

Université de Montréal

La caractérisation cognitive de l'expertise en jeux vidéo d'action

Par

Julie Justine Benoit

Département de psychologie, Faculté des arts et sciences

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Ph.D

en psychologie, option neuropsychologie clinique

Juin 2022

© Julie Justine Benoit, 2022

Université de Montréal

Département de psychologie, Faculté des arts et sciences

Cette thèse intitulée

Caractérisation cognitive de l'expertise en jeux vidéo d'action

Présenté par

Julie Justine Benoit

A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes

Gregory West

Président-rapporteur

Jocelyn Faubert

Directeur de recherche

Hugo Théorêt

Membre du jury

Synthia Guimond

Examinatrice externe

Résumé

Les jeux vidéo d'actions sont exigeants d'un point de vue cognitif, c'est notamment pourquoi ils sont considérés comme les plus susceptibles d'influencer la cognition (Spence & Feng, 2010). Plusieurs études indiquent que les joueurs de jeux vidéo d'action performant mieux que les non-joueurs sur plusieurs fonctions cognitives, telles que l'attention, la vitesse de traitement, mémoire à court terme et la mémoire de travail (Bediou et al., 2018; Dye et al., 2009; Green & Bavelier, 2006; Powers & Brooks, 2014). Néanmoins, notre compréhension du lien entre la pratique de jeux vidéo d'action et la cognition demeure incomplète. La caractérisation cognitive de l'expertise en jeu vidéo d'action est une avenue intéressante et peu explorée afin de contribuer à l'avancement des connaissances sur le lien entre la pratique de jeux vidéo et la cognition. Les joueurs professionnels de jeux vidéo sont des individus pouvant performer selon les plus hauts standards dans leur domaine, ce qui renvoie à la définition d'experts-élites (Reimann & Markauskaite, 2018).

L'étude de l'expertise s'est illustrée comme étant un angle complémentaire permettant l'approfondissement des connaissances empiriques et théoriques. La présente thèse s'intéresse donc à la cognition des joueurs professionnels de jeux vidéo d'action en comparant leur profil neuropsychologique à celui d'un groupe de joueurs amateur.

Dans le premier article, les groupes sont comparés sur plusieurs mesures neuropsychologiques. Les joueurs professionnels se sont distingués sur les mesures du fonctionnement attentionnel, de la mémoire à court terme visuelle, de la mémoire de travail, de la vitesse de traitement et sur le plan des capacités perceptivo-cognitives.

Le second article approfondit la caractérisation attentionnelle des joueurs en évaluant la résolution temporelle de l'attention et l'attention divisée via une tâche attentionnelle impliquant la poursuite d'une ou trois cibles dans une trajectoire circulaire. Les joueurs professionnels se sont démarqués des amateurs pour chacune des tâches et le coût de l'augmentation de la difficulté sur la performance est significativement moindre pour les professionnels en comparaison aux amateurs, suggérant un avantage significatif sur le plan de l'attention divisée.

Les résultats présentés dans le cadre de cette thèse mettent en lumière le profil cognitif distinctif des joueurs professionnels en jeux vidéo d'action qui semble s'articuler à l'entour d'un contrôle attentionnel supérieur. Ainsi, l'identification de différences entre les joueurs professionnels et amateurs démontre l'hétérogénéité parmi l'ensemble des joueurs de jeux vidéo, ce qui a des implications méthodologiques dans la constitution des groupes pour les recherches futures. D'autre part, l'identification du contrôle attentionnel comme étant un marqueur de l'expertise en jeux vidéo est susceptible d'orienter les recherches futures et de contribuer à l'approfondissement théorique et empirique du lien entre la pratique de jeux vidéo et la cognition.

Mots-clés : Neuropsychologie, évaluation cognitive, jeux vidéo, expertise, 3D-MOT, attention, contrôle attentionnel

Abstract

Several studies indicate that action video game players perform better than non-gamers on a variety of cognitive functions, such as attention, processing speed, short-term memory, and working memory (Bediou et al., 2018; Dye et al., 2009; Green & Bavelier, 2006; Powers & Brooks, 2014). Nevertheless, our understanding of the link between action video gaming and cognition remains incomplete. The characterization of expertise and elite performance is an interesting yet understudied avenue that could help deepen the understanding of the relationship between video game experience and cognition. Professional video game players can be considered as experts-elites in their discipline as they can perform at the highest standards (Reimann & Markauskaite, 2018).

In many other fields, the study of expertise has been shown to be a complementary angle to advance empirical and theoretical knowledge. The present thesis investigates the cognition of professional action video game players by comparing their neuropsychological profile to a group of amateur players.

In the first paper, several neuropsychological measures are used to compare the two groups of players. Professional gamers had greater performances on measures of attentional function, visual short-term memory, working memory, processing speed, and perceptual-cognitive abilities when compared to amateurs.

