

Université de Montréal

**La relation entre la stratégie de navigation spontanée et la
prise de décision et les fonctions exécutives**

par Étienne Aumont

Département de psychologie
Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du grade de maîtrise
en psychologie

Juillet 2018

© Étienne Aumont, 2018

Résumé

Deux stratégies peuvent être utilisées afin de naviguer dans un environnement. La stratégie réponse consiste en la mémorisation de directions menant à la destination. La stratégie spatiale consiste en la création d'une carte mentale de l'environnement. L'utilisation spontanée d'une stratégie spatiale prédit un hippocampe plus volumineux et plus actif, alors que l'utilisation d'une stratégie réponse prédit un noyau caudé plus volumineux et plus actif. Le noyau caudé jouant un rôle crucial dans le fonctionnement cognitif, le but du présent mémoire est de mieux comprendre la relation entre celui-ci et la stratégie de navigation spontanée, où un meilleur fonctionnement cognitif et une plus grande prise de risque étaient attendus des apprenants réponse.

Afin d'y arriver, nous avons comparé 53 jeunes adultes, séparés en deux groupes selon la stratégie de navigation utilisée dans le labyrinthe virtuel 4 sur 8, sur des mesures de flexibilité cognitive, d'empan de chiffres et de prise de risque.

Un meilleur fonctionnement exécutif a été associé aux apprenants réponse, qui ont obtenu un moins grand nombre d'erreurs persévératives et un coût de changement de tâche plus faible à des tâches de flexibilité cognitive et un empan de chiffres plus long. Une prise de risque accrue chez ce groupe a également été mesurée.

En plus d'appuyer la théorie précédente sur le rôle du noyau caudé dans les fonctions exécutives, cette étude permet une meilleure compréhension des implications cognitives des stratégies de navigation. Cela légitimise le développement d'interventions favorisant une stratégie de navigation dans le but de renforcer certaines fonctions cognitives.

Mots-clés : Fonctions exécutives, Navigation, Noyau caudé, Flexibilité cognitive, Prise de décision, Prise de risque

Abstract

When people navigate, they use one of two strategies. The hippocampus-based spatial strategy consists of using multiple landmarks in order to create a mental map of the environment. In contrast, caudate nucleus-based response strategy is based on the memorization of a rigid series of turns. Importantly, response learners display more grey matter and functional activity in the caudate and less grey matter in the hippocampus. The caudate is a structure central to the reward circuit, while the hippocampus supports spatial and episodic memory. The goal of the present thesis was to better understand the implications of spontaneous navigational strategies over cognitive functioning.

To this end, we recruited 53 young adults, separated in two groups based on the strategy used in the 4 on 8 virtual maze. We compared both groups over decision-making (Iowa Gambling Task (IGT) and Columbia Card Task (CCT)), task-switching, working memory (digit span test) and cognitive flexibility (Wisconsin Card Sorting Test-64 (WCST-64)) task performances.

This thesis shows that response learners display enhanced executive functioning in the WCST-64, task-switching test and digit span test through reduced perseveration errors, reduces switch cost and increased digit span length respectively. Increased risk-taking behaviour was observed in the IGT.

These results support the theory that caudate nucleus mediates much of the executive functioning through mesocortical dopamine pathways. They also allow us to better understand the impact of spontaneous navigational strategies on the cognitive health of young adults, allowing for the development of interventions aiming at strengthening certain cognitive functions.

Keywords : Caudate nucleus, Executive functioning, Navigation, Cognitive flexibility, Decision-making, Risk-taking

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures	v
Liste des sigles	vi
Remerciements.....	vii
1. Introduction.....	1
2. Recension des écrits.....	2
2.1 État des connaissances actuelles sur les stratégies de navigation.....	2
2.2 Présentation des variables dépendantes utilisées	4
2.2.1 Les fonctions exécutives en bref.....	4
2.2.2 Flexibilité cognitive	5
2.2.3 Mise à jour	10
2.2.4 Prise de décision	12
2.2.5 Hypothèses de recherche.....	16
3. Méthodologie	17
3.1 Participants.....	17
3.2 Tâches utilisées	17
3.2.1 Labyrinthe virtuel 4 sur 8.....	17
3.2.2 Wisconsin Card Sorting Test	20
3.2.3 Alternance de tâches	21
3.2.4 Empan de chiffres	23
3.2.5 Iowa Gambling Task.....	23
3.2.6 Columbia Card Task	24
3.2.7 Questionnaires.....	25
3.2.8 Protocole	25

4. Résultats	26
4.1 Tâche de navigation	26
4.2 Wisconsin Card Sorting Test	26
4.3 Alternance de tâches	28
4.4 Empan de chiffres	29
4.5 Iowa Gambling Task.....	29
4.6 Columbia Card Task	30
4.7 Questionnaires.....	30
4.7.1 Questionnaire de dépression de Beck	30
4.7.2 Inventaire d’anxiété de Beck	31
4.7.3 Internet Addiction test.....	31
4.7.4 Smartphone addiction scale	31
5. Discussion.....	32
5.1 Wisconsin Card Sorting Test	32
5.2 Alternance de tâches	33
5.3 Mémoire de travail.....	34
5.4 Prise de décision	34
5.5 Conclusions.....	36
Bibliographie.....	39
ANNEXE	i
1. Entrevue semi-standardisée du 4 sur 8.....	i
2. Inventaire de Beck pour l’anxiété	ii
3. Inventaire de dépression de Beck	iii
4. Internet addiction test.....	vi
5. Smartphone addiction scale	vii

Liste des figures

Figure 1.	Les différentes parties du labyrinthe virtuel 4 sur 8	19
Figure 2.	Wisconsin Card Sorting Test	21
Figure 3.	Stimuli utilisés pour le test d'alternance de tâche.....	22
Figure 4.	Rentabilité des différents paquets de cartes de l'Iowa Gambling Task	24
Figure 5.	Résultats du WCST-64.	27
Figure 6.	Résultat du test d'alternance de tâche.	28
Figure 7.	Résultats de l'Iowa Gambling Task.....	30

Liste des sigles

IGT : Iowa Gambling Task

WCST : Wisconsin Card Sorting Test

CCA : Cortex Cingulaire Antérieur

QDB : Questionnaire de Dépression de Beck

IAB : Inventaire d'Anxiété de Beck

IAT : Internet Addiction Test

SAS : Smartphone Addiction Scale

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, Gregory West pour m'avoir offert toutes ces occasions de participer à ses projets de recherche et pour son appui et sa confiance durant toute la durée de ma présence dans son laboratoire.

Je voudrais également remercier ma collègue, Caroll-Ann, pour avoir partagé nos hauts et nos bas durant la dernière année.

Je remercie aussi mes parents pour leur confiance indéfectible en mes capacités et mon potentiel depuis le tout début.

Finalement, merci à Anne-Philippe et Samuel pour leur amitié précieuse et leur appui émotionnel durant nos années de collocation.

1. Introduction

Deux systèmes mnésiques distincts sont impliqués dans la navigation. Le système de navigation spatiale, qui implique la formation d'une carte cognitive, permet la mise en relation de différents points de repères, ce qui permet de visualiser sa position dans l'espace en relation avec une destination et des points de repères (O'Keefe et Nadel, 1978). Cela implique plus particulièrement le système de mémoire déclarative, nécessitant un effort conscient pour être utilisé, et repose sur l'hippocampe (O'Keefe et Nadel, 1978). À l'inverse, le striatum dorsal, et plus particulièrement le noyau caudé est à la base de l'apprentissage réponse en permettant la mémorisation de séquences rigides de mouvements ou de directions, mais également des habitudes (Knowlton, Mangels et Squire, 1996; Packard et Knowlton, 2002; Yin et Knowlton, 2006). Ce type d'apprentissage est basé sur la mémoire procédurale., qui ne nécessite pas de volonté propre afin d'être mobilisée. . Ces deux systèmes sont en interaction dans de nombreux domaines, étant parfois en coopération (Müller et al., 2018; Daphna Shohamy et Wagner, 2008; Voermans et al., 2004), parfois, comme il en est le cas pour la navigation, en compétition pour l'influence du comportement (Bohbot, Iaria et Petrides, 2004; Doeller, King et Burgess, 2008; Lee, Duman et Pittenger, 2008; Packard, 1999). Ainsi, les individus n'utilisent qu'un seul des deux systèmes lorsqu'ils se déplacent. Cela signifie également qu'un individu aurait tendance à utiliser l'une ou l'autre des stratégies de manière prédominante dans la vie de tous les jours. C'est en utilisant une tâche de labyrinthe virtuel qu'on peut évaluer cette stratégie prédominante, la stratégie spontanément utilisée dans la tâche (Bohbot, Lerch, Thorndycraft, Iaria et Zijdenbos, 2007; Bohbot et al., 2007; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2015, 2018). Lorsque la stratégie spatiale est utilisée pour naviguer, l'hippocampe est recruté, augmentant non seulement l'activité fonctionnelle de cette structure, mais aussi la quantité de matière grise (Bohbot et al., 2007; Iaria, Petrides, Dagher, Pike et Bohbot, 2003; Konishi et al., 2011; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Similairement, l'utilisation d'une stratégie réponse recrute le noyau caudé, ce qui tend à en augmenter l'activité fonctionnelle et le volume de matière grise (Bohbot et al., 2007; Iaria et al., 2003; Konishi et al., 2011; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). L'utilisation d'une stratégie ou de l'autre aurait d'ailleurs un effet causal sur leurs structures respectives, comme il a été

démontré par Lerch et ses collègues (2011) en forçant des souris à naviguer soit selon des points de repère – une stratégie spatiale – soit selon un seul repère marquant directement l'emplacement de la récompense – une stratégie réponse. Le noyau caudé s'est ainsi vu augmenter en volume chez le groupe d'entraînement réponse, alors que le volume de l'hippocampe a été positivement affecté dans le groupe spatial. De plus, des résultats préliminaires d'un programme d'entraînement à la mémoire spatiale décrit par Andersen (2011) semblent également appuyer l'hypothèse d'un lien causal chez l'humain, ayant augmenté le volume de l'hippocampe de personnes âgées en les entraînant pendant dix heures à mémoriser les objets de scènes présentées en réalité virtuelle lorsque comparé à dix heures de visionnement de documentaires (Konishi et al., 2011). La stratégie de navigation est donc maintenant un prédicteur bien établi de l'activité fonctionnelle et du volume de matière grise du système hippocampique et du noyau caudé, que ce soit chez l'animal ou chez l'humain (Bohbot et al., 2004, 2007; Iaria et al., 2003; Konishi et al., 2016; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2015, 2018). Également, les deux systèmes de navigation sont impliqués dans différents circuits neuronaux (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Konishi et Bohbot, 2013; D. Shohamy et Turk-Browne, 2013). Ces circuits neuronaux sous-tendant différents processus cognitifs, cela permet de prédire que la performance à des fonctions sous-tendues par des circuits impliquant un des deux systèmes de navigation serait différente entre les deux groupes de stratégie de navigation spontanée. Le but du présent mémoire est de se pencher sur le lien existant entre la stratégie de navigation spontanée et les fonctions cognitives de haut niveau telles que la prise de décision et les fonctions exécutives

2. Recension des écrits

2.1 État des connaissances actuelles sur les stratégies de navigation

En plus de différer sur la taille de l'hippocampe et du noyau caudé, plusieurs différences neurologiques, cognitives et comportementales entre les apprenants de chaque stratégie ont été mises en lumière lors d'études précédentes. Dahmani et Bohbot (2015) ont mené une étude d'imagerie fonctionnelle suggérant que les apprenants spatiaux aient un cortex orbitofrontal plus actif que les apprenants réponse, qui, en contraste, ont une activité plus élevée dans le cortex préfrontal dorsomédian. Ces deux régions seraient liées à l'apprentissage, chacune sous-tendant un mode d'apprentissage différent. Le cortex orbitofrontal serait lié à un apprentissage stimulus-récompense permettant de relier les éléments extérieurs aux récompenses (Ostlund et Balleine, 2007; Padoa-Schioppa et Assad, 2006). Le cortex préfrontal dorsomédian, quant à lui, pourrait jouer un rôle dans l'apprentissage action-récompense, soit un apprentissage par une séquence de mouvement, la région étant fortement connectée aux régions motrices (Lu, Preston et Strick, 1994). Dahmani et Bohbot (2015) ont également mesuré une différence significative entre apprenants au niveau de l'activité du cortex cingulaire antérieur (CCA) ventral, plus grande chez les apprenants spatiaux, et du CCA dorsal, plus grande chez les apprenants réponse. Bien que le CCA soit reconnu pour être lié à l'association action-récompense (Oliveira, McDonald et Goodman, 2007), sa région dorsale en serait la principale responsable (Camille, Tsuchida et Fellows, 2011).

Au niveau cognitif, d'autres études suggèrent un lien entre l'attention visuelle et la stratégie de navigation, où les apprenants spatiaux auraient un avantage. Cela est suggéré par un plus grand déploiement attentionnel mesuré en EEG par Drisdelle et ses collègues (2017) et de meilleurs temps de réaction oculomoteurs mesurés par Aumont, Bohbot et West (2019). L'hippocampe est proposé comme responsable de ces différences oculomotrices et électroencéphalographiques (Drisdelle et al., 2017), mais un effet d'entraînement serait également possible, les apprenants spatiaux effectuant plus de saccades – des mouvements oculaires – pour explorer un environnement nouveau. Il est suggéré que cela soit pour

cartographier les différents points de repères utiles pour la navigation spatiale (Andersen, Dahmani, Konishi et Bohbot, 2012). Ensuite, les apprenants spatiaux auraient tendance à avoir consommé une moins grande quantité de substances psychotropes addictives (tabac, alcool et cannabis) au cours de leur vie (Bohbot, Del Balso, Conrad, Konishi et Leyton, 2013). Cela est cohérent avec le rôle du noyau caudé dans le circuit de récompense, qui est lié à la motivation à aller chercher la substance addictive et au maintien des comportements de consommation (Everitt et Robbins, 2005; Volkow, Fowler, Wang, Swanson et Telang, 2007). Finalement, un lien important existe entre les systèmes de mémoire spatiale et de mémoire épisodique, soit la capacité à se rappeler d'événements intégrant plusieurs modalités sensorielles. L'hippocampe est une composante particulièrement importante du système de mémoire épisodique et de la mémoire spatiale (Kühn et Gallinat, 2014). La capacité de construction mentale de la structure pourrait expliquer son rôle dans les deux fonctions, permettant à la fois la construction de cartes cognitives et la reconstruction de souvenirs multi sensoriels (Eichenbaum et Cohen, 2014). Ainsi, deux équipes de recherches indépendantes ont pu mesurer un lien entre ces systèmes de mémoire, où une meilleure mémoire spatiale est reliée à une meilleure performance en tâche de mémoire épisodique (Bohbot, Gupta, Banner et Dahmani, 2011; Burgess, Maguire et O'Keefe, 2002).

En conséquence, chez les aînés ne démontrant pas de signe de démence, les utilisateurs de la stratégie spatiale auraient une meilleure santé cognitive telle que mesurée par le Montreal Cognitive Assessment, un court test servant au dépistage de démences (Konishi, Mckenzie, Etchamendy, Roy et Bohbot, 2017). De plus, l'allèle $\epsilon 2$ de l'Apolipoprotéine, un facteur protecteur contre la maladie d'Alzheimer et affectant positivement la taille de l'hippocampe (Poirier et al., 1993; Tohgi et al., 1997), est associé à une plus grande fréquence de l'utilisation de stratégie spatiale (Konishi et al., 2016). Une taille accrue de l'hippocampe étant associée à un risque inférieur de développer la maladie d'Alzheimer (Albert et al., 2011; Apostolova et al., 2006), les études sus-citées suggèrent que l'utilisation de la stratégie spatiale soit bénéfique chez les personnes âgées afin de réduire le risque de développer la pathologie. Ce lien en particulier fut à l'origine de la motivation à développer un programme d'intervention pour la mémoire spatiale chez les aînés décrite par Andersen (2011) dans sa thèse de maîtrise. Ce programme incite à mémoriser différents points de repères en explorant des

environnements virtuels, favorisant l'utilisation de la stratégie spatiale. Toutefois, les connaissances actuelles de l'utilisation des stratégies spatiales et réponse sur la performance cognitive sont encore insuffisantes, et plus d'informations sont à obtenir avant de recommander une telle intervention. L'importance de mieux connaître l'effet des stratégies de navigation est d'autant plus grande considérant que la pratique fréquente de jeux-vidéo d'action est liée à une augmentation de la fréquence d'utilisation de la stratégie réponse, et donc à un hippocampe ayant un volume plus faible (West et al., 2015, 2018). Faudrait-il modifier les jeux-vidéo d'action afin de favoriser l'utilisation de stratégies spatiales? Une telle méthode aurait pour effet de favoriser la stratégie spatiale en amont, afin de prévenir les inconvénients cognitifs de la stratégie réponse liés au vieillissement.

2.2 Présentation des variables dépendantes utilisées

2.2.1 Les fonctions exécutives en bref

Afin de mieux comprendre la relation entre les stratégies de navigation sur la santé cognitive de jeunes adultes, il faut d'abord définir l'objet d'étude. Comme marqueurs de santé cognitive, nous considérerons les fonctions exécutives, qui sont de bons facteurs prédictifs du fonctionnement cognitif et social, de la santé mentale et physique, du succès professionnel et de la santé générale (Bailey, 2007; Baler et Volkow, 2006; Crescioni et al., 2011; Denson, Capper, Oaten, Friese et Schofield, 2011; Riggs, Spruijt-Metz, Sakuma, Chou et Pentz, 2010). Elles ont pour principale caractéristique de servir au contrôle cognitif; ce sont des fonctions qui permettent de réguler des processus cognitifs de bas niveau, par exemple la direction de l'attention vers un stimulus. Toutes les fonctions exécutives dépendent, à des degrés variés, des régions préfrontales, mais aussi de régions connexes telles que le cortex pariétal et le striatum. Généralement, trois fonctions exécutives sont reconnues : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mise à jour. La flexibilité cognitive est définie comme la capacité à changer l'interprétation de situations à l'arrivée de nouvelles informations. La mise à jour est souvent assimilée à la mémoire de travail; elle est responsable de la manipulation d'informations qui ne sont plus présentes dans l'environnement perceptuel, donc conservées en mémoire à court-terme. L'inhibition, quant à elle, est définie comme la capacité à supprimer une réponse automatique tout en exprimant une réponse alternative (Alvarez et Emory, 2006; Baddeley et

Hitch, 1994; Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Cette dernière ne sera pas mesurée dans la présente étude, des apprenants spatiaux et réponses ayant déjà été comparés par Aumont et ses collègues (2019) par une tâche d'anti-saccade; où les participants devaient regarder dans la direction opposée à un stimulus apparaissant soudainement à l'écran. Aucune différence n'avait alors été trouvée entre les deux groupes. Toutefois, une étude conduite parallèlement à celle-ci utilisant une tâche de type « flanker » a pu mesurer un meilleur contrôle cognitif des apprenants réponse, ce qui a été expliqué par un apprentissage et une automatisation de la tâche plus efficace (Aumont, Arguin, Bohbot et West, en révision).

Parfois incluse parmi les fonctions exécutives, la prise de décision est un ensemble de fonctions de haut niveau servant à l'évaluation des comportements ou des stimuli qui s'offrent à l'individu (Rangel, Camerer et Montague, 2008). Comme elle aurait un impact important sur le fonctionnement cognitif, étant, par exemple, un bon indicateur de la santé mentale (Mukherjee et Kable, 2014), et qu'elle n'est pas corrélée avec les autres fonctions exécutives (Lehto et Elorinne, 2003), elle est d'un intérêt pour l'évaluation de la santé cognitive générale des jeunes adultes.

