Les tests neuropsychologiques permettent de décrire avec précision différents processus cognitifs liés aux structures cérébrales qui les sous-tendent. Ils ont la capacité de mesurer de façon standardisée et quantitative les aspects les plus complexes du comportement tel que l'attention, la mémoire, le langage, le raisonnement et les processus émotionnels. Au niveau de la neuroéducation, ces tests servent à détecter une différence suite à l'implémentation d'un protocole pour permettre un regard nouveau sur les méthodes éducatives. Les scores obtenus à l'aide des tests forment les variables indépendantes (Masson et Borst, 2017).

La tâche *go/no-go* a été évaluée grâce au subtest marche-arrête de la batterie TEA-ch (Manly, Robertson, Anderson et Mimmo, 2004), l'attention sélective visuelle a été évaluée par le subtest recherche dans le ciel de cette même batterie. La mémoire visuo-spatiale a été évaluée grâce au subtest empan à l'envers du test des blocs de Corsi (Albaret et Fournier, 2014).

IV. Les résultats statistiques

Les tableaux des mesures sont disponibles en annexe.

A. Analyse statistique des résultats au niveau de l'attention sélective visuelle

Le Test T pour échantillons indépendants « *Independent Samples T Test* » montre qu'au niveau du pré-test, il n'existe pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. La valeur p est égale à 0.842, supérieure à 0.05. Au niveau du post-test, la différence entre les 2 groupes est significative, la valeur p étant égale à 0.002 et inférieure à 0.05. La moyenne du groupe expérimental ($M = 10.4$) étant supérieure à la moyenne du groupe contrôle ($M = 6$) montre que la différence est en faveur du groupe expérimental.

Pour comparer la différence entre le pré-test et le post-test chez les deux groupes le Test sur échantillons appariés « *Paired Samples Test* » est utilisé. On note une évolution significative chez le groupe expérimental avec une valeur p égale à 0.008, inférieure à 0.05. Le groupe contrôle présentant la même moyenne en pré-test et post-test, le « *Paired Samples Test* » ne peut être effectué et montre qu'il n'existe pas de différence significative chez le groupe contrôle.

Ainsi, l'entraînement quotidien sur une période de huit semaines semble permettre une meilleure évolution de l'attention sélective visuelle, en comparaison aux méthodes utilisées quotidiennement qui ne montrent pas d'évolution après huit semaines de rééducation.

B. Analyse statistique des résultats au niveau de la tâche *go/no-go*

Notons qu'au niveau du subtest marche – arrête nous avons des scores de dégradation, ceci signifie que plus les scores sont élevés plus les difficultés sont sévères.

Le Test T pour échantillons indépendants « *Independent Samples T Test* » montre qu'au niveau du pré-test, il n'existe pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. La valeur p est égale à 0.943, supérieure à 0.05. Au niveau du post-test, la différence entre les deux groupes n'est pas significative, la valeur p étant égale à 0.225 et supérieure à 0.05. Il n'existe donc pas de différence entre les deux groupes suite à l'entraînement.

Pour comparer la différence entre le pré-test et le post-test chez les deux groupes le Test sur échantillons appariés « *Paired Samples Test* » est utilisé. On note une évolution significative chez le groupe expérimental avec une valeur p égale à 0.002, inférieure à 0.05. De même, une évolution significative chez le groupe contrôle est notée avec une valeur p égale à 0.003, inférieure à 0.05. En comparant la différence entre les deux groupes, on trouve une évolution légèrement supérieure chez le groupe expérimental.

Ainsi, l'entraînement quotidien sur une période de huit semaines permet une évolution de l'inhibition au niveau de la tâche *go/no-go*, mais cette évolution n'est pas significativement meilleure que celle retrouvée suite aux méthodes usuelles de rééducation.

C. Analyse statistique des résultats au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale

Le Test T pour échantillons indépendants « *Independent Samples T Test* » montre qu'au niveau du pré-test, il n'existe pas de différence significative entre le groupe expérimental et le groupe contrôle. La valeur p est égale à 0.545, supérieure à 0.05. Au niveau du post-test, la différence entre les deux groupes est légèrement significative, la valeur p étant égale à 0.094 et inférieure à 0.1. La moyenne du groupe expérimental ($M = 3.2$) étant supérieure à la moyenne du groupe contrôle ($M = 2.6$) montre que la différence est en faveur du groupe expérimental.