The second article further characterizes the players' attentional function by assessing temporal resolution of attention and divided attention via an attentional tracking task that requires them to

follow one or three targets at various speeds. Professional players outperformed amateurs on both tasks and the impact of increasing difficulty on performance was significantly lower for professionals than for amateurs, suggesting a significant advantage in divided attention.

Results presented in this thesis highlight the distinctive cognitive profile of professional action video game players, which appears to be articulated around superior attentional control. Thus, the identification of differences between professional and amateur gamers demonstrates the heterogeneity among video game players, which has methodological implications for groups formation for future research. Furthermore, the identification of attentional control as a marker of video game expertise is likely to guide future research and contribute to the theoretical and empirical investigation of the link between video gaming and cognition.

Keywords: Neuropsychology, cognitive assessment, video game, expertise, 3D-MOT, attention, attentional control

Table des matières

Résumé	3
Abstract.....	5
Table des matières.....	7
Liste des tableaux	13
Liste des figures	14
Liste des sigles et abréviations.....	15
Remerciements	18
Chapitre 1 – Introduction générale	20
1.1 Les jeux vidéo	21
1.1.1 Les jeux vidéo d’action	23
1.1.2 Les jeux de tirs à la première personne et à la troisième personne	25
1.2 La cognition humaine	26
1.2.1 La mémoire sensorielle et les fonctions perceptuelles « de bas niveau »	26
1.2.2 La mémoire de travail	28
1.2.2.1 La boucle phonologique	28
1.2.2.2 Le calepin visuospatial	29
1.2.2.3 Le tampon épisodique	30
1.2.2.3 L’administrateur central	30
Le contrôle attentionnel	31
Les fonctions exécutives	32
1.3 La cognition chez les joueurs de jeux vidéo d’action	33
1.3.1 Les fonctions perceptuelles « de bas niveau »	34

1.3.1.1 Les fonctions perceptuelles	34
1.3.1.2 La vitesse de traitement	35
1.3.2 La mémoire de travail	36
1.3.2.1 La mémoire à court terme	36
1.3.2.2 La mémoire de travail	37
1.3.2.3 La cognition spatiale	37
1.3.2.4 La coordination visuomotrice	39
1.3.3 L'administrateur central	40
1.3.3.1 L'attention	40
1.3.3.2 Les fonction exécutives	44
1.3.4 Les méta-analyses d'études transversales et d'intervention examinant le lien entre la cognition et les jeux vidéo	45
1.3.5 Les théories explicatives	49
1.4 Les enjeux méthodologiques	50
1.5 La caractérisation de l'expertise	53
1.5.1 L'expertise en contexte sportif	53
1.3.3.2 La cognition des experts-élites	55
1.6 Le positionnement du problème	56
Chapitre 2 – Méthodologie	58
2.1 Le devis expérimental	58
2.2 Les participants	59
2.3 Les mesures	63
2.3.1 La vitesse de traitement	63
2.3.1.1 Codes – WAIS-IV	63

2.3.1.2 D2 – Test d’attention	63
2.3.2 La coordination visuomotrice	64
2.3.2.1 Grooved Pegboard	64
2.3.3 La mémoire à court terme et la mémoire de travail	64
2.3.3.1 Séquences de chiffres – WAIS-IV	65
2.3.3.2 Empan spatial – WMS-III	65
2.3.4 La manipulation visuospatiale	65
2.3.4.1 Casse-tête visuels – WAIS-IV	65
2.3.5 Les fonctions attentionnelles	66
2.3.5.1 D2 – Test d’attention	66
2.3.6 Les fonctions exécutives	66
2.3.6.1 Tours – D-KEFS	66
2.3.6.2 Interférence couleur-mot – D-KEFS	67
2.3.7 Mesure de résolution temporelle de l’attention et d’attention divisée	67
2.3.8 La poursuite d’objets multiple en trois dimensions	71
2.4 Le protocole expérimental	74
2.5 Objectifs et hypothèses	77
2.5.1 Article 1 – The Neuropsychological Profile of Professional Action Video Game Players	77
2.5.2 Article 2 – Attention’s Role in Action Video Game Elite Performance - Are all Professionals Simply Better?	79
Chapitre 3 – The Neuropsychological Profile of Professional Action Video Game Players	81
3.1 Abstract	81
3.2 Introduction	82