2.2.2 Flexibilité cognitive

La flexibilité cognitive peut être approchée de deux manières. La première approche consiste à mesurer la capacité à réviser un apprentissage précédent pour s'adapter à un changement des demandes de l'environnement. La seconde approche, moins commune, consiste à mesurer le temps de réaction à des stimuli bivalents, c'est-à-dire que deux règles peuvent être appliquées pour choisir la réponse, mais qu'une seule des deux règles est adéquate, et celle-ci est déterminée par le contexte, par exemple par les règles d'un bloc ou par un indice visuel avant la présentation du stimulus. Cette approche permettant de quantifier la capacité à passer rapidement d'une tâche à l'autre est donc souvent associée au *multitasking* (Stoet, O'Connor, Conner et Laws, 2013).

La première approche, que nous appellerons simplement « flexibilité cognitive », est mesurée par des tâches d'apprentissage où plusieurs interprétations des stimuli sont possibles. Par exemple, dans la tâche la plus utilisée, le Wisconsin Card Sorting Test (WCST), des cartes peuvent être classés selon la forme, le nombre ou la couleur de figures s'y trouvant, et la règle

de classement change à travers la tâche (Greve, 2001). Ce type de tâche est particulièrement utilisé en neuropsychologie clinique afin de mesurer les atteintes cognitives suivant des lésions préfrontales, la région la plus fréquemment associée à la flexibilité cognitive (Anderson, Damasio, Jones et Tranel, 1991; Eslinger et Damasio, 1985; Robinson, Heaton, Lehman et Stilson, 1980). Appuyant le rôle du cortex préfrontal, et plus particulièrement de sa région dorsolatérale, le flot sanguin l'atteignant lors de l'exécution de la tâche permet d'expliquer les déficits chez les individus atteints de schizophrénie ou de dépression (Everett, Lavoie, Gagnon et Gosselin, 2001; Moritz et al., 2002; Weinberger, Berman et Zec, 1986). La flexibilité cognitive ne serait toutefois pas seulement tributaire de ces régions. Par exemple, un déficit de la fonction a été reconnu à de nombreuses reprises chez les patients parkinsoniens, chez qui les légères atteintes fonctionnelles préfrontales ne peuvent pas à elles seules expliquer les déficits (Bowen, Kamienny, Burns et Yahr, 1975; Gotham, Brown et Marsden, 1988; Lees et Smith, 1983). En effet, les atteintes les plus proéminentes chez les parkinsoniens sont celles affectant la substance noire et le striatum dorsal, tous deux importants pour la motricité et faisant partie du système dopaminergique (Kish, Shannak et Hornykiewicz, 1988; Porritt et al., 2005).

Dans le but de comprendre les rôles respectifs joués par les régions préfrontales et par le striatum dans la flexibilité cognitive, Rogers et ses collègues (2000) proposent un modèle à deux processus. Le premier processus serait le déplacement attentionnel depuis les stimuli ou les règles précédemment pertinentes vers celles qui sont nouvellement pertinentes. C'est donc une attention plus grande portée aux potentielles solutions ou règles auxquelles on doit se conformer. Ce processus dépendrait largement des régions préfrontales. Le second processus implique l'apprentissage d'une association différente de la précédente, le renversement d'un apprentissage; l'apprentissage d'une règle qui est en conflit avec la règle apprise précédemment. Ce renversement serait quant à lui tributaire du circuit mésocortical – un ensemble de voies dopaminergiques reliant le striatum au cortex préfrontal – dans lequel le noyau caudé jouerait un rôle important. Plusieurs études ont permis de mieux préciser cette théorie. Par exemple, Monchi et ses collègues (2001) ont fait passer une version adaptée du WCST lors d'une séance d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Suivant la survenue d'une erreur de classification, une augmentation de l'activité du noyau caudé a été observée, ce qui serait, d'après les auteurs, lié à la révision de l'apprentissage. Parallèlement,

l'activité du putamen, qui avec le noyau caudé forment le striatum dorsal, est augmentée lors d'une tentative suivant une erreur, ce qui serait attribuable à l'application d'une règle. Selon une étude subséquente, le noyau caudé et le putamen seraient tous deux associés à l'exécution d'une action nouvelle et à la planification de l'action (Monchi, Petrides, Strafella, Worsley et Doyon, 2006). Ce rôle de planification est appuyé par l'activité spécifique du noyau caudé lors des changements de règles dans une tâche où la règle est explicitement présentée avant chaque essai (Provost, Petrides, Simard et Monchi, 2012). Finalement, un lien entre la mise à jour de l'apprentissage et le noyau caudé est renforcé par deux études où les instructions dans une tâche de temps de réaction s'inversaient à chaque changement de bloc. L'activation du noyau caudé était alors accrue spécifiquement dans les premiers essais de chacun des blocs. Les auteurs suggèrent que le noyau caudé permette le nouvel apprentissage, ce qui « efface » l'apprentissage précédent, causant la nécessité de réactiver la région lors du retour aux règles précédentes (Ruge et Wolfensteller, 2016; Shi, Wolfensteller, Schubert et Ruge, 2018). Ainsi, le noyau caudé jouerait un rôle prépondérant dans l'apprentissage de règles, que ces règles soient explicites ou implicites, et dans la planification de leur application.

Plusieurs études permettent ensuite de mieux comprendre l'impact d'un fonctionnement réduit du noyau caudé sur la capacité de flexibilité cognitive. D'abord, les individus vivant un trouble obsessionnel compulsif, ayant également un déficit de flexibilité cognitive, ont une connectivité fonctionnelle réduite entre le striatum dorsal et le cortex préfrontal dorsolatéral (Vaghi et al., 2017). Parallèlement, il a été suggéré dans plusieurs études que les déficits de flexibilité cognitive chez les patients parkinsoniens seraient liés à des atteintes du striatum dorsal (MacDonald et al., 2014; Monchi et al., 2004), et plus spécifiquement à une diminution de la connectivité mésocorticale (Monchi, Petrides, Mejia-Constain et Strafella, 2007). Une étude subséquente a également suggéré, grâce à une médication causant une déplétion dopaminergique, que la diminution de la transmission dopaminergique de la voie mésocorticale a un effet néfaste sur la flexibilité cognitive (Nagano-Saito et al., 2008). Ainsi, le rôle du noyau caudé dans la flexibilité cognitive est bien soutenu par la littérature, et un déficit peut refléter une diminution du fonctionnement de la structure. Ce rôle serait plus prééminent suivant le changement de règle, en permettant de renverser l'apprentissage (Monchi et al., 2001, 2006; Provost et al., 2012; Rogers et al., 2000;

Ruge et Wolfensteller, 2016; Shi et al., 2018). Un fonctionnement et un volume de matière grise plus important du noyau caudé chez les apprenants réponse ayant été mesuré de manière consistante dans la littérature suggère que ceux-ci auront une plus grande capacité de flexibilité cognitive lorsqu'un changement de règle (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Également, cela suggère qu'ils ne différeront pas en performance lors du premier apprentissage, donc avant tout changement de règle.

La seconde approche, que nous nommerons « alternance de tâches », peut se définir par la rapidité à passer d'une tâche à l'autre. Cela se mesure en présentant des stimuli pouvant être interprétés de deux manières – des stimuli bivalents – en fonction de la règle qui est en vigueur. Par exemple, on peut présenter une figure d'une certaine couleur. Si elle apparaît à droite, il faut répondre en fonction de sa forme, alors que si elle apparaît à gauche, il faut répondre en fonction de sa couleur. Le paradigme expérimental le plus commun est de type « alternate run », où dans les deux premiers blocs, une seule règle par bloc est utilisée. Dans un bloc subséquent, les deux règles sont présentées en alternance deux fois à la suite, suivant donc une séquence AABBAABBAA... (Monsell, 2003). Lorsque les deux règles sont présentées dans un même bloc – un bloc mixte –, on voit un ralentissement général des temps de réaction. Ce ralentissement est nommé « mixing cost » ou coût de mixité (Los, 1996). À l'intérieur de ces blocs mixtes, les essais utilisant une règle différente de l'essai précédent ont des temps de réaction plus longs que les essais répétant la règle précédente. La différence des temps de réaction moyens des deux types d'essais est ce qu'on appelle le « switch cost » ou le coût de changement de règle (Wylie et Allport, 2000). Ainsi, la tâche requiert de sélectionner la bonne règle, ou, autrement dit, le bon apprentissage.

De manière générale, les régions préfrontales prémotrices sont associées à l'exécution de la tâche d'alternance (Rushworth, Hadland, Paus et Sipila, 2002; Wager, Jonides et Reading, 2004), mais les régions latérales préfrontales sont plus particulièrement impliquées dans la récupération de règles (Brass et von Cramon, 2002; Bunge, Kahn, Wallis, Miller et Wagner, 2003; Crone, Wendelken, Donohue et Bunge, 2006). Également, le striatum dorsal pourrait avoir un rôle plus important à jouer dans la performance à la tâche. En effet, les résultats obtenus par Schouwenburg et ses collègues (2010) suggèrent que le contrôle

descendant des actions dans le but de se préparer à une tâche serait modulée par le striatum dorsal. Plus particulièrement, il pourrait être lié à l'apprentissage de la tâche en étant plus actif lors de présentation de stimuli ou de tâches non familières (Zink, Pagnoni, Martin, Dhamala et Berns, 2003). Par exemple, lorsqu'on demande aux participants de changer de main pour répondre, une activité du noyau caudé est mesurée (Shi et al., 2018; Stelzel, Basten et Fiebach, 2011). De plus, une diminution de l'activité du striatum dorsal a été mesurée suivant un entraînement à une tâche d'alternance (Jimura, Cazalis, Stover et Poldrack, 2014), alors que l'inverse est mesuré lors de tâches d'alternance langagière lorsque le changement est en direction d'une langue moins bien maîtrisée (Hosoda, Hanakawa, Nariai, Ohno et Honda, 2012). Également, en cohérence avec la théorie de Rogers et ses collègues (2000) décrite précédemment, le noyau caudé a été associé à la sélection de la règle, étant plus actif lorsque des stimuli bivalents sont présentés à l'intérieur de blocs n'utilisant qu'une seule règle que lorsque des stimuli univalents sont présentés (Crone et al., 2006). Un déficit des fonctions du striatum aurait également un impact négatif sur le coût de changement de règle en ayant un rôle de modulation sur le cortex préfrontal. C'est ce que les données de Cools et ses collègues (2006) suggèrent en démontrant que l'augmentation du niveau de dopamine chez les parkinsoniens par la médication améliore le fonctionnement du striatum dorsal. Cela expliquerait la diminution du coût de changement de règle observée chez les parkinsoniens sous médication (Aarts et al., 2014; Cools, Barker, Sahakian et Robbins, 2001, 2003; Hayes, Davidson, Keele et Rafal, 1998). Finalement, la connectivité du striatum dorsal vers le cortex préfrontal a été corrélée négativement au coût de changement de règle chez les patients parkinsoniens (Gul, Yousaf et Ahmad, 2017). Ces études suggèrent donc que le striatum dorsal joue un rôle dans le coût de changement de règle dans une tâche d'alternance par sa connexion dopaminergique vers le cortex préfrontal, et qu'un fonctionnement plus grand de la structure permettrait de rendre ce changement de règle plus efficace. Il est donc attendu que le coût de changement de règle lors d'une tâche d'alternance soit inférieur chez les apprenants réponse en lien avec le fonctionnement et le volume de matière grise accru de leur striatum dorsal tel que décrit dans la littérature (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018).

2.2.3 Mise à jour

La mémoire de travail consiste en la conservation et en la manipulation d'informations conservées temporairement en mémoire. Elle est ainsi composée de systèmes de stockage et de mise à jour, modifiant l'information en mémoire. Elle peut être évaluée en présentant des éléments spatiaux – utilisant une certaine disposition – ou non-spatiaux, qui peuvent être verbaux ou non-verbaux – telle une figure abstraite – et présentée de manière auditive ou visuelle (Baddeley et Hitch, 1994; Levy, Friedman, Davachi et Goldman-Rakic, 1997). Ces processus étant issus de l'interaction de nombreux systèmes, leurs bases neuronales sont sujettes à débats.

Bien que son rôle dans la mémoire épisodique et dans la mémoire spatiale soit bien établi, le rôle de l'hippocampe dans la mise à jour reste controversé (Kühn et Gallinat, 2014; Kumar et al., 2016). Des neurones répondant spécifiquement au maintien d'informations en mémoire ont été détectés dans l'hippocampe (Kamiński et al., 2017). Plus encore, une activité hippocampique a été mesurée lors du maintien de l'information (Gazzaley, Rissman et D'Esposito, 2004; Robbins, 1996). Deux camps peuvent être reconnus pour ce qui est du rôle de l'hippocampe dans la mémoire de travail. D'un côté, des chercheurs proposent que l'hippocampe soit essentiel à la mémoire de travail. Ce camp s'appuie sur des recherches ayant mesuré une activité neuronale hippocampique spécifique au maintien d'informations actives en mémoire (Gazzaley et al., 2004; Kamiński et al., 2017; Robbins, 1996). Kumar et ses collègues (2016) ont une position plus radicale, où l'hippocampe jouerait un rôle dans l'encodage, le maintien et la récupération en mémoire de travail. Le second camp propose un rôle restreint de l'hippocampe. Ainsi, bien que des effets délétères d'une lésion hippocampique sur la mémoire de travail aient été mesurés, ils seraient limités aux tâches plus chargées; où son exécution requiert la mise à jour d'une quantité d'information importante. Cela laisse croire que le rôle de l'hippocampe serait de pallier à la capacité limitée de la mémoire de travail en mobilisant la mémoire à long-terme (Geva, Cooper, Gadian, Mishkin et Vargha-Khadem, 2016; Goodrich et Yonelinas, 2016; Jenson et Squire, 2012). Ainsi, il semblerait qu'un fonctionnement hippocampique réduit, tel qu'observé chez les porteurs du polymorphisme BDNF Val66Met, n'affecterait pas la performance de la mémoire de travail en elle-même. Il n'est donc pas attendu que l'hippocampe plus volumineux et ayant un

fonctionnement accru mesuré à plusieurs reprises dans la littérature chez les apprenants spatiaux ait un rôle important dans la performance de la tâche de mise à jour (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018).

D'un autre côté, le rôle du noyau caudé serait relié au fonctionnement exécutif, notamment la mémoire de travail, via son lien avec le cortex préfrontal (Cools, 2011). Par exemple, la stimulation magnétique à répétition du cortex dorsolatéral préfrontal peut causer une augmentation de sa connectivité fonctionnelle avec le noyau caudé, ce qui est accompagné d'une augmentation de la performance en tâche de mémoire de travail (Hulst et al., 2017). Également, le noyau caudé serait actif lors de tâches de mémoire de travail, et une corrélation positive entre son activité et la performance comportementale a été mesurée (Gazzaley et al., 2004; Lewis, Dove, Robbins, Barker et Owen, 2004; Podell et al., 2012; Robbins, 1996). Plus spécifiquement, le niveau de transmission dopaminergique du noyau caudé est associé à cette performance (Bäckman et al., 2011; Landau, Lal, O'Neil, Baker et Jagust, 2009). Un lien entre le fonctionnement affaibli du noyau caudé et un déficit de mémoire de travail a également été observé chez des populations cliniques. Par exemple, Prehn-Kristensen et ses collègues (2011) n'ont pas observé de diminution du déficit de la performance en mémoire de travail chez les patients atteints de trouble de déficit de l'attention avec hyperactivité malgré la prise de méthylphénidate, une médication augmentant le fonctionnement préfrontal par une stimulation dopaminergique. La médication ne causerait pas d'augmentation de l'activité du noyau caudé, ce qui expliquerait le maintien du déficit. Similairement, les parkinsoniens éprouvent des difficultés en mémoire de travail qui seraient spécifiquement associées au fonctionnement anormal du noyau caudé (Marklund et al., 2009). À l'inverse du méthylphénidate, la médication dopaminergique Levodopa augmente l'activité du noyau caudé et permettrait de rétablir les fonctions de la mémoire de travail (Costa et al., 2003; Lewis, Slabosz, Robbins, Barker et Owen, 2005; Simioni, Dagher et Fellows, 2017). Enfin, des études d'entraînement de mémoire de travail ont pu mesurer une augmentation du fonctionnement du noyau caudé parallèlement à l'augmentation de la performance à la tâche (Nymberg et al., 2014; Olesen, Westerberg et Klingberg, 2004; Takeuchi et al., 2015). Ainsi, le rôle du noyau caudé dans la mémoire de travail est bien appuyé dans la littérature et, bien plus qu'un simple stimulateur du

cortex préfrontal par son efférence dopaminergique, il jouerait possiblement un rôle direct dans la performance comportementale (Prehn-Kristensen et al., 2011).

Plus spécifiquement, deux rôles ont été proposés pour le noyau caudé dans la mémoire de travail. Chatham et ses collègues (2014) suggèrent qu'il filtrerait les informations à conserver en mémoire afin d'augmenter sa fiabilité en ne conservant que les bonnes informations, ce qui, dans une tâche de mémoire de travail, résulterait en un nombre d'erreurs plus faible. Provost et ses collègues (2010) suggèrent quant à eux un rôle dans la planification et l'exécution de manipulations volontaires sur l'information gardée active, ce qui correspondrait à un rôle dans les tâches où des manipulations sont nécessaires. Une augmentation du fonctionnement et du volume de matière grise de la région telle qu'observée chez les apprenants réponse lors d'études précédentes pourrait ainsi permettre de prédire une meilleure performance en tâche de mémoire de travail (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Cette performance serait accrue dans une tâche demandant une grande capacité ou une manipulation d'informations.

2.2.4 Prise de décision

La prise de décision est généralement définie comme le choix d'une option parmi celles qui s'offrent à un individu. L'approche de la prise de décision basée sur la valeur, l'une des plus utilisée en psychologie cognitive, s'attarde plus particulièrement aux facteurs permettant de prédire la valeur subjective des options pour un individu. Trois systèmes ont été proposés pour permettre l'évaluation des choix : le conditionnement classique, les habitudes et la direction vers un but. Ces trois systèmes seraient modulés par la prise de risque et l'incertitude (Rangel et al., 2008). De plus, ils seraient en compétition dans l'attribution d'une valeur à des stimuli (Daw, Niv et Dayan, 2005). Nous nous intéresserons plus particulièrement aux rôles du striatum dorsal, de l'hippocampe, du cortex orbitofrontal et du CCA dans la prise de décision, ces quatre structures différant en terme d'activité fonctionnelle entre apprenants spatiaux et réponse (Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003).