Pour comparer la différence entre le pré-test et le post-test chez les deux groupes le Test sur échantillons appariés « *Paired Samples Test* » est utilisé. L'évolution n'est pas significative chez le groupe expérimental avec une valeur p égale à 0.178, supérieure à 0.05. Le groupe contrôle présentant la même moyenne en pré-test et post-test, le « *Paired Samples Test* » ne peut être effectué et montre qu'il n'existe pas de différence significative chez le groupe contrôle.

Ainsi, l'évolution de la mémoire de travail visuo-spatiale observée suite à l'entraînement quotidien sur une période huit semaines n'est pas significative chez le groupe expérimental et les méthodes quotidiennes ne montrent pas d'évolution suite à huit semaines de rééducation.

La fréquence d'entraînement aux jeux a été collectée et l'analyse faite grâce au test de Kendall. La corrélation entre la fréquence d'entraînement et l'évolution observée a montré une dépendance directe avec une corrélation significative au niveau 0.01 pour l'inhibition, l'attention sélective visuelle, la mémoire de travail : inhibition $r = 0.947$, attention sélective visuelle $r = 0.892$ et mémoire de travail visuo-spatiale $r = 0.734$. Ceci montre que la fréquence d'entraînement et l'évolution notée évoluent parallèlement en crescendo.

Les résultats collectés permettent de montrer que l'entraînement cognitif utilisé comme support à la rééducation habituelle accélère l'évolution. Il est certain que huit semaines de travail pour une population de dix enfants ne suffisent pas pour avoir des résultats généralisables au niveau des compétences évaluées en présence de l'entraînement ou en son absence. Les résultats obtenus permettent de démontrer l'importance de l'entraînement assisté par ordinateur aux jeux numériques en tant que support à la rééducation psychomotrice. La différence entre les moyennes réside dans le fait que huit semaines de rééducation psychomotrice à raison d'une séance par semaine ne sont pas suffisantes, elles permettent toutefois de travailler des stratégies de rééducation que l'enfant peut appliquer seul à distance en s'entraînant sur les jeux numériques.

V. Contraintes face à l'utilisation de l'entraînement effectué

Plusieurs obstacles furent relevés lors de l'application de cet entraînement. On ajoute à la durée d'entraînement mentionnée auparavant, les problèmes techniques rencontrés quant à la qualité de la connexion Internet au Liban, la plus ou moins grande disponibilité des parents pour accompagner leurs enfants lors des entraînements, ce qui a induit des fréquences d'entraînement relativement basses pour certains enfants, ainsi que la préférence de l'utilisation des tablettes tactiles beaucoup plus utilisées de nos jours par les enfants, en comparaison aux ordinateurs utilisés au niveau de cette recherche.

De plus, les enfants ayant participé à l'expérience n'ont pas de profils similaires même si leurs projets thérapeutiques et les conditions de passation et de rééducation sont identiques. Les différences individuelles, sociales et environnementales seraient une des causes des différences dans la rapidité d'évolution et dans l'implication face au travail ayant lieu.

VI. Suggestions futures

Dans une perspective d'application profonde de cette remédiation grâce à l'entraînement assisté par ordinateur et pour pallier les difficultés rencontrées, plusieurs pistes de réflexion s'avèrent pertinentes afin de comprendre :

- Comment élaborer une application mobile en supplément à la plateforme accessible grâce à un ordinateur. L'accès sera plus facile aux enfants et moins pénible aux parents ;
- Comment augmenter et varier les jeux, en ciblant un plus grand panel de fonctions exécutives

et en diversifiant les niveaux de difficulté et les thèmes pour intéresser encore plus les enfants et les motiver ;

- Comment augmenter la durée d'entraînement, pour arriver à six mois, si possible. Ainsi, les enfants auront le temps d'entraîner un plus grand nombre de fonctions exécutives ;
- Comment tester les jeux sur un plus grand échantillon et à l'échelle internationale pour recueillir des résultats plus précis et significatifs ;
- Comment utiliser dans les jeux des avatars dans lesquels les enfants pourraient se projeter, pour augmenter leur confiance en soi et leur permettre de dépasser leurs limites. Les avatars permettent aux enfants ayant une faible estime de soi de surpasser cette difficulté et de prendre leur force de celle de l'avatar (Huerre, 2013) ;
- Comment utiliser à travers le site web des techniques permettant de collecter une base de données concernant les utilisateurs des jeux pour pouvoir relever la fréquence d'utilisation.