3.3 Materials & Methods	87
3.3.1 Participants	87
3.3.2 Neuropsychological measures	89
3.3.3 Three-Dimensional multiple objects tracking (3D-MOT)	91
3.4 Procedure	93
3.5 Analysis	94
3.6 Results	95
3.6.1 Neuropsychological assessments	96
3.6.2 3D-MOT training	100
3.6.3 Association between attention, Working memory and short-term memory	102
3.7 Discussion	104
3.8 Conclusions	111
3.9 Conflict of interest	112
3.10 Acknowledgments	112
Chapitre 4 – Attention’s Role in Action Video Game Elite Performance – Are all Professionals Simply Better	113
4.1 Abstract	113
4.2 Introduction	114
4.3 Materials & methods	117
4.3.1 Participants	117
4.3.2 Apparatus	118
4.3.3 Stimuli and Procedure	118
4.3.3.1 Attention tracking task	119
4.3.3.2 3D-MOT	120

4.3.4 Data analysis	121
4.3.5 Statistical analysis	122
4.4 Results	122
4.5 Discussion	125
4.6 Acknowledgments	128
4.7 Conflict of interest	129
Chapitre 5 – Discussion	130
5.1 Rappel des objectifs et principaux résultats	130
5.1.1 Article 1	130
5.1.2 Article 2	131
5.2 La théorie du contrôle attentionnel	131
5.2.1 Le contrôle attentionnel et fonctions de bas niveau	132
5.2.2 Le contrôle attentionnel et mémoire de travail	133
5.2.3 Le contrôle attentionnel et administrateur central	135
5.2.3.1 Les fonctions attentionnelles	135
5.2.3.2 Les fonctions exécutives	136
5.3 Le contrôle attentionnel comme marqueur de l'expertise	136
5.3.1 Les fonctions de bas niveau	137
5.3.2 La mémoire de travail	138
5.3.3 L'administrateur central	140
5.3.3.1 Les fonctions attentionnelles	140
5.3.3.1 Les fonctions exécutives	141
5.3 L'existence d'un profil cognitif associé à l'expertise en jeux vidéo d'action : Les implications	144

5.4 L'expertise en jeux vidéo d'action, expertise sportive et expertise aux échecs	148
5.5 Les limites de la thèse	150
5.6 Les perspectives pour les recherches futures	155
Chapitre 6 – Conclusions	158
Références bibliographiques	160
Annexe 1 – Questionnaire socio-démographique	178
Annexe 2 – Résultats de analyses statistique avec corrections de Bonferroni.	180

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques des Jeux Vidéo d'Action et les Fonctions Cognitives Associées	24
Tableau 2 – Résumé des critères de sélection pour la caractérisation des groupes de joueurs de jeux vidéo	34
Tableau 3 - Résumé de la Méta-analyse de Wang et Collègues (2016)	47
Tableau 4 - Résumé des Résultats de la Méta-analyse de Bediou et collègues (2018)	48
Tableau 5 - Données Sociodémographiques par Groupes	62
Tableau 6 - Similarités entre le 3D-MOT et les Jeux Vidéo d'Action	71
Tableau 7 – Tâches utilisées pour mesurer le fonctionnement cognitif des participants	76
Tableau 8 - Détail des rencontres	77
Tableau 9 - Demographic and Video Game Experience Characteristics	89
Tableau 10 - Neuropsychological Tests	91
Tableau 11 - Average raw scores for all neuropsychological tests, difference scores, and univariate inferential statistics	97
Tableau 12 - Standardized coefficient, Structure Coefficients, and Groups Centroids	100
Tableau 13 - Results of the linear mixed effects model fit to speed thresholds in the 3D-MOT task	102
Tableau 14 - Demographic and Video Game Experience Characteristics	123

Liste des figures

Figure 1 - Illustration de la tâche de poursuite attentionnelle à trois cibles (ATT-3)	69
Figure 2 - Illustration de la tâche de 3D-MOT	73
Figure 3 - Five Stages of a Trial in the 3D-MOT Task	93
Figure 4 - Results of neuropsychological tests	96
Figure 5 - 3D-MOT task training data	101
Figure 6 - Bivariate Spearman's correlations for measures of attention and working memory for all participants.	104
Figure 7 - Illustration of ATT-3	120
Figure 8 - Data Distribution on ATT-1 and ATT-3 for each Group	124

Liste des sigles et abréviations

3D-MOT	Three-dimensional multiple objects tracking	Poursuite d'objets multiple en trois dimensions
AVG	Action video game	Jeux vidéo d'action
ATT-1	Attentional tracking task—one target	Tâche de poursuite attentionnelle à une cible
ATT-3	Attentional tracing task—three targets	Tâche de poursuite attentionnelle à trois cibles
aSTM	Auditive short-term memory	Mémoire à court terme auditive
aWM	Auditive working memory	Mémoire de travail auditive
BDI	Beck Depression Inventory	Inventaire de dépression de Beck
CI	Confidence intervals	Intervalles de confiances
CP	Concentration performance	Performance de concentration
D-KEFS	Deli-Kaplan Executive Function System	Système d'évaluation du fonctionnement exécutif de Deli-Kaplan
E %	Percentage of Error	Pourcentage d'erreur
EEG	Electroencephalogram	Électroencéphalogramme
ÉT		Écart-type
FPS	First-person shooter	Jeu de tir à la première personne
FR	Fluctuation rate	Taux de fluctuation
MCTa		Mémoire à court terme auditive
MCTv		Mémoire à court terme visuelle