Le striatum dorsal, tel que discuté dans les sections précédentes, joue un rôle important dans l'apprentissage par l'association action-récompense et à l'adaptation au changement des

récompenses (Johnson, van der Meer et Redish, 2007; Rangel et al., 2008; Samejima, Ueda, Doya et Kimura, 2005). Bien que cela semble contradictoire, il est également à l'origine du système des habitudes en augmentant la valeur perçue des actions entreprises précédemment (Packard et Knowlton, 2002). Il est toutefois biaisé en faveur de la rétroaction positive, favorisant une diminution de l'attention portée aux punitions (Balleine, Delgado et Hikosaka, 2007). Parallèlement, le striatum ventral, et plus particulièrement le noyau accumbens, jouent un rôle important dans la recherche de récompense, et donc la négligence des punitions. Par exemple, des chercheurs ont mesuré une plus grande activité du striatum ventral chez les joueurs fréquents de jeux-vidéo lors d'une tâche de prise de décision, alors que cette activité était corrélée inversement à la performance à la tâche (Kühn et al., 2011). Le striatum entier joue ainsi un rôle important pour biaiser l'attention en faveur de la rétroaction positive par sa participation dans le circuit de récompense, un ensemble de régions dont l'activité est stimulée par les renforcements. En conséquence, alors que le striatum ventral est généralement épargné dans la maladie de Parkinson, la médication dopaminergique leur étant prescrite affecte le striatum entier. La suractivation du striatum cause ainsi une surstimulation du circuit de récompense, menant à des comportements impulsifs et de dépendance qui se traduisent par une plus grande prise de risque (Callesen, Hansen, Gjedde, Linnet et Møller, 2013; Frank, Samanta, Moustafa et Sherman, 2007; Vo, Seergobin et MacDonald, 2017). Le striatum dorsal est également faiblement affecté par l'ambiguïté, et est lié à l'attente de récompenses (Goulet-Kennedy, Labbe et Fecteau, 2016) en plus d'être associé aux dépendances en augmentant la motivation à la consommation par son rôle dans le circuit de récompense et son renforcement de la valeur de comportements habituels (Baler et Volkow, 2006; Brody et al., 2006; Everitt et Robbins, 2005; Robbins et Everitt, 2002; Volkow et al., 2007). Cela suggère qu'une augmentation de la prise de risque peut être attendue d'une population ayant en moyenne une plus grande activité et un plus grand volume de matière grise dans le striatum dorsal telle que les apprenants réponse (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018).

Ensuite, le CCA est associé à la reconnaissance d'une mauvaise décision suite à la réception d'une rétroaction (Holroyd et Coles, 2002). Il aurait pour rôle d'encoder cette rétroaction, ce qui permettrait de mieux l'utiliser (Cai et Padoa-Schioppa, 2012). Sa portion

ventrale est plus associée à l'attribution d'une valeur émotionnelle aux stimuli, ce qui serait associé aux regrets des choix, alors que sa portion dorsale est surtout sensible aux changements au niveau des récompenses (Bush et al., 2002; Bush, Luu et Posner, 2000; Liu et al., 2016). Rappelons qu'une plus grande activité dans la région ventrale a été trouvée chez les apprenants spatiaux alors que la région dorsale était plus active chez les apprenants réponse (Dahmani et Bohbot, 2015). Dans le contexte d'une tâche avec rétroactions positives et négatives concurrentes; où les deux sont présentées séparément à l'écran au cours d'une même période de temps, telle que l'Iowa Gambling Task, de telles différences suggèrent un impact plus grand de la rétroaction négative chez les apprenants spatiaux, et donc une plus faible prise de risque.

Également, le cortex orbitofrontal permet l'association entre le stimulus et la récompense, il permet donc une intégration de la rétroaction afin de mieux évaluer les options et choisir celles qui sont avantageuses (Ostlund et Balleine, 2007; Padoa-Schioppa et Assad, 2006; Ruge et Wolfensteller, 2016). La sensibilité à l'ambiguïté serait également soutenue par cette région, qui encourage donc le choix des options stables et dont les conséquences sont prévisibles (Abela et Yogita, 2012; Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel et Camerer, 2005). De plus, une lésion orbitofrontale affecterait la capacité à l'apprentissage du lien stimulus-conséquence (Camille et al., 2011). Cet apprentissage basé sur la totalité de la rétroaction ainsi qu'une plus faible tolérance à l'ambiguïté pourrait favoriser le choix d'options plus sécuritaires chez les apprenants spatiaux, chez qui une plus grande activité du cortex orbitofrontal a été mesuré dans la littérature (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015).

Finalement, l'hippocampe aurait également un rôle à jouer dans la prise de décision en sous-tendant la capacité à projeter les conséquences d'un choix. L'augmentation de son activité chez le rat dans une tâche de prise de décision serait ainsi liée à la délibération –la contemplation des options afin de faire le bon choix (Johnson et al., 2007; Redish, 2016). Par exemple, une lésion hippocampique affecterait la sensibilité au changement des récompenses (Bett, Murdoch, Wood et Dudchenko, 2014). Bien que le phénomène soit encore peu étudié chez l'humain, il semblerait que l'hippocampe permette la projection de conséquences futures des actions par le biais de la mémoire épisodique (Buckner et Carroll, 2007; Gilbert et Wilson, 2007; Redish, 2016). Une meilleure capacité de projection, qui pourrait être liée à une plus

grande utilisation de d'hippocampe généralement plus volumineux et plus actif, pourrait favoriser les apprenants spatiaux et leur permettre de mieux performer en tâche de prise de décision (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018).

Tel que décrit plus haut, le circuit de récompense a un impact important sur la prise de décision. Le noyau accumbens, qui est fortement relié à la la prise de risque via la motivation à aller chercher les récompenses, y joue un rôle particulièrement important. Cela se reflète particulièrement sur le développement et le maintien de dépendances, qui est associé aux fonctions du noyau accumbens (Kalivas et Volkow, 2005). De plus, Bohbot et ses collègues (2013) ont trouvé un lien entre la stratégie réponse et la consommation de substances, où les apprenants réponse avaient plus de chances de consommer régulièrement du cannabis ou du tabac. Également, l'utilisation régulière de jeux-vidéo d'action, associés à un noyau accumbens plus volumineux – un signe de dépendance – a aussi été associé à la stratégie réponse (Kühn et al., 2011; West et al., 2015, 2018). Il est donc important de s'assurer que les participants n'aient pas de dépendance avant de participer à l'étude. Ainsi, l'absence de diagnostic clinique déclaré et une limite de consommation de substances psychotropes et d'utilisation de jeux-vidéo est nécessaire pour la sélection des participants. Également, comme des troubles communs encore non-reconnus par le DSM-5 telle que la dépendance à l'internet et la dépendance au téléphone intelligent ont une prévalence élevée chez les jeunes adultes (Kawabe, Horiuchi, Ochi, Oka et Ueno, s.d.; Lopez-Fernandez, 2017), il serait pertinent d'en prendre la mesure afin de potentiellement les utiliser comme covariables pour la prise de décision.

D'autres psychopathologies ont également un impact connu sur la prise de décision. Dans une méta-analyse, Mukherjee et Kable (2014) suggèrent que la plupart des diagnostics de psychopathologie aient un impact négatif similaire sur la prise de décision. Pour plusieurs de ces psychopathologies, cela s'expliquerait par un fonctionnement des régions frontales affecté. La prévalence de psychopathologies dans la population étudiante, qui formera une portion considérable de l'échantillon, est particulièrement élevée (Eisenberg, Gollust, Golberstein et Hefner, 2007; Lessard, 2016). En conséquence, le retrait des individus ayant un diagnostic de pathologie ainsi qu'une mesure des niveaux de dépression et d'anxiété pour les

participants apparaissent comme des moyens pertinents pour améliorer la qualité des données des mesures de prise de décision.

2.2.5 Hypothèses de recherche

Sur la base des informations énoncées précédemment, plusieurs hypothèses de recherche ont été émises basées sur les différences anatomiques et fonctionnelles entre apprenants spatiaux et réponse observées lors d'études précédentes (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018):

Nous avons prédit, sur la base du rôle du noyau caudé dans le renversement de l'apprentissage, que le WCST, utilisé pour mesurer la flexibilité cognitive, sera mieux réussi par les apprenants réponse. Cela devrait se refléter par un moins grand nombre d'erreurs persévératives et un plus grand nombre de règles complétées. À l'inverse, aucune différence ne devrait être visible en comparant les apprenants spatiaux et réponse sur le nombre d'essais nécessaires pour la réussite de la première règle.

Il est attendu que les apprenants réponse auraient une meilleure performance en alternance de tâches sur la base d'études précédentes liant la planification au fonctionnement du noyau caudé lors de telles tâches, ce qui se traduirait par un coût de changement de règle inférieur.

La littérature liant le noyau caudé à la mémoire de travail nous permet de s'attendre à ce que les apprenants réponse démontrent une meilleure performance de mémoire de travail par des empan de chiffre à l'endroit et à l'envers plus longs.

Finalement, nous avons prédit que les apprenants spatiaux prendront moins de risques tout au long des tâches de prise de décision. Pour l'IGT, cela se traduira par des scores bruts et nets plus élevés, et pour le CCT, cela se traduira par un moins grand nombre de cartes pigées en général. Ces hypothèses sont basées sur le rôle que remplissent le CCA ventral, le cortex orbitofrontal, l'hippocampe et le noyau caudé dans la prise de décision.

3. Méthodologie

3.1 Participants

Les participants ont été recrutés via des petites annonces sur Internet et le bouche-à-oreille. Cinquante-trois participants ont été recrutés afin d'être catégorisés parmi les deux groupes en fonction de la stratégie de navigation adoptée en se déplaçant dans un labyrinthe virtuel, ayant tous entre 18 et 35 ans ($M = 23,98$ ET = 4,43 ans) et ont au minimum 14 années d'éducation ($M = 15,82$ ET = 1,91 années). Afin d'éviter la connaissance préalable des tâches, les étudiants au doctorat en psychologie et les psychologues ont été exclus. Les participants n'avaient aucun diagnostic de psychopathologie ou de trouble neurologique. Ils étaient tous non-fumeurs, consommaient moins de vingt consommations d'alcool par mois et ne consommaient pas régulièrement de substances psychotropes illicites. Finalement, aucun d'eux n'a régulièrement joué à des jeux-vidéo d'action durant la dernière année, qui est définie par une pratique hebdomadaire supérieure à trois heures. Une compensation de 30 dollars a été accordée à la fin de l'étude.

3.2 Tâches utilisées

3.2.1 Labyrinthe virtuel 4 sur 8

Une version automatisée du labyrinthe virtuel 4 sur 8 a été utilisée. Dans cette tâche informatisée, les participants sont placés dans un labyrinthe virtuel radial à 8 branches dont chacune se termine dans un puits muni d'un escalier de sorte qu'il soit impossible de voir le contenu du puits depuis le centre. La tâche se divise en plusieurs types de parties, utilisant toutes la même structure de labyrinthe radial (voir figure 1) :

Habituation : Au départ, on demande aux participants de choisir des allées, afin de s'assurer qu'ils soient en mesure de se déplacer à travers le labyrinthe de manière fluide. Aucun point de repère n'est alors visible et aucune donnée n'est collectée. Lorsque c'est réussi, on passe à la véritable tâche.

Partie 1 : Suite à l'administration d'instructions standardisées, l'environnement autour du labyrinthe devient visible. Le participant fait alors face à des allées prédéfinies. Parmi cet environnement, il y a des points de repères proximaux – un arbre et une roche – et des points de repères distaux – une montagne et une vallée. Quatre des allées sont alors barrées et on demande aux participants de récupérer les objets des quatre allées disponibles en laissant savoir qu'à la partie suivante, ils devront retrouver les objets dans les allées qui n'auront pas été empruntées. La partie se termine lorsque les quatre objets ont été récupérés et que, de retour au centre, le participant a observé l'environnement à sa satisfaction.

Partie 2 : Avec l'environnement toujours visible, toutes les allées deviennent disponibles. Le participant est d'abord placé automatiquement au centre faisant face aux mêmes allées prédéfinies de la partie 1. Il doit alors récupérer les objets des quatre allées qui étaient bloquées au départ. L'essai se termine lorsqu'il a récupéré tous les objets.

Partie 2 sonde : Suivant une partie 1, l'environnement autour du labyrinthe est caché, et toutes les allées deviennent disponibles. Le participant doit alors récupérer les objets des quatre allées qui étaient bloquées au départ. L'essai se termine lorsqu'il a emprunté quatre allées différentes.

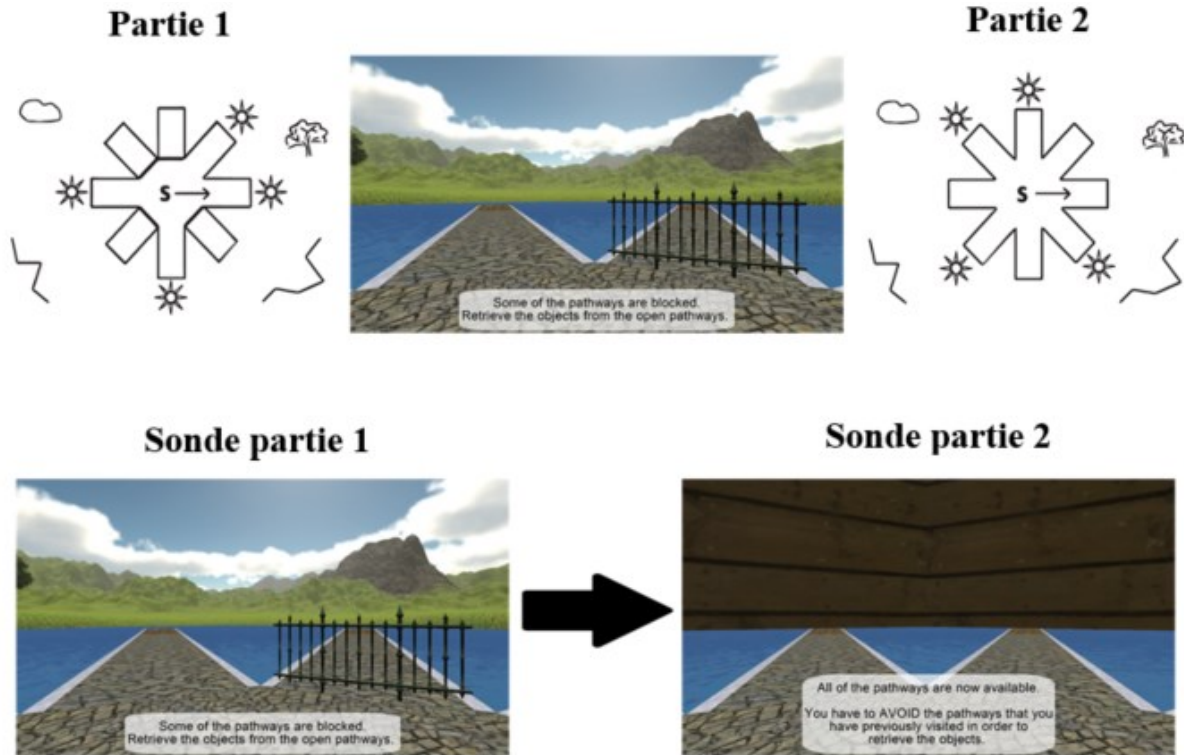


Figure 1. Les différentes parties du labyrinthe virtuel 4 sur 8

La tâche est divisée en essais chacun composé d'une partie 1 suivie d'une partie 2. L'essai sonde est déclenché lorsqu'au moins un essai a été réussi sans erreur et qu'au minimum trois essais ont été complétés. Suite à l'essai sonde, un dernier essai est administré. La tâche se termine par une courte entrevue standardisée afin de déterminer la stratégie de navigation qui a été utilisée en premier. Celle-ci a pour but de catégoriser les participants parmi les deux groupes de stratégie de navigation. Lorsqu'un participant rapporte avoir utilisé une séquence faisant le tour du labyrinthe à partir d'un point, par exemple en le numérotant chacune des allées pour se servir de ces numéros pour identifier les allées à visiter, il est catégorisé comme apprenant réponse. Lorsqu'un participant rapporte avoir utilisé plusieurs points de repères pour identifier les allées sans relier les points de repères entre eux, il est catégorisé comme apprenant spatial. La performance à l'essai sonde permet également une catégorisation; si la séquence formée par les allées empruntées est la même que la séquence correcte, par exemple si les allées correctes sont les allées 2-4-6-7 et que le participant prend les allées 5-7-1-2, on considère que le participant a utilisé une stratégie réponse pour résoudre la tâche. À l'inverse, effectuer une séquence incorrecte indique l'utilisation d'une stratégie

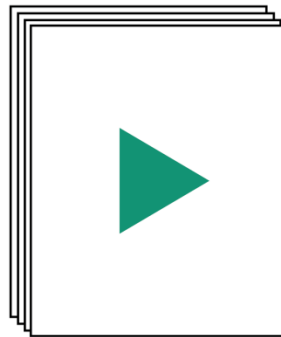
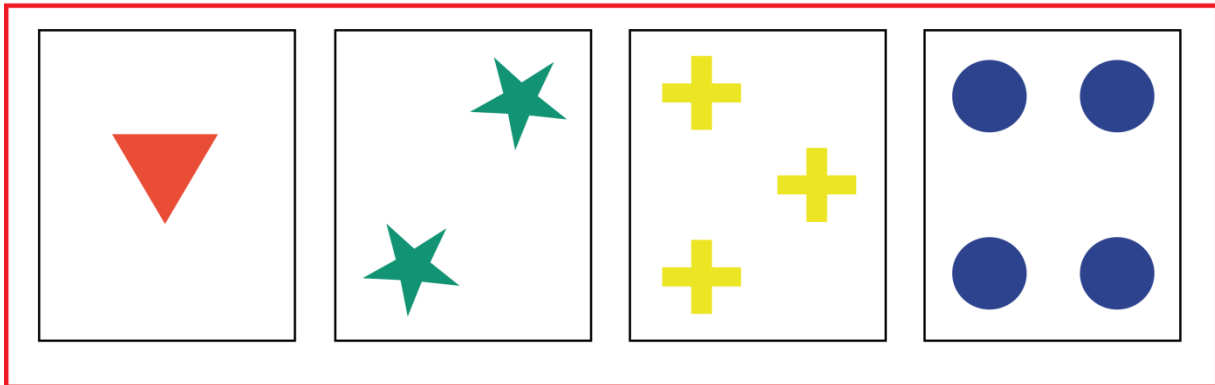
spatiale. la capacité à effectuer la bonne séquence est un indicateur de la stratégie de navigation réponse et est également liée au noyau caudé (Bohbot et al., 2007). La version automatisée ayant été utilisée est légèrement différente de la tâche originale utilisée par les études précédentes (Bohbot et al., 2013; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003, 2003; West et al., 2015, 2018). Parmi ces différences, on voit une amélioration de la qualité graphique, un passage d'un essai à l'autre plus facile, puis une présentation visuelle des instructions en même temps qu'elles sont présentées. Ces modifications permettent de minimiser le risque d'erreurs de la part de l'expérimentateur tout en améliorant la validité de la tâche via un réalisme accru.

3.2.2 Wisconsin Card Sorting Test

Une des mesures de la flexibilité cognitive ayant été utilisée est le WCST-64, une version raccourcie du WCST. Dans cette tâche, on présente au participant quatre cartes de référence, qu'on étale sur la table. Elles ont toutes des formes et couleurs d'un nombre différent (un triangle rouge, deux étoiles vertes, trois croix jaunes et quatre cercles bleus). Un paquet de 64 cartes, ayant toutes une combinaison de nombre, forme et couleur des figures unique, est donné au participant (voir figure 2). Il doit alors apparier à tour de rôle les cartes aux cartes de référence alors que l'expérimentateur ne dit que « oui » ou « non » selon la correspondance à la règle en vigueur à ce moment. Trois règles sont possibles, soit la correspondance de la forme, de la couleur et du nombre. La règle change lorsque le participant réussit à apparier correctement six cartes à la suite. Il y a cinq changements de règles en tout, on passe de la couleur à la forme, au nombre, à la couleur, à la forme, pour terminer avec le nombre. La tâche s'arrête lorsque les six sets ont été complétés ou que les 64 cartes ont été utilisées. Certaines erreurs sont considérées comme persévératives, c'est-à-dire qu'elles sont la manifestation de la persévération du participant à essayer à nouveau une règle qui est erronée. Le nombre de sets réussis, d'un maximum de six, et les erreurs persévératives ont été utilisés afin de mesurer la flexibilité cognitive. Les différences entre le WCST standard et le WCST-64 sont qu'un seul paquet de 64 cartes est utilisé plutôt que deux, et que le changement de règle s'effectue après 6 réponses correctes plutôt que 10. Cela permet de minimiser l'ennui chez les participants, comme les jeunes adultes ayant un haut niveau d'éducation réussissent

généralement très bien la tâche. Le WCST-64 aurait une sensibilité et fiabilité similaire à la version standard (Greve, 2001).