Ajouter à la méthodologie de collecte des résultats, l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Ceci afin de montrer quelles régions au niveau du cerveau sont mobilisées lors des entraînements (Masson et Borst, 2017).

VII. Conclusion

Le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) accompagné d'un dysfonctionnement cognitif spécifique peut transformer la période d'apprentissage en un fardeau pour les enfants et par la suite pour leurs professeurs (Moret et Mazeau, 2013). Il a pris une importance croissante au cours des vingt-cinq dernières années, tant au niveau de la préoccupation centrale des parents et des éducateurs qu'au niveau de l'intérêt fourni par les praticiens de la santé mentale et par les chercheurs. Une première description médicale de la symptomatologie a été fournie par le psychiatre américain Benjamin Rush en 1812 (Rush, 1812) et depuis, des milliers de recherches ont été entreprises pour permettre la compréhension de ce trouble et des moyens de développement des compétences déficitaires. L'étude présentée dans cet article a sélectionné trois compétences parmi les fonctions exécutives déficitaires chez les enfants ayant un TDA/H et a proposé de les développer grâce à un entraînement assisté par ordinateur, par des jeux numériques présentés d'une manière quotidienne. Ceci, en s'appuyant sur une panoplie de modèles théoriques étudiant le trouble déficitaire de l'attention d'une part et le développement des fonctions exécutives d'autre part. La sélection de la compétence d'inhibition au niveau des tâches d'attention sélective et des tâches de type *go/no-go* en parallèle à la compétence de mémoire de travail s'est basée sur le fait que ces compétences sont nécessaires pour le bon déroulement de la majorité des apprentissages scolaires.

Cette recherche a porté sur un entraînement assisté par ordinateur à partir de jeux numériques. L'équipe souhaitait aligner l'intérêt des sujets pour les jeux vidéo en ligne et l'exploration en contexte paramédical d'un objet médiateur supposé les motiver suffisamment pour que les enfants puissent avoir une exposition fréquente aux jeux de manière à pouvoir observer un bénéfice thérapeutique relativement aux stimuli visés.

Les parents ont été formés aux méthodes d'auto-instruction, de soliloque et à la technique CO-OP pour accompagner au mieux leurs enfants.

S'il n'est pas simple de remédier à ces dysfonctionnements et aux lacunes conséquentes au niveau académique, nous faisons l'hypothèse que ce n'est cependant pas impossible.

Les jeux numériques que notre recherche a proposés présentent des stimuli rapides, multimodaux et ludiques permettant de travailler les fonctions ciblées. Nous avons fait l'hypothèse que ce travail pour se faire d'une manière efficace et amusante.

Notre protocole a permis de mettre en œuvre un entraînement assisté par ordinateur d'une manière quotidienne sur une période de huit semaines et nous avons pu en mesurer des effets auprès d'enfants puis les comparer avec les mesures réalisées avec d'autres enfants qui suivaient un protocole aux méthodes de rééducation usuelle.

Nos résultats ont permis de mesurer une évolution significativement meilleure de l'attention sélective

visuelle et une évolution significative avec une légère différence non significative au niveau de la tâche go/no-go.

Concernant la mémoire de travail visuo-spatiale l'entraînement assisté par ordinateur sur une période de huit semaines, nos résultats montrent la présence d'une évolution qui reste non significative alors que la rééducation habituelle montre l'absence d'une amélioration.

L'expérience effectuée a ciblé uniquement trois sous-domaines des compétences pouvant être déficitaires chez un enfant ayant ce trouble et elle a démontré que l'entraînement des fonctions atteintes en parallèle à la rééducation habituelle et au traitement pharmacologique si nécessaire peut accélérer l'évolution attendue.