MDTa		Mémoire de travail auditive
MDTv		Mémoire de travail visuelle
MOT	Multiple object tracking	Poursuite d'objets multiple
NCAA	National Collegiate Athletic Association	
SAA	Supervisory attentional system	Système de supervision attentionnel
SD	Standard Deviation	Écart-type
TN	Total number	Nombre total
TN-E	Total number—Errors	Nombre total — Erreurs
TPS	Third-person shooter	Jeu de tir à la troisième personne
vSTM	Visual short term memory	Mémoire à court terme visuelle
vWM	Visual working memory	Mémoire de travail visuelle
WAIS	Wechsler Adult Intelligence Scale	Échelle d'intelligence de Wechsler pour adultes
WMS	Wechsler Memory Scale	Échelle de Mémoire de Wechsler

À toi, ma Martha.

Remerciements

Plusieurs personnes me viennent en tête quand je repense à ces dernières années. Celles qui m'ont encouragées sur le plan académique, mais également celles qui m'ont épaulées dans ma vie personnelle, me permettant de garder un équilibre dans ce marathon doctoral.

Laurence, il y a certainement une partie de ce diplôme qui te revient. Je ne vois pas comment ce projet aurait pu aboutir sans toi. Ton encadrement, tes conseils et ta disponibilité ont eu un impact significatif sur mon parcours. Que ce soit sur la qualité du travail final ou la qualité de ma santé mentale rendue à la ligne d'arrivée, tu y es pour beaucoup. Je t'en serai éternellement reconnaissante. Je souhaite sincèrement à tout.e.s les étudiant.e.s au doctorat de ce monde d'avoir la chance d'être encadré.e.s par une personne aussi fantastique que toi.

À Francis, ma douce moitié, merci de m'avoir épaulé, soutenu et encouragé dans le parcours que j'ai entrepris. Près de la moitié de notre vie commune a été marquée par mon processus doctoral. Nous pouvons enfin dire que nous avons traversé cette épopée ensemble, tels Leslie et Ben.

À mes chères amies, Stéphanie, Ariane et Fanny, merci d'avoir répondu aux appels et aux messages pendant ces dernières années pour m'offrir vos encouragements et d'avoir offert une écoute attentive et bienveillante dans les moments les plus difficiles.

À toutes ces femmes fantastiques que j'ai la chance de considérer comme mes amies, merci. Je suis reconnaissante d'être si bien entourée, bien que cela implique que je ne peux toutes vous nommer. Votre présence dans ma vie est une chance exceptionnelle.

Merci à mes parents de m'avoir transmis leur détermination et de m'avoir soutenu financièrement pendant mon parcours scolaire qui fut, disons-le, légèrement plus long qu'ils ne l'avaient anticipé à ma naissance.

Merci à Martha, cette force tranquille qui m'a soutenu depuis ma naissance. Je n'aurai peut-être pas été assez rapide pour que tu puisses voir l'aboutissement de ce travail, mais je sais que tu en serais fier.

Finalement, merci à Jocelyn de m'avoir permis de vivre cette aventure remplie de rebondissements qui aura forgé ma détermination et ma résilience.

Chapitre 1 – Introduction générale

Les jeux vidéo ont une place prééminente dans nos sociétés et font partie du quotidien de milliards d'individus aux quatre coins du globe (Newzoo, 2016). Pour certains, la pratique de jeux vidéo est un simple divertissement, alors que pour d'autres, c'est un sport universitaire, ou encore une façon de gagner leur vie. Les individus gagnant leur vie par le jeu vidéo, soit les *e-athletes*, sont considérés comme des experts-élites en jeux vidéo en raison de leur haut niveau de performances (Chi et al., 2014). Il est maintenant bien établi que les performances sportives des experts-élites sont marquées par des déterminants cognitifs (Voss et al., 2010). Cependant, le profil cognitif des experts en jeux vidéo demeure inconnu.

L'expertise est un qualificatif qui renvoie à la constance et à la qualité des performances d'un individu (Farrington-Darby & Wilson, 2006). Or, les athlètes professionnels sont considérés comme des experts-élites en vertu de leur niveau de connaissance, leur constance et leur capacité à performer selon les plus hauts standards (Reimann & Markauskaite, 2018). L'étude des déterminants cognitifs liés à l'expertise est susceptible de contribuer à notre compréhension de la cognition humaine. Si les prouesses physiques et biomécaniques du corps humain sont plutôt bien connues, notre compréhension et nos modèles de la cognition humaine sont moins définis et intégratifs. Or, l'étude de l'expertise pourrait être un angle complémentaire aux études actuelles, en majorité basées sur l'étude des déficits ou de la cognition normale (Lowe & Rabbitt, 2004 ; Pennington, 2006). Cette approche permettrait de comprendre le lien qui unit la pratique de jeux vidéo et la cognition, que ce soit pour approfondir nos connaissances pratiques et théoriques sur le fonctionnement cognitif des individus.