Cartes de référence



Paquet de cartes à trier

Figure 2. Wisconsin Card Sorting Test

3.2.3 Alternance de tâches

Utilisée comme seconde mesure de flexibilité cognitive, l'alternance de tâches permet de mesurer le coût du temps de réaction lorsqu'un changement de règle a lieu. Au début de la tâche tirée de l'étude de Stoet et ses collègues (2013), on demande au participant de répondre le plus rapidement possible à des stimuli présentés à l'ordinateur en appuyant sur une touche du clavier. Les stimuli peuvent être des carrés ou des losanges avec deux ou trois points à l'intérieur et peuvent apparaître soit dans la partie inférieure ou supérieure de l'écran (voir figure 3). Lorsqu'ils apparaissent dans la partie supérieure, la réponse correcte dépend de la forme, alors qu'elle dépend du nombre de points lorsqu'ils apparaissent dans la partie inférieure. Ainsi, lorsque la figure apparaît dans la partie supérieure, le participant doit

répondre « B » si c'est un losange ou « N » si c'est un carré, alors que dans les cas où elle apparaît dans la partie inférieure, il doit répondre « B » s'il y a 2 points et « N » s'il y a trois points à l'intérieur de la figure. La tâche est divisée en six blocs : les trois premiers servent de pratique, avec une séquence de 10 stimuli dans la partie supérieure pour le premier, puis 10 stimuli dans la partie inférieure pour le deuxième, et 10 stimuli de chacune des deux zones étant présentés aléatoirement pour le troisième. Les trois blocs suivants sont expérimentaux, où le type de bloc suit la même séquence que les blocs de pratique – supérieure, inférieure, puis mixte – mais contiennent respectivement 40, 40 et 80 stimuli. Les essais du bloc mixte sont de deux types : ceux suivant la même règle que l'essai précédent (non-switch), et ceux qui suivent une règle différente (switch). La différence de temps de réaction entre les deux types d'essais permet d'obtenir le coût de changement de règle. La différence de temps de réaction entre le bloc mixte et les blocs à une seule règle donne le coût de mixité (Monsell, 2003; Rogers et Monsell, 1995; Wylie et Allport, 2000).

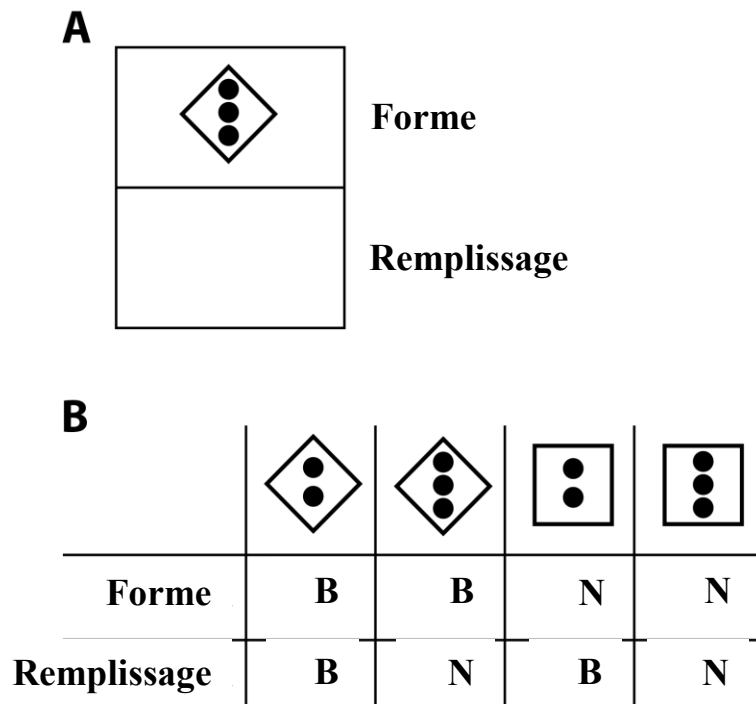


Figure 3. Stimuli utilisés pour le test d'alternance de tâche. Panneau A : Représentation de ce qui est affichée à l'écran. Panneau B : Touches associées à la bonne réponse pour chaque stimulus

3.2.4 Empan de chiffres

La tâche classique pour mesurer la mémoire de travail verbale a été présentée pour la première fois par Lumley et Calhoun (1934). On présente des chiffres en séquence, puis le participant doit les rappeler à la fin de la séquence. La tâche est divisée en 2 parties en fonction du rappel qui est demandé. La première partie demande un rappel à l'endroit alors que la deuxième demande un rappel à l'envers. Quatorze séquences par partie sont présentées, on débute la première partie à trois chiffres et la deuxième à deux chiffres. La longueur de la séquence dépend de la performance à l'essai précédent et la longueur de la séquence précédente, suivant un escalier; en augmentant la longueur d'un chiffre si l'essai a été réussi, et en la diminuant d'un chiffre suivant deux échecs consécutifs. La version classique de cette tâche est administrée oralement par l'expérimentateur. La tâche a été informatisée et présentée visuellement afin d'éviter les biais associés aux habiletés de langage (MacIntyre et Gardner, 1991)

3.2.5 Iowa Gambling Task

Bechara et ses collègues (1994) ont proposé une tâche où quatre paquets de cartes sont présentés aux participants. Les participants doivent choisir à 100 reprises dans quel paquet parmi les quatre à l'écran ils souhaitent piger la prochaine carte. À chaque carte pigée, on affiche les gains, et, s'il y a lieu, les pertes. Les informations données dans les instructions sont standardisées; le participant n'a au départ que des informations sur la structure du jeu, le fait que certains paquets soient plus avantageux que d'autres et que le but est d'accumuler un maximum de points, qui est en fait le score brut. Deux paquets sont généralement négatifs alors que les deux autres sont généralement positifs, et l'ordre de leur position est aléatoire (voir figure 4). Les paquets désavantageux offrent des gains de 100 par carte et des pertes de 1250 une fois sur 10 (paquet A) ou des pertes allant de 150 à 350 cinq fois sur 10 (paquet B). Les paquets avantageux offrent des gains de 50 par carte et des pertes de 250 une fois sur 10 (paquet C) ou des pertes de 50 cinq fois sur 10 (paquet D). La rétroaction positive et la rétroaction négative sont données de manière concurrente et séparée. Par exemple, une carte peut faire gagner 50 points tout en étant accompagnées d'une perte de 50 points. Dans un tel cas, il n'y a ni perte, ni gains, mais des gains de 50 et des pertes de 50 seraient affichées à

l'écran suivant la sélection de la carte, étant donc présentés à l'écran lors de la même période. Un score net est calculé en faisant la différence entre le nombre de cartes positives et le nombre de cartes négatives pigées. Il est possible de considérer l'apprentissage en subdivisant la tâche en cinq blocs de 20 cartes.

	Paquets désavantageux		Paquets avantageux	
	A	B	C	D
Gains par carte	100	100	50	50
Pertes par 10 cartes	1250	1250	250	250
Total par 10 cartes	-250	-250	+250	+250

Figure 4. Rentabilité des différents paquets de cartes de l'Iowa Gambling Task

3.2.6 Columbia Card Task

Cette tâche est une version modifiée et raccourcie de l'originale (Figner, Mackinlay, Wilkening et Weber, 2009). Elle est séparée en 22 essais variant selon trois caractéristiques : le nombre de mauvaises cartes (une, deux ou trois), la valeur des mauvaises cartes (pertes de 250, 500 ou 750 points) et la valeur des bonnes cartes (gains de 15 ou 25 points). Trente-deux cartes sont présentées à l'écran au début de chaque essai. Le participant peut en retourner autant qu'il le souhaite, mais l'essai s'arrête automatiquement lorsqu'une carte négative est pigée. La tâche est toutefois conçue pour favoriser la prise de risque puisque les mauvaises cartes ne sont pas placées aléatoirement. Dix-huit des essais sont expérimentaux, les cartes négatives ne peuvent qu'être pigées à la toute fin, c'est donc le nombre de cartes pigées dans ces essais qui permet de mesurer la prise de risque. De plus, cela fait en sorte que la prise de risque est récompensée par un score plus élevé. Afin d'éviter que le participant ne comprenne que la tâche n'est pas réellement aléatoire, les quatre autres essais sont différents. Dans le premier essai, la carte négative est toujours pigée en deuxième. Trois autres essais

aléatoirement administrés sont « à risque », une carte négative est nécessairement pigée entre la deuxième et la dixième pige.

3.2.7 Questionnaires

Quatre questionnaires ont été administrés : l'inventaire d'anxiété de Beck (IAB), le questionnaire de dépression de Beck – formule abrégée (QDB-SV), l'internet addiction test (IAT) et le smartphone addiction scale – version courte (SAS-SV). Ceux-ci ont été administrés à l'ordinateur en présence d'un expérimentateur (Voir les items et ancrages utilisés se trouvent en annexe). L'IAB nomme 21 symptômes liés à l'anxiété, où on doit indiquer l'intensité ressentie du symptôme lors de la dernière semaine, allant de 0 à 3. La version utilisée a été traduite et validée en Français (Freeston, Ladouceur, Thibodeau, Gagnon et al, 1994). Le QDB présente 13 groupes d'énoncés suivant une gradation d'intensité allant de 0 à 3 parmi lesquels le participant doit choisir celui qui correspond le mieux à ses sept derniers jours. Bourque et Beaudette (1982) présentent la validation de la traduction française de ce questionnaire. L'IAT est composé de 20 items portant sur la dépendance à l'internet, les réponses possibles vont de « Ne s'applique pas » (0) à « Toujours » (5). Le test a été traduit en Français par Khazaal et ses collègues (2008). Le SAS-SV contient 10 items pour évaluer la dépendance au téléphone intelligent. Les réponses aux affirmations s'étendent de « Fortement en désaccord » (1) à « Fortement en accord » (6). Le test a été traduit en Français européen par Lopez-Fernandez (2017), certains mots ont été adaptés au dialecte québécois afin de favoriser la compréhension.

3.2.8 Protocole

Afin de s'assurer de minimiser l'effet de variables parasites telles que la fatigue et l'effet de tâches précédentes, l'ordre des tâches a suivi une séquence rigoureuse. Suivant l'obtention du consentement écrit, les questionnaires ont été administrés à l'ordinateur. Suivait ensuite la tâche d'alternance, puis le WCST-64, puis l'empan de chiffres. Finalement, les tâches de prise de décision, puis le 4 sur 8 étaient passées. L'ordre des deux tâches de prise de décision a été contrebalancé : les participants ayant un identifiant pair ont débuté par l'IGT alors que ceux ayant un identifiant impair ont d'abord complété le CCT. Une explication des tâches était offerte à la demande du participant à la fin de la séance.

4. Résultats

4.1 Tâche de navigation

Parmi les 53 participants, 25 (cinq hommes) ont été catégorisés comme apprenants spatiaux, 25 (sept hommes) comme apprenants réponse et trois (aucun homme) n'ont pas réussi à atteindre le critère de l'essai sonde, et ont donc été retirés de l'étude. Une seconde évaluatrice a eu pour tâche d'évaluer les transcriptions de chacune des entrevues afin d'établir un accord interjuge. En cas d'un désaccord, un troisième évaluateur a été demandé pour trancher la question. L'accord interjuge étant excellent ($\kappa(50)=,960$, $p < ,0001$), un troisième évaluateur ayant été requis seulement dans un cas. Aucune différence significative entre les groupes n'a été trouvée au niveau de l'âge (spatiaux : $M = 22,68$, $ET = 3,91$; réponses : $M = 24,28$, $ET = 4,96$) ($T(48) = 1,266$, $p = ,212$), de l'éducation (spatiaux : $M = 15,60$, $ET = 1,89$; réponses : $M = 16,04$, $ET = 1,93$; $T(48) = ,815$, $p = ,419$) et du sexe ($\chi^2(1, N = 50) = 0,439$, $p = ,508$). Trente participants ont complété l'essai sonde avec la bonne séquence, alors que 20 ont fait une erreur. Tel qu'attendu, un fort lien existe entre les deux mesures de regroupement ($\chi^2(1, N = 50) = 16,333$, $p < ,0001$, ϕ de Cramer = $,572$), où peu d'apprenants réponse ont fait une erreur à l'essai sonde ($N = 3$) et les apprenants spatiaux l'ayant réussi sans erreur sont peu fréquents ($N = 8$).

4.2 Wisconsin Card Sorting Test

Le niveau d'éducation étant corrélé, bien que non-significativement, au nombre d'erreurs persévératives ($r(49) = -,258$, $p = ,073$), il a été utilisé comme covariable dans les analyses subséquentes. Les apprenants spatiaux ont effectué significativement plus d'erreurs persévératives (spatiaux : $M = 11,720$, $ET = 6,491$; réponses : $M = 7,792$, $ET = 4,201$; $F(1) = 5,283$, $p = ,026$, η^2 partiel = $,103$). Le nombre de sets complétés n'a toutefois pas pu être utilisé dans un test paramétrique comme 59% de l'échantillon avait obtenu le score maximal. Un test non-paramétrique a donc été effectué pour comparer la fréquence de complétion de la tâche. Les apprenants réponse ont alors une fréquence de réussite significativement plus élevée (75%) que les apprenants spatiaux (44%) ($\chi^2(1, N = 49) = 4,871$, $p = ,027$, $\phi = ,315$). Ces deux

différences représentent un effet moyen à grand (Cohen, 1977, p. 286-7). Le rang centile du nombre d'erreurs persévératives des apprenants spatiaux ($M = 44,04$, $ET = 30,90$) et réponse ($M = 58$, $ET = 26,21$) se situe près de la norme. Huit des neuf participants se retrouvant sous le 20^{ième} centile et quatre des 12 participants au-dessus du 80^{ième} centile sont des apprenants spatiaux, une différence qui est significative ($\chi^2(1, N = 49) = 6,481$, $p = ,011$, $\phi = ,556$). Le nombre d'essais pour la complétion de la première règle n'avait pas une distribution appropriée pour une comparaison de moyennes, comme 74% de l'échantillon l'avait complété en 6 à 8 cartes, avec des valeurs s'étendant jusqu'à 37. Une comparaison de fréquence a donc été faite en catégorisant les participants selon qu'ils réussissaient le premier set sans qu'une erreur de classification identique se soit produite deux fois. Cela équivaut à un seuil de complétion de la première règle en sept essais. Dix-neuf participants (11 spatiaux) n'ont pas atteint ce seuil, aucune différence significative n'a été mesurée entre les groupes ($\chi^2(1, N = 50) = 1,333$, $p = ,248$).

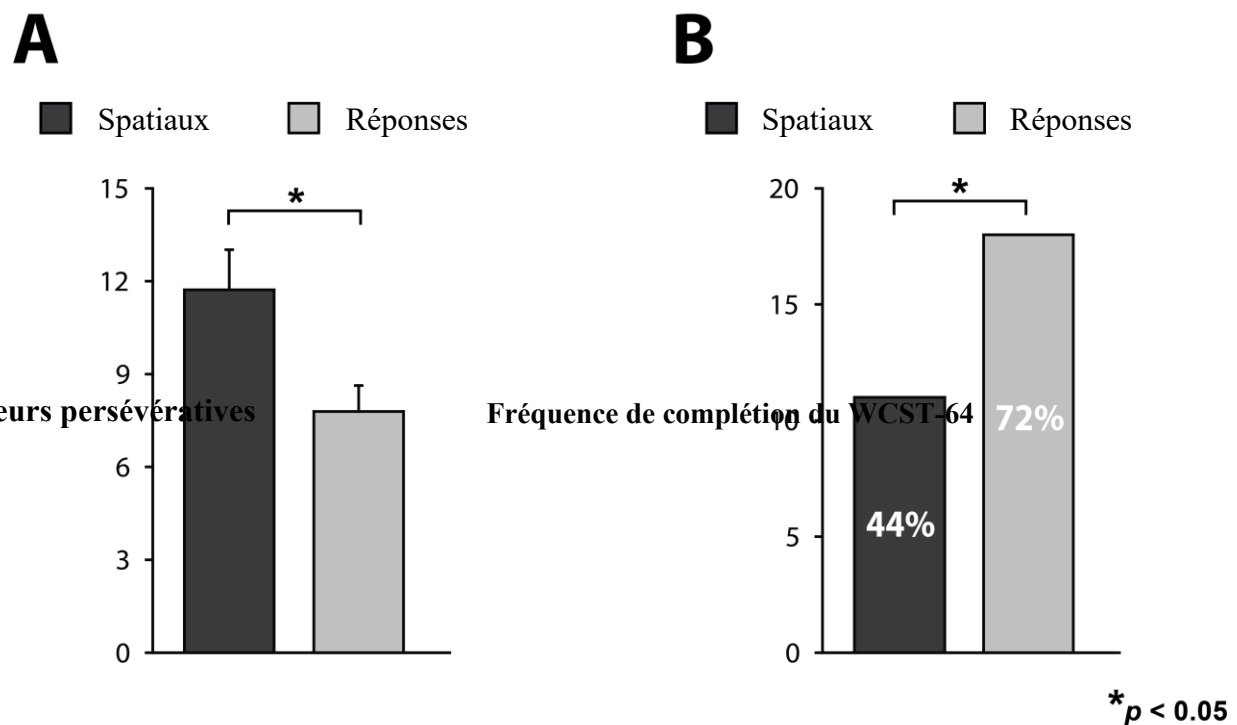


Figure 5. Résultats du WCST-64. Panneau A : Les apprenants spatiaux commettent significativement plus d'erreurs persévératives. Panneau B : Les apprenants réponse réussissent significativement plus souvent à compléter la tâche. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types.

4.3 Alternance de tâches

Un prétraitement des données a été effectué afin de retirer les essais où une erreur a été commise et ceux ayant pour temps de réaction des valeurs extrêmes. Les essais ont été regroupés en quatre groupes en fonction des trois blocs. Le bloc mixte a été séparé selon les essais requéraient un changement de règle par rapport à l'essai précédent ou non. Les essais à l'extérieur de l'intervalle de $\pm 2,5$ écart-types par rapport à la moyenne de leur sous-groupe ont été retirés. L'âge étant significativement corrélé au coût de mixité ($r(50) = ,303, p = ,032$) et non-significativement au coût de changement de règle ($r(50) = ,178, p = ,215$), en plus d'avoir été associé à ces mesures lors d'une étude précédente (Moretti, Semenza et Vallesi, 2018), il a été utilisé comme covariable dans les analyses subséquentes. Le coût de changement de règle était significativement plus élevé chez les apprenants spatiaux (spatiaux : $M = 198,36, ET = 148,16$; réponses : $M = 126,70, ET = 88,41$; $F(1)=5,733, p = ,021, \eta^2$ partiel = ,109), mais pas le coût de mixité (spatiaux : $M = 407,07, ET = 147,34$; réponses : $M = 424,17, ET = 149,79$; $F(1) = ,001, p = ,976$). L'effet du coût de changement est qualifié comme étant de taille de moyenne à grande (Cohen, 1977, p. 286-7).