Il serait donc intéressant de poursuivre nos recherches pour étayer l'hypothèse selon laquelle effectuer des entraînements fréquents seraient bénéfique pour ces enfants. Des études ultérieures concernant ces enfants ayant un TDA/H pourraient par exemple compter sur des entraînements avec une fréquence de cinq jours par semaine, en multipliant les jeux et les compétences ciblées.

Néanmoins, il nous semble important de procéder à des mesures sur de long termes car la rééducation des dysfonctionnements exécutifs que présente un enfant ayant un TDA/H est une procédure complexe qui s'étale sur une longue durée. Aussi il convient de s'inquiéter du soutien à l'enfant et à la famille dont la présence et l'accompagnement continu des parents est essentiel pour garantir de meilleurs résultats.

Références

Albaret, J. M. (2005). Le TDA/H comme trouble de l'inhibition comportementale et de l'auto-contrôle : le modèle de Barkley. F. Joly, *L'hyperactivité en débat*, 146-148. Toulouse : Eres. [En ligne] <http://www.psychomot.ups-tlse.fr/albaret2005.pdf>

Albaret, J. M. et Fournier, M. (2014). Étalonnage des blocs de Corsi sur une population d'enfants scolarisés du CP à la 6e. *Développements*, 85-91. [En ligne] <http://www.psychomot.ups-tlse.fr/Fournier2014.pdf>

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (éd. 5th). Arlington, VA : American Psychiatric Publishing. [En ligne] <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>

Barkley, R. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions : constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65-94. [En ligne] <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>

Bidwell, L. C., McClernon, F. J. et Kollins, S. H. (2011). Cognitive enhancers for the treatment of ADHD. *Pharmacology Biochemistry & Behavior*, 99, 262-274. [En ligne] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21596055>

Bourgeois, F. T., Kim, J. M. et Mandi, K. D. (2014). Premarket safety and efficacy studies for ADHD medications in children. *PLoS ONE*, 9(7), e102249. [En ligne] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102249>

Bull, R., Espy, K. A. et Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functions in preschoolers : Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental neuropsychology*, 33, 205-228. [En ligne] <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/87565640801982312>

Casey, B. J. et Caudle, K. (2013). The teenage brain : Self control. *Current direction in psychological science*, 22, 82-87. [En ligne] <https://dx.doi.org/10.1177%2F0963721413480170>

Chaptal, A. (2003). *L'efficacité des technologies éducatives dans l'enseignement, scolaire. Analyse critique des approches française et américaine*. Paris : L'Harmattan.

Chevalier, N., Guay, M.-C. et Achim, A. (2006). *Trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité - Soigner, éduquer, surtout valoriser*. Québec : Presse de l'Université du Québec.

- Collins, A. et Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning and creativity : frontal lobe function and human decision making. *Public Library of Science Biology*, 10(3), e1001293. [En ligne] <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Diamond, A. (2012). Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(5), 335-341. [En ligne] <https://doi.org/10.1177/0963721412453722>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168. [En ligne] <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. et Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, 34-48. [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- Franck, N. (2014). La remédiation cognitive, défense de la clinique en psychiatrie. *Santé mentale*, 99-112. [En ligne] <https://doi.org/10.3917/eres.sasso.2014.01.0099>
- Friedman, N. P. et Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions : a latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology*, 133, 101-135. [En ligne] <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Godefroy, O. (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. Évaluation en pratique clinique*. Marseille : Solal.
- Habib, M. (2014). *La constellation des dys. Bases neurologiques de l'apprentissage et de ses troubles*. Paris : De Boeck Solal.
- Houdé, O. et Borst, G. (2018). *Le cerveau et les apprentissages*. Paris : Nathan.
- Huerre, P. (2013). *Faut-il avoir peur des écrans ?* Paris : Doin.
- Lanoë, C., Lubin, A., Vidal, J., Houdé, O. et Borst, G. (2016). Inhibitory control is needed to overcome written verb inflection errors. Evidence from a developmental negative priming study. *Cognitive development*, 37, 18-27. [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2015.10.005>
- Manly, T., Robertson, I. H., Anderson, V. et Mimmo, S. I. (2004). *TEA-Ch Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant*. Paris : ECPA.
- Marquet-Doléac, J. et Soppelsa, R. (2009). Le trouble du déficit de l'attention/hyperactivité : aspects temporels du syndrome et place du psychomotricien. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 21, 397-401. [En ligne] <http://www.psychomot.ups-tlse.fr/marquet2009.pdf>
- Masson, S. et Borst, G. (2017). *Méthodes de recherche en neuroéducation*. 2017 : Presses de l'Université du Québec.
- Meichenbaum, D. et Goodman, J. (1971). Training impulsive children to talk to themselves : a means of developing self-control. *Journal of abnormal psychology*, 77, 115-126. [En ligne] <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/h0030773>
- Ministère français de l'éducation nationale de l'enseignement supérieur et de la recherche. (2017). *Jeux numériques*. [En ligne] <http://eduscol.education.fr/jeu-numerique/#/article/1539>
- Mondéjar, T., Hervas, R., Johnson, E., Gutierrez, C. et Latorre, J. M. (2016). Correlation between Videogame Mechanics and Executive Functions through EEG analysis. *Journal of Biomedical Informatics*, 63, 131-140. [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.08.006>
- Moret, A. et Mazeau, M. (2013). *Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent*. Paris : Elsevier Masson SAS.
- Plizka, S. R. (1998). Comorbidity of attention deficit / hyperactivity disorder with psychiatric disorder : an overview. *Journal of clinical psychiatry*, 59(7), 50-59. [En ligne] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9680053>