La contribution de cette thèse sera de caractériser l'expertise en jeux vidéo d'action dans le but de permettre l'approfondissement empirique de la cognition humaine et de contribuer au développement théorique spécifique au domaine du jeu vidéo. De plus, la thèse permettra une meilleure compréhension des facteurs contribuant à l'expertise ainsi qu'aux tenants et aboutissants du lien entre la pratique à long terme de jeux vidéo et la cognition.

Dans le premier chapitre de la thèse, je définis le jeu vidéo et décris brièvement l'évolution des trente dernières années dans ce domaine. Subséquemment, le modèle cognitif de Baddeley sera décrit puisqu'il servira de cadre théorique pour la présente thèse. L'état de la littérature actuelle portant sur le lien entre la pratique de jeux vidéo d'action et la cognition sera présenté afin de situer la littérature dans la théorie. La littérature sur l'expertise sera ensuite abordée pour conclure sur le positionnement du problème abordé dans la thèse. Finalement, l'objectif de la thèse sera expliqué à la lumière de la littérature et des aspects de celle-ci qui mériteraient plus de recherche.

1.1 Les jeux vidéo

Les jeux vidéo se définissent comme des jeux électroniques permettant une interaction entre l'individu et l'environnement virtuel via un dispositif vidéo (p. ex., télévision, téléphone, écran d'ordinateur) (Esposito, 2005). Les thèmes, les objectifs ainsi que les modes de jeu peuvent varier grandement ; les jeux vidéo peuvent se jouer en mode coopératif ou compétitif, en mode individuel ou collectif, ils peuvent se jouer en ligne avec des milliers d'utilisateurs simultanément, avec des amis ou individuellement. De plus, ils peuvent se jouer sur une grande variété de consoles et se décliner en une variété de genre, permettant de rejoindre un large

public.

Suivant l'engouement populaire, l'étude académique du jeu vidéo a débuté vers le milieu des années 80 (Parong et al., 2021). À ce moment, les jeux vidéo étaient relativement simples avec des graphiques en deux dimensions et les trames narratives plus rigides. L'intérêt scientifique était principalement dirigé vers les capacités visuospatiales et visuomotrices des joueurs. Dans les années 90, l'industrie du jeu vidéo est marquée par une expansion fulgurante pendant laquelle les jeux se sont multipliés. Au cours de cette expansion, les différents jeux appartenant à un même genre se sont codifiés et sont devenus plus homogènes sur le plan de la mécanique de jeux et des narratifs (Dale et al., 2020). Cette homogénéisation a eu pour effet d'uniformiser les demandes cognitives associées aux jeux d'un même genre. Cela a amené des changements dans la méthodologie scientifique utilisée pour étudier les jeux vidéo alors que les chercheurs ont commencé à étudier des genres de jeux bien précis afin de bien cadrer l'objet de recherche. En ce sens, tous les genres de jeux vidéo ne sont pas égaux en ce qui concerne les exigences cognitives (Dale et al., 2020). Les jeux vidéo d'action se sont illustrés comme étant très exigeants d'un point de vue cognitif, notamment en raison de la variété de fonctions cognitives qui sont nécessaires pour performer dans ces jeux (voir chapitre 2) (Spence & Feng, 2010). C'est pourquoi ce genre de jeu a reçu un intérêt plus important de la part des scientifiques s'intéressant à la cognition humaine (Dale et al., 2020).

1.1.1 Les jeux vidéo d'action

Tout d'abord, il importe d'abord de souligner que la classification des genres de jeux vidéo ne fait pas l'objet d'un consensus dans la littérature (Osathanunkul, 2015). À l'heure actuelle, les différents genres de jeux sont définis en fonction des perspectives, des mécaniques de jeu utilisées, des interactions et des objectifs (Adams, 2014, p. 200; Apperley, 2006). Dans les jeux vidéo d'action, le joueur contrôle un avatar ou un protagoniste qui doit naviguer dans un environnement souvent hostile tout en complétant des missions, en collectant des objets, en évitant des obstacles et en affrontant des ennemis avec des armes ou avec ses habiletés physiques. Ce type de jeu est reconnu pour solliciter un engagement important de la part des joueurs et pour être intrinsèquement motivant, les rendant ainsi attrayants et populaires (Powers & Brooks, 2014).