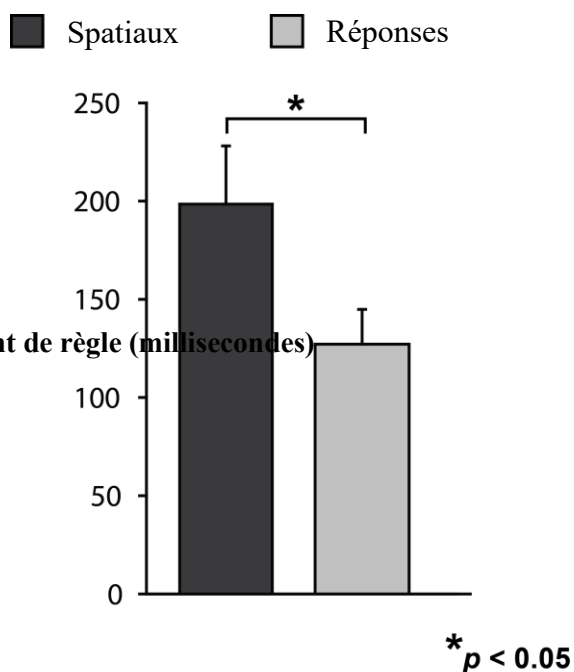


Figure 6. Résultat du test d'alternance de tâche : Les apprenants spatiaux ont un coût de changement de règle significativement plus élevé. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types.

4.4 Empan de chiffres

Pour cette tâche, l'empan moyen, représentant la longueur exacte de la séquence de chiffres où la performance serait de 50%, a été utilisé. Cette mesure est recommandée pour sa sensibilité, ayant été comparée aux mesures plus classiques d'empan de chiffres, s'assurant ainsi de la validité et de la fiabilité de l'indicateur (Woods et al., 2011). Les apprenants spatiaux ont alors un empan à l'endroit significativement plus court (spatiaux : $M = 6,236$, $ET = 1,077$; réponses : $M = 6,916$, $ET = 1,152$; $T(48) = 2,158$, $p = ,036$, d de Cohen = $,623$), mais non-significatif à l'envers (spatiaux : $M = 6,020$, $ET = ,944$; réponses : $M = 6,434$, $ET = 1,462$; $T(48) = 1,193$, $p = ,240$). Toutefois, lorsqu'on regroupe selon l'erreur à l'essai sonde, les participants n'ayant pas commis d'erreur ont une performance significativement meilleure à l'endroit (sans erreur : $M = 6,848$, $ET = 1,184$; erreur : $M = 6,168$, $ET = 1,006$; $T(48) = 2,110$, $p = ,040$, $d = ,609$) et à l'envers (sans erreur : $M = 6,490$, $ET = 1,373$; erreur : $M = 5,833$, $ET = ,888$; $T(48) = 2,053$, $p = ,046$, $d = ,593$). Les trois effets nommés plus haut sont considérés comme étant d'amplitude moyenne (Cohen, 1977, p. 26-7).

4.5 Iowa Gambling Task

Comme aucun des questionnaires, ni l'âge ni le niveau d'éducation des participants n'était corrélé au score brut ou au score net, ils n'ont pas été utilisés comme covariable. Les apprenants spatiaux ont obtenu un score brut plus élevé que les apprenants réponse (spatiaux : $M = 2762$, $ET = 665,25$; réponses : $M = 2158$, $ET = 859,83$; $T(48) = 2,778$, $p = ,008$, $d = ,802$). Le même résultat a été obtenu en comparant les scores nets (spatiaux : $M = 35,28$, $ET = 17,63$; réponses : $M = 10,48$, $ET = 12,80$; $T(48) = 2,846$, $p = ,006$, $d = ,822$). Ces deux différences sont qualifiées de grands effets (Cohen, 1977, p. 26-7). Aucune interaction n'a été trouvée en comparant les deux groupes sur la progression à travers les cinq blocs de la tâche ($F(1) = ,838$, $p = ,365$).

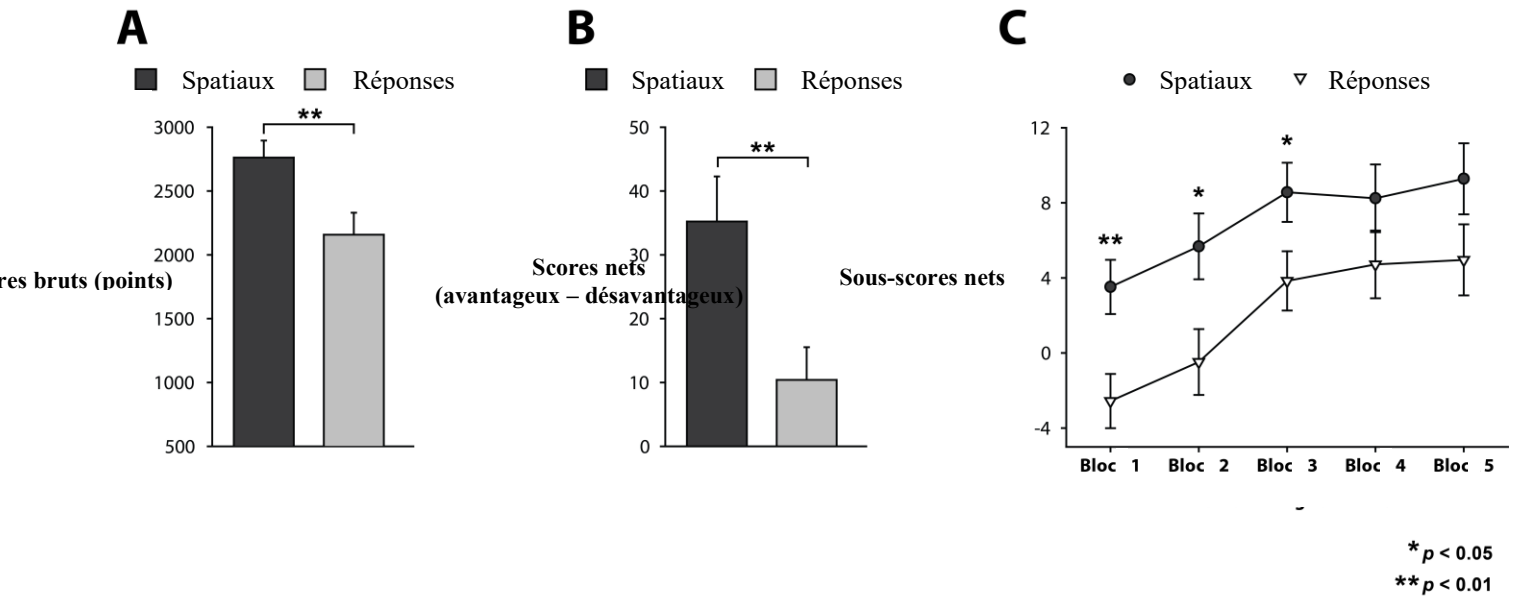


Figure 7. Résultats de l'Iowa Gambling Task. Panneau A et B : Les apprenants spatiaux ont obtenu des scores bruts et nets significativement plus élevés. Panneau C : Les apprenants spatiaux et réponses ne diffèrent pas significativement quant à l'évolution des sous-scores nets à travers les blocs. Les barres d'erreur représentent les erreurs-types.

4.6 Columbia Card Task

Aucun des questionnaires ou donnée démographique ne sont corrélés au nombre de cartes retournées lors des essais expérimentaux, ils n'ont donc pas été utilisés comme covariables. Aucune différence significative n'a été trouvée en comparant les apprenants spatiaux et réponses sur le nombre de cartes retournées lors des essais expérimentaux (spatiaux : $M = 363,32$, $ET = 141,29$; réponses : $M = 306,68$, $ET = 171,97$; $T(48) = 1,619$, $p = ,209$) ni sur le score (spatiaux : $M = 6184$ $ET = 2527,48$; réponses : $M = 5360,8$, $ET = 3214,68$; $T(48) = 1,007$, $p = ,319$).

4.7 Questionnaires

4.7.1 Questionnaire de dépression de Beck

Un score dépassant cinq sur le QDB-SV est considéré comme un état dépressif léger, alors qu'un score dépassant huit est considéré comme un état dépressif modéré (Bourque et

Beaudette, 1982). Les scores obtenus ont une étendue allant de 0 à 11, où neuf participants (cinq spatiaux) atteignent le seuil de dépression légère et huit participants (cinq spatiaux) atteignent le seuil de dépression modérée. La différence de fréquence entre les deux groupes de stratégies de navigation est non significative ($\chi^2(2, N = 50) = 0,884, p = ,643$).

4.7.2 Inventaire d'anxiété de Beck

Un score dépassant 10 sur l'IAB est considérée comme de l'anxiété faible à modérée, alors que l'anxiété modérée à sévère se manifeste par des scores supérieurs à 19 (Julian, 2011). Les scores obtenus se situent entre 0 et 18, où 12 participants (cinq spatiaux) ont dépassé le seuil d'anxiété légère à modérée alors qu'aucun n'a dépassé le seuil d'anxiété modérée à sévère. La différence de fréquence entre les deux groupes de stratégies de navigation est non significative ($\chi^2(1, N = 50) = 0,439, p = ,508$).

4.7.3 Internet Addiction test

Les barèmes de l'IAT proposent qu'un score supérieur à 30 soit considéré comme une dépendance légère et qu'un score dépassant 50 soit une dépendance modérée à l'Internet (Khazaal et al., 2008). Neuf participants (cinq spatiaux) ont obtenu des scores de dépendance légère et deux (un spatial) ont obtenu des scores de dépendance modérée. Les scores s'étendent de 3 à 65. La différence de fréquence entre les deux groupes de stratégies de navigation est non significative ($\chi^2(2, N = 50) = 0,137, p = ,934$).

4.7.4 Smartphone addiction scale

Kwon et ses collègues (2013) proposent le score de 32 comme seuil d'utilisation problématique du téléphone dans le SAS-SV. Les scores varient de 10 à 56, soulignons ici que le score maximal possible dans l'échelle est de 60. Treize participants (huit spatiaux) ont atteint le seuil d'utilisation problématique. La différence de fréquence entre les deux groupes de stratégies de navigation est non significative ($\chi^2(1, N = 50) = 0,936, p = ,333$).

5. Discussion

La présente étude cherchait à mieux comprendre les relations liant la stratégie de navigation avec les fonctions exécutives et la prise de décision. Les apprenants réponse ont effectué significativement moins d'erreurs persévératives et ont plus souvent réussi à compléter le WCST-64. Ils ont également démontré un coût de changement de règle significativement plus faible en alternance de tâche. L'empan de chiffres à l'endroit était significativement plus long chez les apprenants réponse, et les participants ayant commis une erreur à l'essai sonde avaient un empan à l'endroit et à l'envers significativement plus court. Les apprenants spatiaux ont quant à eux obtenu de meilleurs scores bruts et nets à l'IGT, mais aucune différence significative n'a été mesurée dans le CCT sur le score ni le nombre de cartes pigées lors des essais expérimentaux. Aucune différence significative entre les groupes n'a été mesurée dans l'apprentissage de l'IGT ni de la première règle du WCST-64. Finalement, les groupes ne différaient pas sur la fréquence des niveaux problématiques d'anxiété, de dépression, d'utilisation de l'Internet et d'utilisation du téléphone intelligent.

5.1 Wisconsin Card Sorting Test

Les apprenants réponse ayant commis significativement moins d'erreurs persévératives dans le WCST-64 et ayant une meilleure fréquence de complétion de la tâche, les données confirment l'hypothèse émise au départ. Cela suggère que les apprenants réponse aient une meilleure flexibilité cognitive. Cela pourrait être explicable par leur noyau caudé généralement plus excitable et plus volumineux (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Cela appuie également les nombreuses études suggérant qu'un déficit du noyau caudé affecte négativement la capacité à réviser un apprentissage pour s'adapter à un environnement changeant (MacDonald et al., 2014; Monchi et al., 2004, 2007; Nagano-Saito et al., 2008; Vaghi et al., 2017). Ces résultats en combinaison avec l'absence de différence significative entre les groupes de stratégie de navigation pour l'apprentissage de la première règle permettent d'appuyer la théorie de Rogers et ses collègues (2000). Selon celle-ci, l'adaptation au changement de règle est favorisée par le noyau caudé, mais l'apprentissage lui-même, bien que stimulant le noyau caudé, n'en est pas dépendant

(Ruge et Wolfensteller, 2016; Shi et al., 2018). Les résultats suggèrent donc que le désavantage des apprenants spatiaux sur la flexibilité cognitive soit limité au renversement de l'apprentissage, sous-tendu par le noyau caudé (Monchi et al., 2001). Également, ce désavantage, comme l'indique le rang centile moyen de 44,04 des apprenants spatiaux, ne suffit pas à déterminer un déficit pathologique de flexibilité cognitive. Il y a toutefois une surreprésentation significative d'apprenants spatiaux dans les scores faibles et d'apprenants réponse dans les scores élevés même lorsque ceux-ci sont normalisés, ce qui signifie qu'un déficit puisse être plus souvent accompagné de l'utilisation de la stratégie spatiale. Une faible performance au WCST-64 permettrait de prédire des performances inférieures au travail ainsi qu'un statut d'emploi plus défavorable lorsqu'on considère le fait d'être sans emploi, à temps partiel et à temps plein sur un seul continuum (Kibby, Schmitter-Edgecombe et Long, 1998; Ready, Stierman et Paulsen, 2001). Ainsi, il serait intéressant de voir si la meilleure flexibilité cognitive des apprenants réponses pourrait avoir un impact positif sur leur fonctionnement au travail.

5.2 Alternance de tâches

Les apprenants réponse ont obtenu une différence de temps de réaction significativement plus faible entre les essais utilisant une règle différente de l'essai précédent et ceux qui utilisent la même règle que l'essai précédent, ce qui confirme l'hypothèse initiale. Cela indique une meilleure capacité à passer rapidement d'une tâche à l'autre. Le coût de changement de règle a précédemment été associé au fonctionnement du noyau caudé pour le traitement de règles qui ne sont pas encore habituelles (Stelzel et al., 2011; Zink et al., 2003). Une meilleure capacité à créer les habitudes pourrait ainsi favoriser les apprenants réponse à bien planifier la règle à utiliser avant l'apparition du stimulus (Schouwenburg et al., 2010). Ainsi, nous attribuons les différences trouvées au noyau caudé souvent plus fonctionnellement actif et plus volumineux chez les apprenants réponse (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Un coût de changement de règle inférieur pourrait être un indicateur de la meilleure efficacité d'une personne à interrompre une tâche pour en reprendre une autre en perdant un minimum de temps (Stoet et al., 2013). Toutefois, ces résultats ne signifient probablement pas que les apprenants réponse

pratiquent plus souvent le *multitasking*. Au contraire, le coût de changement de règle a été inversement corrélé à l'expérience de *multitasking* de média tel que de travailler en écoutant la télévision (Ophir, Nass et Wagner, 2009). Ainsi, des mesures spécifiques du *multitasking* seraient nécessaires afin de mieux comprendre les implications de ces données.

5.3 Mémoire de travail

Les participants n'ayant pas commis d'erreur à l'essai sonde ont obtenu un empan de chiffres à l'endroit et à l'envers significativement plus long, alors que seul l'empan à l'endroit était plus long chez les apprenants réponse. La performance à la tâche de mémoire de travail a été corrélée à l'activité du noyau caudé lors de tâches de ce type (Bäckman et al., 2011; Landau et al., 2009; Lewis et al., 2004; Podell et al., 2012). De plus, la stimulation de la transmission dopaminergique mésocorticale par la médication augmente la performance à la tâche (Costa et al., 2003; Lewis et al., 2005; Simioni et al., 2017). Ainsi il est probable que le noyau caudé, habituellement plus volumineux et plus actif chez les apprenants réponse et les participant ne commettant pas d'erreurs à l'essai sonde, puisse expliquer la meilleure capacité de mémoire de travail trouvée chez ces groupes (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). De plus, comme la performance aux deux sous-tâches a été affectée, ces données pourraient appuyer les théories quant au rôle du noyau caudé dans la mémoire de travail. Plus précisément, il jouerait un rôle dans la sélection d'information, ce qui permettrait la meilleure performance, que ce soit à l'endroit ou à l'envers, et dans la manipulation de l'information, ce qui pourrait permettre une meilleure performance d'empan de chiffres à l'envers (Chatham et al., 2014; Provost et al., 2010).

5.4 Prise de décision

Les apprenants réponse ont obtenu des scores bruts et nets significativement plus faibles à l'IGT. Cela indique que les apprenants réponse ont pigé plus de cartes des paquets désavantageux. Ces paquets désavantageux comportaient des gains plus élevés, qui sont présentés en concurrence avec les pertes lorsqu'il y en a. Le striatum dorsal jouerait un rôle dans la prise de décision en augmentant l'attention portée à la rétroaction positive aux dépens

de celle portée à la rétroaction négative (Balleine et al., 2007). Cela passerait par la motivation accrue à aller chercher les renforcements (Baler et Volkow, 2006; Brody et al., 2006; Everitt et Robbins, 2005; Robbins et Everitt, 2002; Volkow et al., 2007). Également, le CCA dorsal joue un rôle dans la détection de la rétroaction positive, mais n'est pas particulièrement affecté par la rétroaction négative, contrairement au CCA ventral qui est plus associé aux émotions à la fois positives et négatives tels que les regrets et la réalisation d'avoir commis une erreur (Bush et al., 2002, 2000; Cai et Padoa-Schioppa, 2012; Liu et al., 2016). Ensuite, le cortex orbitofrontal joue un rôle dans l'apprentissage du lien stimulus-rétroaction ainsi que dans l'intolérance au risque et à l'ambiguïté, ce qui favorise une meilleure performance à l'IGT (Abela et Yogita, 2012; Camille et al., 2011; Hsu et al., 2005; Ostlund et Balleine, 2007; Padoa-Schioppa et Assad, 2006) Finalement, l'hippocampe jouerait potentiellement un rôle dans la prise de décision en permettant la projection des conséquences d'un choix ainsi que la délibération; la comparaison des options qui s'offrent à l'individu (Buckner et Carroll, 2007; Gilbert et Wilson, 2007; Johnson et al., 2007; Redish, 2016). L'absence de différences pour ce qui est de la vitesse d'apprentissage à l'IGT laisse croire que, similairement aux résultats du WCST-64, l'apprentissage, bien que mobilisant le noyau caudé, ne dépend pas que de cette région, mais aussi du cortex orbitofrontal (Monchi et al., 2006; Shi et al., 2018). L'apprentissage basé sur le noyau caudé serait ainsi plus lié aux actions et à l'attrait des récompenses alors que celui provenant du cortex orbitofrontal serait lié à la rétroaction et à l'aversion au risque (Bechara et al., 1994; Dahmani et Bohbot, 2015; Packard et Knowlton, 2002). Ensuite, considérant que les apprenants spatiaux ont en moyenne un niveau d'activation inférieur dans le noyau caudé, mais supérieur dans le cortex orbitofrontal, le CCA ventral et l'hippocampe, il était attendu qu'ils prennent moins de risque tout en choisissant les options les plus payantes (Bohbot et al., 2007; Dahmani et Bohbot, 2015; Iaria et al., 2003; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Dans l'IGT, les options les plus payantes sont également les options les moins risquées, ce qui permet d'expliquer les scores nets et bruts accrus pour ce groupe. Le portrait est toutefois différent dans le cas du CCT, où les options les plus payantes étaient les plus risquées. Un facteur important à tenir en compte dans le CCT est la dimension émotionnelle fortement sollicitée. En effet, les participants utiliseraient la rétroaction immédiate positive pour déterminer quand s'arrêter. Comme aucune rétroaction négative n'est vécue avant la toute fin de l'essai, retourner une carte négative mettant fin à celui-ci, le rôle

des émotions aurait tendance à augmenter le nombre de cartes retournées (Buelow et Blaine, 2015; Figner et al., 2009). Ainsi, l'absence de résultats significatifs dans cette tâche laisse croire que la plus faible tolérance aux risques des apprenants spatiaux puisse être contrebalancée par une meilleure capacité à évaluer la rentabilité des choix dans le CCT et une plus grande sensibilité émotionnelle, expliquant l'absence de différence entre les groupes.