- Polatajko, H. J. et Mandich, A. (2004). *Enabling Occupation in Children : The Cognitive Orientation to Daily Occupational Performance (CO-OP) Approach*. Ontario : CAOT Publications ACE.
- Richa, S., Rohayem, J., Chammai, R., Kazour, F., Haddad, R., Hleis, S. et Gerbaka, B. (2014). ADHD prevalence in Lebanese school-age population. *Journal of Attention Disorders*, 18, 242-246. [En ligne] <https://doi.org/10.1177/1087054712445065>
- Roell, M., Viarouge, A., Houdé, O. et Borst, G. (2017). Inhibitory control and decimal number comparison in school-aged children. *Plos one*, 12(11), [En ligne] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188276>
- Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J. et Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant : approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de neuropsychologie neurosciences cognitives et cliniques*, 4(4), 287-297. [En ligne] <https://doi.org/10.3917/rne.044.0287>
- Rush, B. (1812). *Medical inquiries and observations upon the diseases of the mind*. Philadelphia : Kimber and Richardson.
- Sablier, J., Stip, E. et Franck, N. (2009). Remédiation cognitive et assistants cognitifs numériques dans la schizophrénie : état de l'art. *L'Encéphale*, 35, 160-167. [En ligne] <https://www.em-consulte.com/article/210738/alertePM>
- Samama, D., Voisin, C., Komano, O. et Jouvent, R. (2017). *Pour une remédiation à distance*. Dans N. Franck, *Remédiation cognitive*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson.
- Samier, R. et Jacques, S. (2019). *Neuropsychologie et stratégies d'apprentissage*. Paris : Tom Pousse.
- Sonuga-Barke, E. (2013). The dual pathway model of AD/HD : an elaboration of neuro-developmental characteristics. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27, 593-604. [En ligne] <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2003.08.005>
- Soppelsa, R., Albaret, J. M. et Corraze, J. (2009). Les comorbidités : théorie et prise de décision thérapeutique. *Les entretiens de psychomotricité*, 5-20. [En ligne] <http://www.psychomot.ups-tlse.fr/soppelsa2009.pdf>
- Sturm, W., Wilmess, K., Orgass, B. et Hartje, W. (1997). Do Specific attention deficits need specific training. *Neuropsychological Rehabilitation*, 7(2), 81-103. [En ligne] <https://doi.org/10.1080/713755526>
- The Adore study group. (2004). ADORE - Attention deficit hyperactivity disorder observational research in Europe. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 13(1), 36-42. [En ligne] <https://doi.org/10.1007/s00787-004-1004-8>
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge : MA : MIT Press.
- Yang, P., Chung, L. C., Chen, C. S. et Chen, C. C. (2004). Rapid improvement in academic grades following methylphenidate treatment in attention-deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 58, 37-41. [En ligne] <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2004.01190.x>
- Zelazo, P. D. et Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence : Development and Plasticity. *Child development perspectives*, 6(4), 354-360. [En ligne] <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x>