Malgré les nombreuses différences qu'il peut y avoir entre les jeux d'action existants, ceux-ci possèdent tous cinq caractéristiques essentielles (Tableau 1 - Caractéristiques des Jeux Vidéo d'Action et les Fonctions Cognitives Associées) (Dale et al., 2020). Ils ont tous un (1) rythme rapide. Les joueurs sont mis sous pression et doivent réagir rapidement alors que des événements peuvent survenir soudainement. Le participant doit donc être en mesure de rapidement percevoir et analyser la situation afin de répondre le plus rapidement possible. En situation de jeu, les joueurs doivent (2) distribuer leur attention sur la périphérie pour voir apparaître et identifier les potentielles menaces, alors qu'à d'autres moments, ils doivent (3) concentrer leur attention sur un élément précis pour suivre une cible ou attaquer. De plus, les joueurs doivent faire preuve d'un grand (4) dynamisme attentionnel, alors qu'ils doivent constamment alterner entre ces deux états. Finalement, (5) la variabilité dans le comportement des adversaires est également un élément clé des jeux vidéo d'action, empêchant les joueurs

d'automatiser leur jeu. Le Tableau 1 - Caractéristiques des Jeux Vidéo d'Action et les Fonctions Cognitives Associées ci-dessous reprend les caractéristiques des jeux vidéo d'action de Dale (2020) et y indique les fonctions cognitives qui s'y rattachent à chacune de ces caractéristiques.

Tableau 1 - Caractéristiques des Jeux Vidéo d'Action et les Fonctions Cognitives Associées

Caractéristiques des jeux vidéo d'action	Définition de Dale (2020)	Fonctions cognitives rattachées	Définition de la fonction cognitive
Rythme rapide	Réagir sous contraintes temporelles	Vitesse de traitement	Vitesse à laquelle on peut traiter une information simple avec précision (Flanagan & Alfonso, 2017)
		Coordination visuomotrice	Coordonnées différents mouvements du corps avec l'information visuelle (Spence & Feng, 2010)
Distribution attentionnelle	Distribution attentionnelle sur la périphérie du champ visuel pour identifier des menaces	Fonctions perceptuelles	Percevoir et détecter les objets de l'environnement pour de traiter les attributs de bases (forme, la couleur le mouvement) (Dakin & Frith, 2005)
		Attention sélective	Distribution volontaire des ressources attentionnelles (Dufour et al., 2018)
Concentration des ressources attentionnelles	Diriger les ressources attentionnelles sur un ou des élément(s) précis dans l'environnement virtuel.	Attention divisée	Traiter plusieurs informations pertinentes simultanément (Repovš & Baddeley, 2006)
		Inhibition	Ignorer les éléments non pertinents (Guarino et al., 2020)
Dynamisme attentionnel	Alterner entre la distribution et la concentration des ressources attentionnelles.	Flexibilité	Coordonner les ressources cognitives afin de se désengager d'une source d'information et s'engager sur une nouvelle source d'information (Glass et al., 2013)
Variabilité	Variabilité dans le jeu qui empêche l'automatisation.	Planification	Organiser une succession de comportements ou d'actions afin d'atteindre un objectif. (Allain et al., 2005)
		Flexibilité	

1.1.2 Les jeux de tirs à la première personne et à la troisième personne

Parmi les différents sous-genres de jeux d'action existant, les jeux de tirs sont parmi les plus populaires et les plus prototypiques des jeux d'actions en fonction des critères élaborés par Dale et collègues (2020). Les jeux de tirs peuvent à leur tour être sous-divisés en deux grandes catégories ; les jeux de tirs à la première personne (*first person shooter*) et les jeux de tirs à la troisième personne (*third person shooter*). Ces deux catégories se distinguent par le point de vue que les joueurs peuvent adopter. Dans les jeux de tirs à la première personne, le joueur voit le jeu à travers les yeux de son avatar, alors que dans les jeux de tirs à la troisième personne, le personnage est vu de manière externe. Les jeux de tirs à la première personne sont reconnus pour être immersifs, c'est-à-dire que le joueur a la perception d'être dans l'environnement du jeu (Grimshaw, 2007). L'environnement graphique et sonore contribuent à l'immersion, de même que les mécaniques du jeu qui font en sorte que les joueurs se sentent en contrôle et que le niveau de défi est optimal (Grimshaw, 2007 ; Grimshaw et al., 2011).

Parmi tous les types de jeux, ce sont les jeux vidéo d'action à la première personne qui retiennent l'intérêt des scientifiques. En raison de leur importante charge cognitive, ces jeux pourraient influencer la cognition des joueurs (Dale et al., 2020 ; Spence & Feng, 2010).