Une prise de risque plus grande chez les apprenants réponse était également suggérée par des études comportementales précédentes. Notamment, ces derniers se sont montrés plus à risque de consommer régulièrement du tabac ou du cannabis, ce qui est associé à des scores à l'IGT plus faibles (Bohbot et al., 2013; Mukherjee et Kable, 2014). Similairement, il a précédemment été observé que les apprenants réponses avaient plus de chance d'être joueur régulier de jeux-vidéo d'action, ce qui a également été associé à une prise de risque plus grande (Kühn et al., 2011; West et al., 2015, 2018). Des mesures de contrôle de ces variables ont toutefois été prises (maximum d'heures de jeux-vidéo par semaine et maximum de consommation de substances comme facteur d'inclusion) afin de minimiser l'interaction de telles variables avec la prise de risque, il y a donc peu de chances que ces variables expliquent les résultats obtenus. En somme, l'ensemble des résultats suggèrent que les apprenants réponse auraient une plus grande tolérance aux risques et que la rétroaction positive aurait un plus grand effet de capture attentionnelle.

5.5 Conclusions

Au cours de la présente étude, nous avons mesuré une meilleure performance dans des tâches de flexibilité cognitive, d'alternance de tâches et de mémoire de travail chez les utilisateurs de la stratégie de navigation réponse. L'interprétation des résultats par la neuroanatomie est permise par des études précédentes suggérant que les deux stratégies de navigations impliquent l'utilisation de circuits et de processus cognitifs différents (Bohbot et al., 2007; Konishi et Bohbot, 2013; West et al., 2018). Ces différents circuits sous-tendent différentes fonctions cognitives. Cela permet de prédire une performance différente entre apprenants spatiaux et réponse sur les fonctions soutenues par des circuits impliquant le noyau caudé ou l'hippocampe. Les résultats obtenus par cette étude permettent d'appuyer cette théorie. Par exemple, les apprenants réponse ayant généralement une plus grande activité

fonctionnelle et un plus grand volume de matière grise dans le noyau caudé, ces résultats convergent avec la théorie de Cools (2011). Selon cette dernière, les fonctions de haut niveau seraient modulées par le fonctionnement du striatum dorsal par sa connexion avec les régions préfrontales. De plus, une plus grande prise de risque mesurée chez les apprenants réponse pourrait appuyer l'idée que le striatum dorsal jouerait un rôle dans la prise de risque. Plus spécifiquement, la littérature suggère que ce rôle soit dans la négligence de la considération de la rétroaction négative lorsqu'elle est présentée en concurrence avec la rétroaction positive. Le cortex orbitofrontal, le CCA et l'hippocampe pourraient également ajouter à l'explication des différences trouvées, comme ils entrent en jeu dans différents aspects de la prise de décision. Cela expliquerait l'absence de différence entre les groupes dans une tâche à grande valeur émotionnelle, à l'instar des conclusions de Buelow et Blaine (2015). Les résultats sur la prise de décision sont également conformes avec des études précédentes suggérant que les apprenants réponse seraient plus à risque de dépendance au tabac, au cannabis et aux jeux-vidéo (Bohbot et al., 2013; West et al., 2015, 2018). La stratégie réponse a en effet été associée à une plus faible considération du risque, et ce, même en prévenant la contamination des données grâce au contrôle de ces variables.

L'étude actuelle comporte toutefois certaines limites. Premièrement, les connaissances en connectivité fonctionnelle selon la stratégie de navigation sont limitées, ce qui ne permet pas, bien que les résultats le suggèrent, d'attribuer les différences à une meilleure connectivité dopaminergique entre le striatum dorsal et le cortex préfrontal des apprenants réponse. Une étude comparant la connectivité fonctionnelle au repos des deux groupes de stratégie de navigation permettrait de mieux comprendre quelles sont les connexions qui sont particulièrement affectées par la stratégie de navigation, et donc de vérifier cette explication. Ensuite, la validité externe de l'alternance de tâche est plutôt limitée, une étude comportant des tâches de multitasking plus écologiques permettrait de mieux comprendre les implications pratiques de la capacité accrue d'alternance de tâches parmi les apprenants réponse. De plus, les inférences neuroanatomiques faites ici reposent entièrement sur des études précédentes. Bien que le lien entre la stratégie de navigation et l'activité fonctionnelle et le volume de matière grise du noyau caudé et de l'hippocampe soit fort, la part de variance non expliquée par la stratégie de navigation ajoute une part de bruit non-négligeable dans les données. Aussi, l'évaluation neuropsychologique effectuée n'était pas exhaustive, ce qui signifie que nous

n'avons aucuns moyens d'assurer l'absence de variable tierce, telle que l'intelligence, pouvant expliquer nos résultats. Une autre limite importante est que la préférence pour une stratégie ou pour une autre a été regroupée sous deux catégories. Dans la réalité, chaque individu se situerait plutôt sur un continuum allant de la forte préférence de la stratégie spatiale à une forte préférence de la stratégie réponse. Une tâche de navigation plaçant les participants sur une variable continue existe, mais n'a été validée qu'avec des participants âgés (Etchamendy, Konishi, Pike, Marighetto et Bohbot, 2012). Une tâche permettant de mieux refléter ce continuum chez de jeunes adultes devra être développée afin de mieux définir les relations entre les stratégies de navigation et les fonctions cognitives de haut niveau. Finalement, aucun des liens obtenus ne peut être considéré comme causal, l'étude étant de nature corrélationnelle. Une étude utilisant le programme d'entraînement de la mémoire spatiale (Konishi et al., 2011) serait nécessaire afin de comprendre l'impact causal de la stratégie de navigation sur le fonctionnement exécutif.

Les résultats présentés semblent appuyer l'idée que les apprenants réponse aient un meilleur fonctionnement exécutif. Cela laisse croire que, contrairement aux personnes âgées, la santé cognitive de jeunes adultes en santé ne serait pas affectée négativement par l'utilisation de la stratégie réponse. Le fonctionnement cognitif global mesuré par Konishi et ses collègues (2017) avec le Montreal Cognitive Assessment se veut une mesure globale de la cognition. Il est donc probable que les aspects non mesurés ici mais inclus dans la mesure de santé cognitive des aînés telle que la mémoire à long-terme, qui a précédemment été associée à l'hippocampe et à la stratégie spatiale (Bohbot et al., 2011; Burgess et al., 2002; Kühn et Gallinat, 2014). Cela signifie que l'intérêt de l'utilisation du programme d'intervention à la mémoire spatiale reste à démontrer pour une population de jeunes adultes en santé. Une étude similaire sur les adultes âgés pourrait ainsi être d'un grand intérêt, comme le fonctionnement exécutif permet de prédire le degré d'autonomie de ceux-ci (Jacus et Gély-Nargeot, 2014). Cela permettrait de mieux comprendre si le rôle de la stratégie réponse dans les fonctions exécutives demeure important à un âge plus avancé.

Bibliographie

- Aarts, E., Nusslein, A. A. M., Smittenaar, P., Helmich, R. C., Bloem, B. R. et Cools, R. (2014). Greater striatal responses to medication in Parkinson's disease are associated with better task-switching but worse reward performance. *Neuropsychologia*, 62, 390-397. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.023
- Abela, A. R. et Yogita, C. (2012). Dissociable contributions of the ventral hippocampus and orbitofrontal cortex to decision-making with a delayed or uncertain outcome. *European Journal of Neuroscience*, 37(4), 640-647. doi:10.1111/ejn.12071
- Albert, M. S., DeKosky, S. T., Dickson, D., Dubois, B., Feldman, H. H., Fox, N. C., ... Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia: The Journal of the Alzheimer's Association*, 7(3), 270-279. doi:10.1016/j.jalz.2011.03.008
- Alvarez, J. A. et Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes: A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17-42. doi:10.1007/s11065-006-9002-x
- Andersen, N. E. (2011). *Spatial memory training program: Using virtual reality as a tool to provide spatial memory training*. McGill University, Montréal.
- Andersen, N. E., Dahmani, L., Konishi, K. et Bohbot, V. D. (2012). Eye tracking, strategies, and sex differences in virtual navigation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 97(1), 81-89. doi:10.1016/j.nlm.2011.09.007

- Anderson, S. W., Damasio, H., Jones, R. D. et Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test Performance as a Measure of Frontal Lobe Damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(6), 909-922. doi:10.1080/01688639108405107
- Apostolova, L. G., Dutton, R. A., Dinov, I. D., Hayashi, K. M., Toga, A. W., Cummings, J. L. et Thompson, P. M. (2006). Conversion of Mild Cognitive Impairment to Alzheimer Disease Predicted by Hippocampal Atrophy Maps. *Archives of neurology*, 63(5), 693-699. doi:10.1001/archneur.63.5.693
- Aumont, E., Arguin, M., Bohbot, V. D. et West, G. L. (en révision). Increased flanker task and forward digit span performance in caudate-nucleus-dependent response strategies. *Brain and Cognition*, soumis.
- Aumont, E., Bohbot, V. D. et West, G. L. (2019). Spatial Learners Display Enhanced Oculomotor Performance. *Journal of Cognitive Psychology*, Sous presse.
- Bäckman, L., Karlsson, S., Fischer, H., Karlsson, P., Brehmer, Y., Rieckmann, A., ... Nyberg, L. (2011). Dopamine D1 receptors and age differences in brain activation during working memory. *Neurobiology of Aging*, 32(10), 1849-1856. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2009.10.018
- Baddeley, A. D. et Hitch, G. J. (1994). Developments in the Concept of Working Memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485. doi:10.1037/0894-4105.8.4.485
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive Accuracy and Intelligent Executive Function in the Brain and in Business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122-141. doi:10.1196/annals.1412.011

- Baler, R. D. et Volkow, N. D. (2006). Drug addiction: the neurobiology of disrupted self-control. *Trends in Molecular Medicine*, 12(12), 559-566.
doi:10.1016/j.molmed.2006.10.005
- Balleine, B. W., Delgado, M. R. et Hikosaka, O. (2007). The Role of the Dorsal Striatum in Reward and Decision-Making. *Journal of Neuroscience*, 27(31), 8161-8165.
doi:10.1523/JNEUROSCI.1554-07.2007
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H. et Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1), 7-15.
doi:10.1016/0010-0277(94)90018-3
- Bett, D., Murdoch, L. H., Wood, E. R. et Dudchenko, P. A. (2014). Hippocampus, delay discounting, and vicarious trial-and-error. *Hippocampus*, 25(5), 643-654.
doi:10.1002/hipo.22400
- Bohbot, V. D., Del Balso, D., Conrad, K., Konishi, K. et Leyton, M. (2013). Caudate nucleus-dependent navigational strategies are associated with increased use of addictive drugs: Substance Abuse and Spatial Memory. *Hippocampus*, 23(11), 973-984.
doi:10.1002/hipo.22187
- Bohbot, V. D., Gupta, M., Banner, H. et Dahmani, L. (2011). Caudate nucleus-dependent response strategies in a virtual navigation task are associated with lower basal cortisol and impaired episodic memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 96(2), 173-180. doi:10.1016/j.nlm.2011.04.007
- Bohbot, V. D., Iaria, G. et Petrides, M. (2004). Hippocampal Function and Spatial Memory: Evidence From Functional Neuroimaging in Healthy Participants and Performance of

- Patients With Medial Temporal Lobe Resections. *Neuropsychology*, 18(3), 418-425.
doi:10.1037/0894-4105.18.3.418
- Bohbot, V. D., Lerch, J., Thorndycraft, B., Iaria, G. et Zijdenbos, A. P. (2007). Gray Matter Differences Correlate with Spontaneous Strategies in a Human Virtual Navigation Task. *Journal of Neuroscience*, 27(38), 10078-10083. doi:10.1523/JNEUROSCI.1763-07.2007
- Bourque, P. et Beaudette, D. (1982). Étude psychométrique du questionnaire de dépression de Beck auprès d'un échantillon d'étudiants universitaires francophones. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue canadienne des sciences du comportement*, 14(3), 211. doi:10.1037/h0081254
- Bowen, F. P., Kamienny, R. S., Burns, M. M. et Yahr, M. D. (1975). Parkinsonism: Effects of levodopa treatment on concept formation. *Neurology*, 25(8), 701. doi:10.1212/WNL.25.8.701
- Brass, M. et von Cramon, Y. D. (2002). The Role of the Frontal Cortex in Task Preparation. *Cerebral Cortex*, 12(9), 908-914. doi:10.1093/cercor/12.9.908
- Brody, A. L., Mandelkern, M. A., Olmstead, R. E., Scheibal, D., Hahn, E., Shiraga, S., ... McCracken, J. T. (2006). Gene Variants of Brain Dopamine Pathways and Smoking-Induced Dopamine Release in the Ventral Caudate/Nucleus Accumbens. *Archives of General Psychiatry*, 63(7), 808-816. doi:10.1001/archpsyc.63.7.808
- Buckner, R. L. et Carroll, D. C. (2007). Self-projection and the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(2), 49-57. doi:10.1016/j.tics.2006.11.004
- Buelow, M. T. et Blaine, A. L. (2015). The assessment of risky decision making: A factor analysis of performance on the Iowa Gambling Task, Balloon Analogue Risk Task,

- and Columbia Card Task. *Psychological Assessment*, 27(3), 777.
doi:10.1037/a0038622
- Bunge, S. A., Kahn, I., Wallis, J. D., Miller, E. K. et Wagner, A. D. (2003). Neural Circuits Subservicing the Retrieval and Maintenance of Abstract Rules. *Journal of Neurophysiology*, 90(5), 3419-3428. doi:10.1152/jn.00910.2002
- Burgess, N., Maguire, E. A. et O'Keefe, J. (2002). The Human Hippocampus and Spatial and Episodic Memory. *Neuron*, 35(4), 625-641. doi:10.1016/S0896-6273(02)00830-9
- Bush, G., Luu, P. et Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 215-222. doi:10.1016/S1364-6613(00)01483-2
- Bush, G., Vogt, B. A., Holmes, J., Dale, A. M., Greve, D., Jenike, M. A. et Rosen, B. R. (2002). Dorsal anterior cingulate cortex: A role in reward-based decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(1), 523-528. doi:10.1073/pnas.012470999
- Cai, X. et Padoa-Schioppa, C. (2012). Neuronal Encoding of Subjective Value in Dorsal and Ventral Anterior Cingulate Cortex. *Journal of Neuroscience*, 32(11), 3791-3808. doi:10.1523/JNEUROSCI.3864-11.2012
- Callesen, M. B., Hansen, K. V., Gjedde, A., Linnet, J. et Møller, A. (2013). Dopaminergic and Clinical Correlates of Pathological Gambling in Parkinson's Disease: A Case Report. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7. doi:10.3389/fnbeh.2013.00095
- Camille, N., Tsuchida, A. et Fellows, L. K. (2011). Double Dissociation of Stimulus-Value and Action-Value Learning in Humans with Orbitofrontal or Anterior Cingulate Cortex

- Damage. *Journal of Neuroscience*, 31(42), 15048-15052.
doi:10.1523/JNEUROSCI.3164-11.2011
- Chatham, C. H., Frank, M. J. et Badre, D. (2014). Corticostriatal Output Gating during Selection from Working Memory. *Neuron*, 81(4), 930-942.
doi:10.1016/j.neuron.2014.01.002
- Cohen, J. (1977). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (Revised Edition)*. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-179060-8.50007-4
- Cools, R. (2006). Dopaminergic modulation of cognitive function-implications for l-DOPA treatment in Parkinson's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(1), 1-23.
doi:10.1016/j.neubiorev.2005.03.024
- Cools, R. (2011). Dopaminergic control of the striatum for high-level cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 21(3), 402-407. doi:10.1016/j.conb.2011.04.002
- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J. et Robbins, T. W. (2001). Enhanced or Impaired Cognitive Function in Parkinson's Disease as a Function of Dopaminergic Medication and Task Demands. *Cerebral Cortex*, 11(12), 1136-1143.
doi:10.1093/cercor/11.12.1136
- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J. et Robbins, T. W. (2003). l-Dopa medication remediates cognitive inflexibility, but increases impulsivity in patients with Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 41(11), 1431-1441. doi:10.1016/S0028-3932(03)00117-9
- Costa, A., Peppe, A., Dell'Agnello, G., Carlesimo, G. A., Murri, L., Bonuccelli, U. et Caltagirone, C. (2003). Dopaminergic Modulation of Visual-Spatial Working Memory

- in Parkinson's Disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 15(2), 55-66.
doi:10.1159/000067968
- Crescioni, W. A., Ehrlinger, J., Alquist, J. L., Conlon, K. E., Baumeister, R. F., Schatschneider, C. et Dutton, G. R. (2011). High trait self-control predicts positive health behaviors and success in weight loss. *Journal of Health Psychology*, 16(5), 750-759. doi:10.1177/1359105310390247
- Crone, E. A., Wendelken, C., Donohue, S. E. et Bunge, S. A. (2006). Neural Evidence for Dissociable Components of Task-switching. *Cerebral Cortex*, 16(4), 475-486. doi:10.1093/cercor/bhi127
- Dahmani, L. et Bohbot, V. D. (2015). Dissociable contributions of the prefrontal cortex to hippocampus- and caudate nucleus-dependent virtual navigation strategies. *Neurobiology of Learning and Memory*, 117, 42-50. doi:10.1016/j.nlm.2014.07.002
- Daw, N. D., Niv, Y. et Dayan, P. (2005). Uncertainty-based competition between prefrontal and dorsolateral striatal systems for behavioral control. *Nature Neuroscience*, 8(12), 1704-1711. doi:10.1038/nn1560
- Denson, T. F., Capper, M. M., Oaten, M., Friese, M. et Schofield, T. P. (2011). Self-control training decreases aggression in response to provocation in aggressive individuals. *Journal of Research in Personality*, 45(2), 252-256. doi:10.1016/j.jrp.2011.02.001
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Doeller, C. F., King, J. A. et Burgess, N. (2008). Parallel striatal and hippocampal systems for landmarks and boundaries in spatial memory. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences of the United States of America*, 105(15), 5915-5920.
doi:10.1073/pnas.0801489105
- Drisdelle, B. L., Konishi, K., Diarra, M., Bohbot, V. D., Jolicoeur, P. et West, G. L. (2017). Electrophysiological evidence for enhanced attentional deployment in spatial learners. *Experimental Brain Research*, 235(5), 1387-1395. doi:10.1007/s00221-017-4884-9
- Eichenbaum, H. et Cohen, N. J. (2014). Can We Reconcile the Declarative Memory and Spatial Navigation Views on Hippocampal Function? *Neuron*, 83(4), 764-770. doi:10.1016/j.neuron.2014.07.032
- Eisenberg, D., Gollust, S. E., Golberstein, E. et Hefner, J. L. (2007). Prevalence and Correlates of Depression, Anxiety, and Suicidality Among University Students. *American Journal of Orthopsychiatry*, 77(4), 534-542. doi:10.1037/0002-9432.77.4.534
- Eslinger, P. J. et Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation. *Neurology*, 35(12), 1731. doi:10.1212/WNL.35.12.1731
- Etchamendy, N., Konishi, K., Pike, G. B., Marighetto, A. et Bohbot, V. D. (2012). Evidence for a virtual human analog of a rodent relational memory task: A study of aging and fMRI in young adults. *Hippocampus*, 22(4), 869-880. doi:10.1002/hipo.20948
- Everett, J., Lavoie, K., Gagnon, J.-F. et Gosselin, N. (2001). Performance of patients with schizophrenia on the Wisconsin Card Sorting Test (WCST). *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 26(2), 123.
- Everitt, B. J. et Robbins, T. W. (2005). Neural systems of reinforcement for drug addiction: from actions to habits to compulsion. *Nature Neuroscience*, 8(11), 1481-1489. doi:10.1038/nn1579