Annexes

Annexe 1. Moyenne des deux groupes en pré-test et post-test

Group Statistics					
	Ex Co	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Prtest 1	Experimental	5	5.800	1.4832	.6633
	Control	5	6.000	1.5811	.7071
Prtest 2	Experimental	5	15.120	2.8517	1.2753
	Control	5	15.000	2.2880	1.0232
Prtest 3	Experimental	5	2.800	.4472	.2000
	Control	5	2.600	.5477	.2449
Potest 1	Experimental	5	10.400	1.5166	.6782
	Control	5	6.000	1.5811	.7071
Potest 2	Experimental	5	11.660	3.8895	1.7394
	Control	5	14.300	2.2327	.9985
Potest 3	Experimental	5	3.200	.4472	.2000
	Control	5	2.600	.5477	.2449

Annexe 2. Independent Samples T Test

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
Prtest 1	Equal variances assumed	.083	.781	-.206	8	.842	-.2000	.9695	-2.4358	2.0358	
	Equal variances not assumed			-.206	7.968	.842	-.2000	.9695	-2.4373	2.0373	
Prtest 2	Equal variances assumed	.095	.765	.073	8	.943	.1200	1.6351	-3.6504	3.8904	
	Equal variances not assumed			.073	7.641	.943	.1200	1.6351	-3.6815	3.9215	
Prtest 3	Equal variances assumed	1.524	.252	.632	8	.545	.2000	.3162	-.5292	.9292	
	Equal variances not assumed			.632	7.692	.545	.2000	.3162	-.5343	.9343	
Potes t 1	Equal variances assumed	.022	.885	4.491	8	.002	4.4000	.9798	2.1406	6.6594	
	Equal variances not assumed			4.491	7.986	.002	4.4000	.9798	2.1399	6.6601	
Potes t 2	Equal variances assumed	1.034	.339	1.316	8	.225	-2.6400	2.0056	-7.2650	1.9850	
	Equal variances not assumed			1.316	6.378	.233	-2.6400	2.0056	-7.4780	2.1980	
Potes t 3	Equal variances assumed	1.524	.252	1.897	8	.094	.6000	.3162	-.1292	1.3292	
	Equal variances not assumed			1.897	7.692	.096	.6000	.3162	-.1343	1.3343	

Annexe 3. Paired Samples Test

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Prtest 1	5.900	10	1.4491	.4583
	Potest 1	8.200	10	2.7406	.8667
Pair 2	Prtest 2	15.060	10	2.4382	.7710
	Potest 2	12.980	10	3.2977	1.0428
Pair 3	Prtest 3	2.700	10	.4830	.1528
	Potest 3	2.900	10	.5676	.1795

Paired Samples Test										
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
Pair 1	Prtest 1 - Potest 1	-2.3000	2.7909	.8825	-4.2965	-.3035	-2.606	9	.028	
Pair 2	Prtest 2 - Potest 2	2.0800	1.6226	.5131	.9192	3.2408	4.054	9	.003	
Pair 3	Prtest 3 - Potest 3	-2.0000	.4216	.1333	-.5016	.1016	-1.500	9	.168	

Paired Samples Statistics						
Ex Co			Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Experimental	Pair 1	Prtest 1	5.800	5	1.4832	.6633
		Potest 1	10.400	5	1.5166	.6782
	Pair 2	Prtest 2	15.120	5	2.8517	1.2753
		Potest 2	11.660	5	3.8895	1.7394
	Pair 3	Prtest 3	2.800	5	.4472	.2000
		Potest 3	3.200	5	.4472	.2000
Control	Pair 1	Prtest 1	6.000 ^a	5	1.5811	.7071
		Potest 1	6.000 ^a	5	1.5811	.7071
	Pair 2	Prtest 2	15.000	5	2.2880	1.0232
		Potest 2	14.300	5	2.2327	.9985
	Pair 3	Prtest 3	2.600 ^a	5	.5477	.2449
		Potest 3	2.600 ^a	5	.5477	.2449

a. The correlation and t cannot be computed because the standard error of the difference is 0.