1.2 La cognition humaine

Avant de poursuivre avec un état de la littérature de sur la cognition et le jeu vidéo, il semble pertinent de situer certaines bases théoriques sur la cognition humaine. Bien que la psychologie cognitive soit un domaine de recherche qui prolifère depuis plusieurs dizaines d'années, il n'y a pas de modèle intégratif de la cognition qui fasse l'unanimité à ce jour, et ce particulièrement dans le domaine du jeu vidéo. Le cadre théorique de cette thèse s'appuiera sur le modèle cognitif de Baddeley (1992) afin d'offrir une structure globale pour expliquer la cognition. Ce modèle a été sélectionné puisqu'il est suffisamment large pour aborder plusieurs éléments clés du fonctionnement cognitif. D'autres construits seront également abordés dans un but complémentaire.

1.2.1 La mémoire sensorielle et les fonctions perceptuelles « de bas niveau »

La mémoire sensorielle, telle que définie par Baddeley, renvoie à un mécanisme capable de retenir l'information sensorielle pour une brève période. Lorsqu'on va au cinéma par exemple, on voit une scène dans laquelle les gens bougent normalement alors que ce qui est réellement présenté, ce sont des successions d'images immobiles. Pour percevoir adéquatement le mouvement, le cerveau doit entreposer temporairement l'information visuelle jusqu'à l'arrivée de la nouvelle information, permettant ainsi de percevoir le mouvement. Cette mémoire sensorielle permet donc l'intégration et le traitement de l'information visuelle et auditive (Baddeley, 2013).

Les fonctions perceptuelles de bas niveau renvoient aux premières étapes du traitement des informations perceptuelles, permettant de traiter les attributs de bases, tels que la forme, la couleur ou le mouvement (Dakin & Frith, 2005). Le traitement perceptif de bas niveau permet le traitement de l'information local, pour ensuite être intégré par des processus de plus haut niveau (Thornton et al., 1998). C'est d'ailleurs la transition par la mémoire sensorielle qui permet d'entreposer les informations en mémoire de travail dans le modèle de Baddeley.

La vitesse de traitement renvoie à la vitesse à laquelle on peut traiter l'information avec précision (Flanagan & Alfonso, 2017). Dans le cadre de cette thèse, nous dirigeons notre intérêt vers la vitesse de traitement de l'information simple, ce qui implique de traiter un stimulus unique et de donner une réponse motrice simple. Pour cette raison, la vitesse de traitement est considérée comme un processus de bas niveau (Chiaravalloti et al., 2003).

Les premières études portant sur le lien entre le jeu vidéo et la cognition se sont principalement intéressées aux fonctions cognitives, dites « de bas niveau ». Cependant, depuis quelques années, on voit que l'intérêt scientifique transite vers l'étude des fonctions « de haut niveau », ce qui renvoie à l'intégration des informations pour résoudre des problèmes, planifier ou faire preuve de créativité (Parong et al., 2021).

1.2.2 La mémoire de travail

La mémoire de travail se définit comme un système qui permet de maintenir et manipuler des informations simultanément (Baddeley, 2013). Selon le modèle proposé par Baddeley, la mémoire de travail contient trois sous modules ; la boucle phonologique (*phonological loop*), le calepin visuospatial (*visuospatial sketchpad*) et le tampon épisodique (*episodic buffer*). Ces modules seraient contrôlés par l'administrateur central (*central executive*). Le module de l'administrateur central quant à lui correspond au fonctionnement exécutif dans d'autres cadres théoriques. Ces termes seront utilisés de façon interchangeable dans cette thèse.

1.2.2.1 La boucle phonologique

La boucle phonologique est responsable d'entreposer et de maintenir l'information encodée sous forme phonologique, que celle-ci soit de nature verbale ou non-verbale. Elle se compose de deux éléments ; le magasin phonologique (*phonological store*) qui maintient une trace de l'information acoustique et phonologique, ainsi que d'un processus de répétition articulatoire (*articulatory rehearsal process*) qui permet de rafraîchir la trace de l'information, évitant que la trace s'estompe. La répétition articulatoire, soit le fait de répéter le contenu phonologique, permet également de convertir les informations visuelles en informations auditives afin de les entreposer dans le module de la boucle articulatoire (Baddeley, 2013). Le module de la boucle phonologique est également nommé mémoire à court terme auditive (MCTa) dans certains cadres théoriques (Baddeley et al., 2019). Le terme MCTa sera privilégié dans la thèse pour désigner l'information auditive maintenue en mémoire sur une courte période. Dans la même veine, le terme « mémoire de travail auditive » (MDTa) sera utilisé pour désigner la manipulation des éléments dans la boucle phonologique par l'administrateur central.