- Figner, B., Mackinlay, R. J., Wilkening, F. et Weber, E. U. (2009). Affective and deliberative processes in risky choice: age differences in risk taking in the Columbia Card Task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(3), 709. doi:10.1037/a0014983
- Frank, M. J., Samanta, J., Moustafa, A. A. et Sherman, S. J. (2007). Hold Your Horses: Impulsivity, Deep Brain Stimulation, and Medication in Parkinsonism. *Science*, 318(5854), 1309-1312. doi:10.1126/science.1146157
- Freeston, M. H., Ladouceur, R., Thibodeau, N., Gagnon, F. et et al. (1994). L'inventaire d'anxiété de Beck. Propriétés psychométriques d'une traduction française. [The Beck Anxiety Inventory: Psychometric properties of a French translation.]. *L'Encéphale: Revue de psychiatrie clinique biologique et thérapeutique*, 20(1), 47-55.
- Gazzaley, A., Rissman, J. et D'Esposito, M. (2004). Functional connectivity during working memory maintenance. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(4), 580-599. doi:10.3758/CABN.4.4.580
- Geva, S., Cooper, J. M., Gadian, D. G., Mishkin, M. et Vargha-Khadem, F. (2016). Impairment on a self-ordered working memory task in patients with early-acquired hippocampal atrophy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 20, 12-22. doi:10.1016/j.dcn.2016.06.001
- Gilbert, D. T. et Wilson, T. D. (2007). Propection: Experiencing the Future. *Science*, 317(5843), 1351-1354. doi:10.1126/science.1144161
- Goodrich, R. I. et Yonelinas, A. P. (2016). The medial temporal lobe supports sensing-based visual working memory. *Neuropsychologia*, 89, 485-494. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.011

- Gotham, A. M., Brown, R. G. et Marsden, C. D. (1988). 'Frontal' Cognitive Function in Patients with Parkinson's Disease 'on'and 'off' Levodopa. *Brain*, *111*(2), 299-321. doi:10.1093/brain/111.2.299
- Goulet-Kennedy, J., Labbe, S. et Fecteau, S. (2016). The involvement of the striatum in decision making. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *18*(1), 55-63.
- Greve, K. W. (2001). The WCST-64: A Standardized Short-Form of the Wisconsin Card Sorting Test. *The Clinical Neuropsychologist*, *15*(2), 228-234. doi:10.1076/clin.15.2.228.1901
- Gul, A., Yousaf, J. et Ahmad, H. (2017). Frontal-subcortical defects correlate with task switching deficits in Parkinson's disease. *Neurosciences*, *22*(3), 224-227. doi:10.17712/nsj.2017.3.20160572
- Hayes, A. E., Davidson, M. C., Keele, S. W. et Rafal, R. D. (1998). Toward a Functional Analysis of the Basal Ganglia. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(2), 178-198. doi:10.1162/089892998562645
- Holroyd, C. B. et Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, *109*(4), 679-709. doi:10.1037/0033-295X.109.4.679
- Hosoda, C., Hanakawa, T., Nariai, T., Ohno, K. et Honda, M. (2012). Neural mechanisms of language switch. *Journal of Neurolinguistics*, *25*(1), 44-61. doi:10.1016/j.jneuroling.2011.08.007
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D. et Camerer, C. F. (2005). Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision-Making. *Science*, *310*(5754), 1680-1683. doi:10.1126/science.1115327

- Hulst, H. E., Goldschmidt, T., Nitsche, M. A., Wit, S. J. de, Heuvel, O. A. van den, Barkhof, F., ... Geurts, J. J. G. (2017). rTMS affects working memory performance, brain activation and functional connectivity in patients with multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 88(5), 386-394. doi:10.1136/jnnp-2016-314224
- Iaria, G., Petrides, M., Dagher, A., Pike, B. et Bohbot, V. D. (2003). Cognitive Strategies Dependent on the Hippocampus and Caudate Nucleus in Human Navigation: Variability and Change with Practice. *The Journal of Neuroscience*, 23(13), 5945-5952. doi:10.1523/JNEUROSCI.23-13-05945.2003
- Jacus, J.-P. et Gély-Nargeot, M.-C. (2014). Impact du syndrome dysexécutif sur l'autonomie dans la maladie d'Alzheimer débutante et le trouble léger de la cognition. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, 12(1), 101-112. doi:10.1684/pnv.2014.0449
- Jeneson, A. et Squire, L. R. (2012). Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning & Memory*, 19(1), 15-25. doi:10.1101/lm.024018.111
- Jimura, K., Cazalis, F., Stover, E. R. S. et Poldrack, R. A. (2014). The neural basis of task switching changes with skill acquisition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. doi:10.3389/fnhum.2014.00339
- Johnson, A., van der Meer, M. A. et Redish, A. D. (2007). Integrating hippocampus and striatum in decision-making. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(6), 692-697. doi:10.1016/j.conb.2008.01.003

- Julian, L. J. (2011). Measures of anxiety: State-Trait Anxiety Inventory (STAI), Beck Anxiety Inventory (BAI), and Hospital Anxiety and Depression Scale-Anxiety (HADS-A). *Arthritis Care & Research*, 63(S11), S467-S472. doi:10.1002/acr.20561
- Kalivas, P. W. et Volkow, N. D. (2005). The Neural Basis of Addiction: A Pathology of Motivation and Choice. *American Journal of Psychiatry*, 162(8), 1403-1413. doi:10.1176/appi.ajp.162.8.1403
- Kamiński, J., Sullivan, S., Chung, J. M., Ross, I. B., Mamelak, A. N. et Rutishauser, U. (2017). Persistently active neurons in human medial frontal and medial temporal lobe support working memory. *Nature Neuroscience*, 20(4), 590-601. doi:10.1038/nn.4509
- Kawabe, K., Horiuchi, F., Ochi, M., Oka, Y. et Ueno, S. (s.d.). Internet addiction: Prevalence and relation with mental states in adolescents. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 70(9), 405-412. doi:10.1111/pcn.12402
- Khazaal, Y., Billieux, J., Thorens, G., Khan, R., Louati, Y., Scarlatti, E., ... Zullino, D. (2008). French Validation of the Internet Addiction Test. *CyberPsychology & Behavior*, 11(6), 703-706. doi:10.1089/cpb.2007.0249
- Kibby, M. Y., Schmitter-Edgecombe, M. et Long, C. J. (1998). Ecological Validity of Neuropsychological Tests: Focus on the California Verbal Learning Test and the Wisconsin Card Sorting Test. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 13(6), 523-534. doi:10.1016/S0887-6177(97)00038-3
- Kish, S. J., Shannak, K. et Hornykiewicz, O. (1988). Uneven Pattern of Dopamine Loss in the Striatum of Patients with Idiopathic Parkinson's Disease. *New England Journal of Medicine*, 318(14), 876-880. doi:10.1056/NEJM198804073181402

- Knowlton, B. J., Mangels, J. A. et Squire, L. R. (1996). A neostriatal habit learning system in humans. *Science*, 273(5280), 1399-1402. doi:10.1126/science.273.5280.1399
- Konishi, K., Bhat, V., Banner, H., Poirier, J., Joobar, R. et Bohbot, V. D. (2016). APOE2 Is Associated with Spatial Navigational Strategies and Increased Gray Matter in the Hippocampus. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. doi:10.3389/fnhum.2016.00349
- Konishi, K. et Bohbot, V. D. (2013). Spatial navigational strategies correlate with gray matter in the hippocampus of healthy older adults tested in a virtual maze. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 5. doi:10.3389/fnagi.2013.00001
- Konishi, K., Kurdi, V., Dahmani, L., Sham, R., Andersen, N. E., Bherer, L. et Bohbot, V. D. (2011). A Spatial Memory Intervention Program Increases Grey Matter in the Hippocampus and Neocortex. *Gerontologist*, 51, 488-489.
- Konishi, K., Mckenzie, S., Etchamendy, N., Roy, S. et Bohbot, V. D. (2017). Hippocampus-dependent spatial learning is associated with higher global cognition among healthy older adults. *Neuropsychologia*, 106, 310-321. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2017.09.025
- Kühn, S. et Gallinat, J. (2014). Segregating cognitive functions within hippocampal formation: A quantitative meta-analysis on spatial navigation and episodic memory. *Human Brain Mapping*, 35(4), 1129-1142. doi:10.1002/hbm.22239
- Kühn, S., Romanowski, A., Schilling, C., Lorenz, R., Mörsen, C., Seiferth, N., ... Gallinat, J. (2011). The neural basis of video gaming. *Translational Psychiatry*, 1(11), e53. doi:10.1038/tp.2011.53

- Kumar, S., Joseph, S., Gander, P. E., Barascud, N., Halpern, A. R. et Griffiths, T. D. (2016). A Brain System for Auditory Working Memory. *Journal of Neuroscience*, 36(16), 4492-4505. doi:10.1523/JNEUROSCI.4341-14.2016
- Kwon, M., Kim, D.-J., Cho, H. et Yang, S. (2013). The Smartphone Addiction Scale: Development and Validation of a Short Version for Adolescents. *PLOS ONE*, 8(12), e83558. doi:10.1371/journal.pone.0083558
- Landau, S. M., Lal, R., O'Neil, J. P., Baker, S. et Jagust, W. J. (2009). Striatal Dopamine and Working Memory. *Cerebral Cortex*, 19(2), 445-454. doi:10.1093/cercor/bhn095
- Lee, A. S., Duman, R. S. et Pittenger, C. (2008). A double dissociation revealing bidirectional competition between striatum and hippocampus during learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(44), 17163-17168. doi:10.1073/pnas.0807749105
- Lees, A. J. et Smith, E. (1983). Cognitive Deficits in the Early Stages of Parkinson's Disease. *Brain*, 106(2), 257-270. doi:10.1093/brain/106.2.257
- Lehto, J. E. et Elorinne, E. (2003). Gambling as an Executive Function Task. *Applied Neuropsychology*, 10(4), 234-238. doi:10.1207/s15324826an1004_5
- Lerch, J. P., Yiu, A. P., Martinez-Canabal, A., Pekar, T., Bohbot, V. D., Frankland, P. W., ... Sled, J. G. (2011). Maze training in mice induces MRI-detectable brain shape changes specific to the type of learning. *NeuroImage*, 54(3), 2086-2095. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.09.086
- Lessard, F.-E. (2016, 5 octobre). Enquete Sur La Sante Psychologique Etudiante. Fédération des Associations Étudiantes du Campus de l'Université de Montréal. Repéré à

<http://www.faecum.qc.ca/ressources/avis-memoires-recherches-et-positions-1/enquete-sur-la-sante-psychologique-etudiante>

- Levy, R., Friedman, H. R., Davachi, L. et Goldman-Rakic, P. S. (1997). Differential Activation of the Caudate Nucleus in Primates Performing Spatial and Nonspatial Working Memory Tasks. *Journal of Neuroscience*, 17(10), 3870-3882. doi:10.1523/JNEUROSCI.17-10-03870.1997
- Lewis, S. J. G., Dove, A., Robbins, T. W., Barker, R. A. et Owen, A. M. (2004). Striatal contributions to working memory: a functional magnetic resonance imaging study in humans. *The European Journal of Neuroscience*, 19(3), 755-760.
- Lewis, S. J. G., Slabosz, A., Robbins, T. W., Barker, R. A. et Owen, A. M. (2005). Dopaminergic basis for deficits in working memory but not attentional set-shifting in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 43(6), 823-832. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.10.001
- Liu, Z., Li, L., Zheng, L., Hu, Z., Roberts, I. D., Guo, X. et Yang, G. (2016). The neural basis of regret and relief during a sequential risk-taking task. *Neuroscience*, 327, 136-145. doi:10.1016/j.neuroscience.2016.04.018
- Lopez-Fernandez, O. (2017). Short version of the Smartphone Addiction Scale adapted to Spanish and French: Towards a cross-cultural research in problematic mobile phone use. *Addictive Behaviors*, 64, 275-280. doi:10.1016/j.addbeh.2015.11.013
- Los, S. A. (1996). On the origin of mixing costs: Exploring information processing in pure and mixed blocks of trials. *Acta Psychologica*, 94(2), 145-188. doi:10.1016/0001-6918(95)00050-X

- Lu, M.-T., Preston, J. B. et Strick, P. L. (1994). Interconnections between the prefrontal cortex and the premotor areas in the frontal lobe. *Journal of Comparative Neurology*, 341(3), 375-392. doi:10.1002/cne.903410308
- Lumley, F. H. et Calhoun, S. W. (1934). Memory span for words presented auditorially. *Journal of Applied Psychology*, 18(6), 773-784. doi:10.1037/h0071977
- MacDonald, A. A., Seergobin, K. N., Tamjeedi, R., Owen, A. M., Provost, J.-S., Monchi, O., ... MacDonald, P. A. (2014). Examining dorsal striatum in cognitive effort using Parkinson's disease and fMRI. *Annals of Clinical and Translational Neurology*, 1(6), 390-400. doi:10.1002/acn3.62
- MacIntyre, P. D. et Gardner, R. C. (1991). Language Anxiety: Its Relationship to Other Anxieties and to Processing in Native and Second Languages*. *Language Learning*, 41(4), 513-534. doi:10.1111/j.1467-1770.1991.tb00691.x
- Marklund, P., Larsson, A., Elgh, E., Linder, J., Riklund, K. Å., Forsgren, L. et Nyberg, L. (2009). Temporal dynamics of basal ganglia under-recruitment in Parkinson's disease: transient caudate abnormalities during updating of working memory. *Brain*, 132(2), 336-346. doi:10.1093/brain/awn309
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. et Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Monchi, O., Petrides, M., Doyon, J., Postuma, R. B., Worsley, K. et Dagher, A. (2004). Neural Bases of Set-Shifting Deficits in Parkinson's Disease. *Journal of Neuroscience*, 24(3), 702-710. doi:10.1523/JNEUROSCI.4860-03.2004

- Monchi, O., Petrides, M., Mejia-Constrain, B. et Strafella, A. P. (2007). Cortical activity in Parkinson's disease during executive processing depends on striatal involvement. *Brain*, 130(1), 233-244. doi:10.1093/brain/awl326
- Monchi, O., Petrides, M., Petre, V., Worsley, K. et Dagher, A. (2001). Wisconsin Card Sorting Revisited: Distinct Neural Circuits Participating in Different Stages of the Task Identified by Event-Related Functional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Neuroscience*, 21(19), 7733-7741. doi:10.1523/JNEUROSCI.21-19-07733.2001
- Monchi, O., Petrides, M., Strafella, A. P., Worsley, K. J. et Doyon, J. (2006). Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Annals of Neurology*, 59(2), 257-264. doi:10.1002/ana.20742
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134-140. doi:10.1016/S1364-6613(03)00028-7
- Moretti, L., Semenza, C. et Vallesi, A. (2018). General Slowing and Education Mediate Task Switching Performance Across the Life-Span. *Frontiers in Psychology*, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.00630
- Moritz, S., Birkner, C., Kloss, M., Jahn, H., Hand, I., Haasen, C. et Krausz, M. (2002). Executive functioning in obsessive-compulsive disorder, unipolar depression, and schizophrenia. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17(5), 477-483. doi:10.1016/S0887-6177(01)00130-5
- Mukherjee, D. et Kable, J. W. (2014). Value-Based Decision Making in Mental Illness: A Meta-Analysis. *Clinical Psychological Science*, 2(6), 767-782. doi:10.1177/2167702614531580

- Müller, N. C. J., Konrad, B. N., Kohn, N., Muñoz-López, M., Czisch, M., Fernández, G. et Dresler, M. (2018). Hippocampal–caudate nucleus interactions support exceptional memory performance. *Brain Structure and Function*, 223(3), 1379-1389. doi:10.1007/s00429-017-1556-2
- Nagano-Saito, A., Leyton, M., Monchi, O., Goldberg, Y. K., He, Y. et Dagher, A. (2008). Dopamine Depletion Impairs Frontostriatal Functional Connectivity during a Set-Shifting Task. *Journal of Neuroscience*, 28(14), 3697-3706. doi:10.1523/JNEUROSCI.3921-07.2008
- Nyberg, C., Banaschewski, T., Bokde, A. L., Büchel, C., Conrod, P., Flor, H., ... Imagen Consortium. (2014). DRD2/ANKK1 Polymorphism Modulates the Effect of Ventral Striatal Activation on Working Memory Performance. *Neuropsychopharmacology*, 39(10), 2357-2365. doi:10.1038/npp.2014.83
- O'Keefe, J. et Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford; New York : Clarendon Press ; Oxford University Press.
- Olesen, P. J., Westerberg, H. et Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79. doi:10.1038/nn1165
- Oliveira, F. T. P., McDonald, J. J. et Goodman, D. (2007). Performance Monitoring in the Anterior Cingulate is Not All Error Related: Expectancy Deviation and the Representation of Action-Outcome Associations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), 1994-2004. doi:10.1162/jocn.2007.19.12.1994

- Ophir, E., Nass, C. et Wagner, A. D. (2009). Cognitive control in media multitaskers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37), 15583-15587. doi:10.1073/pnas.0903620106
- Ostlund, S. B. et Balleine, B. W. (2007). Orbitofrontal Cortex Mediates Outcome Encoding in Pavlovian But Not Instrumental Conditioning. *Journal of Neuroscience*, 27(18), 4819-4825. doi:10.1523/JNEUROSCI.5443-06.2007
- Packard, M. G. (1999). Glutamate infused posttraining into the hippocampus or caudate-putamen differentially strengthens place and response learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(22), 12881-12886. doi:10.1073/pnas.96.22.12881
- Packard, M. G. et Knowlton, B. J. (2002). Learning and Memory Functions of the Basal Ganglia. *Annual Review of Neuroscience*, 25(1), 563-593. doi:10.1146/annurev.neuro.25.112701.142937
- Padoa-Schioppa, C. et Assad, J. A. (2006). Neurons in the orbitofrontal cortex encode economic value. *Nature*, 441(7090), 223-226. doi:10.1038/nature04676
- Podell, J. E., Sambataro, F., Murty, V. P., Emery, M. R., Tong, Y., Das, S., ... Mattay, V. S. (2012). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory updating. *NeuroImage*, 62(3), 2151-2160. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.066
- Poirier, J., Bertrand, P., Poirier, J., Kogan, S., Gauthier, S., Poirier, J., ... Davignon, J. (1993). Apolipoprotein E polymorphism and Alzheimer's disease. *The Lancet*, 342(8873), 697-699. doi:10.1016/0140-6736(93)91705-Q
- Porrirt, M., Stanic, D., Finkelstein, D., Batchelor, P., Lockhart, S., Hughes, A., ... Howells, D. (2005). Dopaminergic innervation of the human striatum in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 20(7), 810-818. doi:10.1002/mds.20399

- Prehn-Kristensen, A., Krauel, K., Hinrichs, H., Fischer, J., Malecki, U., Schuetze, H., ... Baving, L. (2011). Methylphenidate does not improve interference control during a working memory task in young patients with attention-deficit hyperactivity disorder. *Brain Research, 1388*, 56-68. doi:10.1016/j.brainres.2011.02.075
- Provost, J.-S., Petrides, M. et Monchi, O. (2010). Dissociating the role of the caudate nucleus and dorsolateral prefrontal cortex in the monitoring of events within human working memory. *European Journal of Neuroscience, 32*(5), 873-880. doi:10.1111/j.1460-9568.2010.07333.x
- Provost, J.-S., Petrides, M., Simard, F. et Monchi, O. (2012). Investigating the Long-Lasting Residual Effect of a Set Shift on Frontostriatal Activity. *Cerebral Cortex, 22*(12), 2811-2819. doi:10.1093/cercor/bhr358
- Rangel, A., Camerer, C. et Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(7), 545-556. doi:10.1038/nrn2357
- Ready, R. E., Stierman, L. et Paulsen, J. S. (2001). Ecological Validity of Neuropsychological and Personality Measures of Executive Functions. *The Clinical Neuropsychologist, 15*(3), 314-323. doi:10.1076/clin.15.3.314.10269
- Redish, A. D. (2016). Vicarious trial and error. *Nature Reviews Neuroscience, 17*(3), 147-159. doi:10.1038/nrn.2015.30
- Riggs, N. R., Spruijt-Metz, D., Sakuma, K.-L., Chou, C.-P. et Pentz, M. A. (2010). Executive Cognitive Function and Food Intake in Children. *Journal of Nutrition Education and Behavior, 42*(6), 398-403. doi:10.1016/j.jneb.2009.11.003

- Robbins, T. W. (1996). Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 351(1346), 1463-1471. doi:10.1098/rstb.1996.0131
- Robbins, T. W. et Everitt, B. J. (2002). Limbic-Striatal Memory Systems and Drug Addiction. *Neurobiology of Learning and Memory*, 78(3), 625-636. doi:10.1006/nlme.2002.4103
- Robinson, A. L., Heaton, R. K., Lehman, R. A. et Stilson, D. W. (1980). The utility of the Wisconsin Card Sorting Test in detecting and localizing frontal lobe lesions. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 48(5), 605-614. doi:10.1037/0022-006X.48.5.605
- Rogers, R. D., Andrews, T. C., Grasby, P. M., Brooks, D. J. et Robbins, T. W. (2000). Contrasting Cortical and Subcortical Activations Produced by Attentional-Set Shifting and Reversal Learning in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 142-162. doi:10.1162/089892900561931
- Rogers, R. D. et Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231. doi:10.1037/0096-3445.124.2.207
- Ruge, H. et Wolfensteller, U. (2016). Distinct contributions of lateral orbito-frontal cortex, striatum, and fronto-parietal network regions for rule encoding and control of memory-based implementation during instructed reversal learning. *NeuroImage*, 125, 1-12. doi:10.1016/j.neuroimage.2015.10.005
- Rushworth, M. f. s., Hadland, K. A., Paus, T. et Sipila, P. K. (2002). Role of the Human Medial Frontal Cortex in Task Switching: A Combined fMRI and TMS Study. *Journal of Neurophysiology*, 87(5), 2577-2592. doi:10.1152/jn.2002.87.5.2577

- Samejima, K., Ueda, Y., Doya, K. et Kimura, M. (2005). Representation of Action-Specific Reward Values in the Striatum. *Science*, 310(5752), 1337-1340. doi:10.1126/science.1115270
- Schouwenburg, M. R. van, Ouden, H. E. M. den et Cools, R. (2010). The Human Basal Ganglia Modulate Frontal-Posterior Connectivity during Attention Shifting. *Journal of Neuroscience*, 30(29), 9910-9918. doi:10.1523/JNEUROSCI.11111-10.2010
- Shi, Y., Wolfensteller, U., Schubert, T. et Ruge, H. (2018). When global rule reversal meets local task switching: The neural mechanisms of coordinated behavioral adaptation to instructed multi-level demand changes. *Human Brain Mapping*, 39(2), 735-746. doi:10.1002/hbm.23878
- Shohamy, D. et Turk-Browne, N. B. (2013). Mechanisms for widespread hippocampal involvement in cognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(4), 1159-1170. doi:10.1037/a0034461
- Shohamy, Daphna et Wagner, A. D. (2008). Integrating Memories in the Human Brain: Hippocampal-Midbrain Encoding of Overlapping Events. *Neuron*, 60(2), 378-389. doi:10.1016/j.neuron.2008.09.023
- Simioni, A. C., Dagher, A. et Fellows, L. K. (2017). Effects of levodopa on corticostriatal circuits supporting working memory in Parkinson's disease. *Cortex*, 93, 193-205. doi:10.1016/j.cortex.2017.05.021
- Stelzel, C., Basten, U. et Fiebach, C. J. (2011). Functional Connectivity Separates Switching Operations in the Posterior Lateral Frontal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3529-3539. doi:10.1162/jocn_a_00062

- Stoet, G., O'Connor, D. B., Conner, M. et Laws, K. R. (2013). Are women better than men at multi-tasking? *BMC Psychology*, *1*, 18. doi:10.1186/2050-7283-1-18
- Takeuchi, H., Taki, Y., Nouchi, R., Hashizume, H., Sekiguchi, A., Kotozaki, Y., ... Kawashima, R. (2015). Working memory training impacts the mean diffusivity in the dopaminergic system. *Brain Structure and Function*, *220*(6), 3101-3111. doi:10.1007/s00429-014-0845-2
- Tohgi, H., Takahashi, S., Kato, E., Homma, A., Rie Niina, Sasaki, K., ... Sasaki, M. (1997). Reduced size of right hippocampus in 39- to 80-year-old normal subjects carrying the apolipoprotein E ϵ 4 allele. *Neuroscience Letters*, *236*(1), 21-24. doi:10.1016/S0304-3940(97)00743-X
- Vaghi, M. M., Vértés, P. E., Kitzbichler, M. G., Apergis-Schoute, A. M., van der Flier, F. E., Fineberg, N. A., ... Robbins, T. W. (2017). Specific Frontostriatal Circuits for Impaired Cognitive Flexibility and Goal-Directed Planning in Obsessive-Compulsive Disorder: Evidence From Resting-State Functional Connectivity. *Biological Psychiatry*, *81*(8), 708-717. doi:10.1016/j.biopsych.2016.08.009
- Vo, A., Seergobin, K. N. et MacDonald, P. A. (2017). Effects of levodopa on stimulus-response learning versus response selection in healthy young adults. *Behavioural Brain Research*, *317*, 553-561. doi:10.1016/j.bbr.2016.10.019
- Voermans, N. C., Petersson, K. M., Daudey, L., Weber, B., Van Spaendonck, K. P., Kremer, H. P. H. et Fernández, G. (2004). Interaction between the human hippocampus and the caudate nucleus during route recognition. *Neuron*, *43*(3), 427-435. doi:10.1016/j.neuron.2004.07.009

- Volkow, N. D., Fowler, J. S., Wang, G.-J., Swanson, J. M. et Telang, F. (2007). Dopamine in Drug Abuse and Addiction: Results of Imaging Studies and Treatment Implications. *Archives of Neurology*, 64(11), 1575. doi:10.1001/archneur.64.11.1575
- Wager, T. D., Jonides, J. et Reading, S. (2004). Neuroimaging studies of shifting attention: a meta-analysis. *NeuroImage*, 22(4), 1679-1693. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.03.052
- Weinberger, D. R., Berman, K. F. et Zec, R. F. (1986). Physiologic Dysfunction of Dorsolateral Prefrontal Cortex in Schizophrenia: I. Regional Cerebral Blood Flow Evidence. *Archives of General Psychiatry*, 43(2), 114-124. doi:10.1001/archpsyc.1986.01800020020004
- West, G. L., Drisdelle, B. L., Konishi, K., Jackson, J., Jolicoeur, P. et Bohbot, V. D. (2015). Habitual action video game playing is associated with caudate nucleus-dependent navigational strategies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1808), 20142952-20142952. doi:10.1098/rspb.2014.2952
- West, G. L., Konishi, K., Diarra, M., Benady-Chorney, J., Drisdelle, B. L., Dahmani, L., ... Bohbot, V. D. (2018). Impact of video games on plasticity of the hippocampus. *Molecular Psychiatry*. doi:10.1038/mp.2017.155
- Woods, D. L., Kishiyama, M. M., Yund, E. W., Herron, T. J., Edwards, B., Poliva, O., ... Reed, B. (2011). Improving digit span assessment of short-term verbal memory. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(1), 101-111. doi:10.1080/13803395.2010.493149
- Wylie, G. et Allport, A. (2000). Task switching and the measurement of “switch costs”. *Psychological Research*, 63(3-4), 212-233. doi:10.1007/s004269900003

Yin, H. H. et Knowlton, B. J. (2006). The role of the basal ganglia in habit formation. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(6), 464-476. doi:10.1038/nrn1919

Zink, C. F., Pagnoni, G., Martin, M. E., Dhamala, M. et Berns, G. S. (2003). Human Striatal Response to Salient Nonrewarding Stimuli. *Journal of Neuroscience*, 23(22), 8092-8097. doi:10.1523/JNEUROSCI.23-22-08092.2003

ANNEXE

1. Entrevue semi-standardisée du 4 sur 8

RAPPORT VERBAL

Cette étape est TRÈS importante. Vous devez prendre en note **MOT POUR MOT** ce que le participant vous dit, et ne pas interpréter ce qu'il dit et l'écrire. Votre propre interprétation peut être incluse PAR LA SUITE, et cela pourrait également être fait par une autre personne pour évaluer la fiabilité inter-juges.

1. « *Comment avez-vous fait pour apprendre quelles allées emprunter et lesquelles éviter?* »

Laissez le participant répondre jusqu'à ce qu'il ait fini. Si le participant mentionne un ou des repères, allez plus loin : « *Lesquels?* » Si le participant ne mentionne qu'un seul repère: « *Est-ce le seul que vous avez utilisé?* »

« *Pouvez-vous me dire, étape par étape, qu'est-ce qui se passait dans votre tête alors que vous faisiez la tâche? Est-ce que vous pouvez me donner un exemple concret?* »

Si aucun repère n'est mentionné : « *Pouvez-vous être plus spécifique par rapport à la façon dont vous avez [numéroté] les allées? Où est-ce que votre [séquence] commençait?* »

« *Pouvez-vous me dire, étape par étape, qu'est-ce qui se passait dans votre tête alors que vous faisiez la tâche? Est-ce que vous pouvez me donner un exemple concret?* »

2. « *Avez-vous utilisé cette tactique durant tous les essais, du début à la fin?* »

Si le participant affirme qu'il a changé de méthode: « *Comment l'avez-vous changée? À quel moment?* »

2. Inventaire de Beck pour l'anxiété

Voici une liste de symptômes courants dus à l'anxiété. Veuillez lire chaque symptôme attentivement. Indiquez, en encerclant le chiffre approprié, à quel degré vous avez été affecté par chacun de ces symptômes au cours de la dernière semaine, aujourd'hui inclus.

1. Sensations d'engourdissement ou de picotement
2. Bouffées de chaleur
3. «Jambes molles», tremblements dans les jambes
4. Incapacité de se détendre
5. Crainte que le pire ne survienne
6. Étourdissement ou vertige, désorientation
7. Battements cardiaques marqués ou rapides
8. Mal assuré(e), manque d'assurance dans mes mouvements
9. Terrifié(e)
10. Nervosité
11. Sensation d'étouffement
12. Tremblements des mains
13. Tremblements, chancelant(e)
14. Crainte de perdre le contrôle de soi
15. Respiration difficile
16. Peur de mourir
17. Sensation de peur, «avoir la frousse»
18. Indigestion ou malaise abdominal
19. Sensation de défaillance ou d'évanouissement
20. Rougissement du visage
21. Transpiration (non associée à la chaleur)

0 - Pas du tout

1 - Un peu cela ne m'a pas beaucoup dérangé(e)

2 - Modérément c'était très déplaisant mais supportable

3 - Beaucoup je pouvais à peine le supporter

3. Inventaire de dépression de Beck

BDI

Ce questionnaire contient des groupes d'énoncés. Lisez attentivement tous les énoncés pour chaque groupe, puis sélectionnez le chiffre correspondant à l'énoncé qui décrit le mieux la façon dont vous vous êtes senti(e) au cours des sept derniers jours, aujourd'hui compris. Si plusieurs énoncés semblent convenir également bien, sélectionnez chacun d'eux. Veuillez vous assurer d'avoir lu tous les énoncés de chaque groupe avant d'effectuer votre choix.

* 3. Sélectionnez l'option qui vous décrit le mieux

- 0 Je ne me sens pas triste
- 1 Je me sens triste
- 2 Je suis tout le temps triste et je ne peux m'en sortir
- 3 Je suis si triste que je ne peux le supporter

* 4. .

- 0 Je ne suis pas particulièrement découragé(e) par l'avenir
- 1 Je me sens découragé(e) par l'avenir
- 2 J'ai l'impression de n'avoir aucune attente dans la vie
- 3 J'ai l'impression que l'avenir est sans espoir et que les choses ne peuvent s'améliorer

* 5. .

- 0 Je ne me considère pas comme un(e) raté(e)
- 1 J'ai l'impression d'avoir subi plus d'échecs que le commun des mortels
- 2 Quand je pense à mon passé, je ne vois que des échecs
- 3 J'ai l'impression d'avoir complètement échoué dans la vie

* 6. .

- 0 Je retire autant de satisfaction de la vie qu'auparavant
- 1 Je ne retire plus autant de satisfaction de la vie qu'auparavant
- 2 Je ne retire plus de satisfaction de quoi que ce soit
- 3 Tout me rend insatisfait ou m'ennuie

* 7. .

- 0 Je ne me sens pas particulièrement coupable
- 1 Je me sens coupable une bonne partie du temps
- 2 Je me sens coupable la plupart du temps
- 3 Je me sens continuellement coupable

* 8. .

- 0 Je n'ai pas l'impression d'être déçu(e) de moi
- 1 Je suis déçu(e) de moi
- 2 Je suis dégoûté(e) de moi
- 3 Je me hais

* 9. .

- 0 Je ne pense aucunement a me suicider
- 1 J'ai parfois l'idée de me suicider, mais je n'irais pas jusqu'à passer aux actes
- 2 J'aimerais me suicider
- 3 J'aimerais me suicider si j'en avais l'occasion

* 10. .

- 0 Je n'ai pas perdu mon intérêt pour les gens
- 1 Je suis moins intéressé(e) par les gens qu'autrefois
- 2 J'ai perdu la plupart de mon intérêt pour les gens
- 3 J'ai perdu tout intérêt pour les gens

* 11. .

- 0 Je prends des décisions aussi facilement qu'avant
- 1 Je remets des décisions beaucoup plus qu'auparavant
- 2 J'ai beaucoup plus de difficulté a prendre des décisions qu'auparavant
- 3 Je ne peux plus prendre de décisions

* 12. .

- 0 Je n'ai pas l'impression que mon apparence soit pire qu'auparavant
- 1 J'ai peur de paraître vieux (vieille) ou peu attrayant (e)
- 2 J'ai l'impression qu'il y a des changements permanents qui me rendent peu attrayant(e)
- 3 J'ai l'impression d'être laid(e)

* 13. .

- 0 Je peux travailler aussi bien qu'avant
- 1 Il faut que je fasse des efforts supplémentaires pour commencer quelque chose
- 2 Je dois me secouer très fort pour faire quoi que ce soit
- 3 Je ne peux faire aucun travail

* 14. .

- 0 Je ne me sens pas plus fatigué(e) qu'a l'accoutumé
- 1 Je me fatigue plus facilement qu'auparavant
- 2 Je me fatigue pour un rien
- 3 Je suis trop fatigué(e) pour faire quoi que ce soit

* 15. .

- 0 Mon appétit n'est pas pire que d'habitude
- 1 Mon appétit n'est pas aussi bon qu'il était
- 2 Mon appétit a beaucoup diminué
- 3 Je n'ai plus d'appétit du tout

4. Internet addiction test

Si deux choix semblent s'appliquer également, choisissez celui qui représente le mieux qui vous êtes la plupart du temps durant le dernier mois. Les énoncés réfèrent à des situations hors-ligne sauf si spécifié autrement.

1. Vous arrive-t-il de rester sur Internet plus longtemps que vous en aviez l'intention au départ?
2. Vous arrive-t-il de négliger des tâches ménagères afin de passer plus de temps sur Internet?
3. Vous arrive-t-il de préférer l'excitation/l'amusement d'Internet à l'intimité de votre partenaire?
4. Vous arrive-t-il d'avoir de nouvelles relations avec des utilisateurs d'Internet ?
5. Vos proches vous reprochent-ils que vous passez trop de temps sur Internet ?
6. Arrive-t-il que vos notes ou vos devoirs scolaires souffrent du temps que vous passez sur Internet?
7. Vous arrive-t-il de regarder d'abord votre messagerie avant d'accomplir une chose nécessaire et urgente?
8. Arrive-t-il que vos performances au travail ou votre productivité souffrent à cause d'Internet?
9. Vous arrive-t-il d'être sur la défensive ou de refuser de répondre si quelqu'un vous demande ce que vous faites sur Internet?
10. Vous arrive-t-il de chasser les soucis de votre vie quotidienne par la pensée réconfortante d'aller sur Internet?
11. Vous arrive-t-il de vous réjouir du moment où vous irez de nouveau sur Internet?
12. Vous arrive-t-il de penser que la vie sans Internet serait ennuyeuse, vide et sans joie?
13. Vous arrive-t-il de répondre d'un ton brusque, de crier ou de vous montrer agacé si quelqu'un vous dérange pendant que vous êtes sur Internet?
14. Vous arrive-t-il de manquer de sommeil parce que vous êtes resté tard sur Internet?
15. Lorsque vous n'êtes pas sur Internet, vous arrive-t-il d'y penser activement ou rêver y être?
16. Vous arrive-t-il de vous dire "juste encore quelques minutes" lorsque vous êtes sur Internet?
17. Vous arrive-t-il d'essayer de diminuer le temps que vous passez sur Internet sans y arriver?
18. Vous arrive-t-il de cacher aux autres combien de temps vous avez passé sur Internet?
19. Vous arrive-t-il de choisir de passer plus de temps sur Internet plutôt que de sortir avec des proches?
20. Vous arrive-t-il de vous sentir déprimé, de mauvaise humeur ou énervé lorsque vous n'êtes pas sur Internet, puis de vous sentir mieux lorsque vous y êtes?

- 0 - Ne s'applique pas
- 1 - Rarement
- 2 - Occasionnellement
- 3 - Fréquemment
- 4 - Souvent
- 5 - Toujours

5. Smartphone addiction scale

Si deux choix semblent s'appliquer également, choisissez celui qui représente le mieux qui vous êtes la plupart du temps durant le dernier mois. Les énoncés réfèrent à des situation hors-ligne sauf si spécifié autrement.

- 1 “J'utilise mon téléphone intelligent de telle manière à ce que cela entraîne un impact négatif sur ma productivité/mon travail”;
- 2 “J'ai du mal à me concentrer en classe, durant mes devoirs, ou durant le travail à cause du téléphone intelligent”;
- 3 “Je ressens de la douleur aux poignets ou à la nuque quand j'utilise mon téléphone intelligent”;
- 4 “Je ne supporte pas le fait de ne pas avoir mon téléphone intelligent”;
- 5 “Je ressens de l'impatience et de l'irritation lorsque je n'ai pas mon téléphone intelligent”
- 6 “Je suis préoccupé par l'utilisation de mon téléphone intelligent, même lorsque je ne l'utilise pas”
- 7 “Je n'arrêterai jamais d'utiliser mon téléphone intelligent, même si son utilisation entraîne des conséquences négatives importantes dans ma vie quotidienne”
- 8 “Je surveille en permanence mon téléphone intelligent de manière à ne manquer aucune conversation (par ex. sur Twitter ou Facebook)”
- 9 “J'utilise mon téléphone intelligent plus longtemps que je ne l'avais prévu”
- 10 “Mes proches me disent que j'utilise trop mon téléphone intelligent”

- 1 – Fortement en désaccord
- 2 – En désaccord
- 3 – Faiblement en désaccord
- 4 – Faiblement en accord
- 5 – En accord
- 6 – Fortement en accord