1.2.2.2 Le calepin visuospatial

Dans la version initiale du modèle de la mémoire de travail de Baddeley (1992), le calepin visuospatial y était représenté comme un module à capacité limitée, responsable d'entreposer et maintenir l'information visuelle et spatiale. Cependant, l'avancée des connaissances suggère le remplacement du calepin visuospatial par un module non verbal qui serait sous-divisé en deux modules indépendants, soit un pour l'information visuelle (p. ex., couleur, forme, orientation) et un second pour l'information spatiale, chacun possédant leur propre mécanisme de stockage et de répétition pour maintenir l'information active (Baddeley et al., 2019). Cependant, dans le cadre de cette thèse, les modules visuel et spatial seront regroupés sous l'étiquette du calepin visuospatial, tel qu'initialement proposé par Baddeley (1992), étant donnée la manière dont mesuré dans les études. Le calepin visuospatial correspond à la mémoire à court terme visuelle (MTCv) dans certains cadres théoriques, qui renvoie à la capacité de maintenir brièvement les informations visuelles nécessaires à guider nos actions immédiates (Luck, 2008). Le terme MCTv sera privilégié dans cette thèse pour désigner l'information visuelle maintenue sur une courte période. D'autre part, le terme mémoire de travail visuelle (MDTv) sera utilisé pour désigner la manipulation des informations dans le calepin visuospatial par l'administrer central.

Les capacités visuospatiales renvoient à la représentation, la transformation et le rappel de l'information visuelle (Halpern, 2000 ; Linn & Petersen, 1985), ce qui relève du calepin visuospatial. Les capacités visuospatiales permettent l'analyse des informations visuelles sur lesquelles repose la cognition spatiale (Del Giudice et al., 2000). La cognition spatiale, quant

à elle, implique la représentation des localisations (la distance, l'angle et la direction des objets dans l'espace) ce qui permet de représenter, d'organiser, de comprendre et de naviguer dans l'espace (Vasilyeva & Lourenco, 2012). L'acquisition et l'intégration des informations spatiales sont essentielles à la navigation dans l'espace pour mettre à jour la localisation des objets par rapport à soi lors des mouvements (A. E. Richardson et al., 2011).

La coordination visuomotrice implique de coordonner différents mouvements du corps avec l'information visuelle (Azémar et al., 2008 ; Berry, 2006 ; Spence & Feng, 2010). Puisque cela implique de bien se représenter l'espace, cette capacité sera présentée comme découlant du calepin visuospatial.

1.2.2.3 Le tampon épisodique

Le tampon épisodique représente le plus récent ajout au modèle de Baddeley (2000) et renvoie à un système de capacité limitée qui utilise un code multimodal. Le tampon épisodique a la caractéristique de pouvoir intégrer les informations comprises dans plusieurs modules et de faire le pont entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme. Les informations entreposées dans le tampon épisodique ont la forme de scènes ou d'épisodes. Soulignons cependant que l'étude de ce module en est encore à ses débuts (Baddeley, 2006 ; Twick & Levy, 2021).

1.2.2.3 L'administrateur central

L'administrateur central est la composante la plus importante du modèle de Baddeley (Baddeley, 1992 ; Repovš & Baddeley, 2006), mais également la plus complexe et celle autour

de laquelle il y a le plus de flou théorique (Repovš & Baddeley, 2006). Dans le modèle initial, l'administrateur central était conçu comme un bassin de ressources limitées permettant de manipuler les informations contenues dans le calepin visuospatial et la boucle phonologique. Aujourd'hui, l'administrateur central se comprend comme un mécanisme de contrôle attentionnel et de fonctionnement exécutif (Repovš & Baddeley, 2006).

Le contrôle attentionnel

Baddeley a intégré à son modèle le système de supervision attentionnel (SSA ; *supervisory attentional system*) du modèle de Norman et Shallice (1986) afin de mieux comprendre le rôle de l'administrateur central (Repovš & Baddeley, 2006). Le SSA est un module opéré par l'administrateur central agissant comme source de contrôle attentionnel qui permet notamment de diriger l'attention, de diviser l'attention entre plusieurs cibles et de résister aux distractions (Anderson, 2008). De façon générale, l'attention correspond au processus de sélection permettant à un individu de favoriser le traitement cognitif d'un stimulus au détriment d'un autre (Harris & Thiele, 2011).

L'attention est déclinable en plusieurs sous-composantes, telles que la résolution temporelle de l'attention, l'attention sélective, l'attention soutenue et l'attention divisée. La résolution temporelle de l'attention correspond à la plus grande vitesse à laquelle un individu peut individualiser et sélectionner une cible, permettant notamment la perception du mouvement (Cavanagh & Vanrullen, 2007 ; Howard et al., 2015). L'attention sélective renvoie au traitement préférentiel d'un stimulus pertinent, tout en inhibant ses distracteurs (Dufour et al., 2018). L'attention divisée permet de traiter plusieurs informations pertinentes simultanément

ou d'accomplir deux tâches en même temps (Repovš & Baddeley, 2006). L'attention soutenue quant à elle permet de maintenir le niveau d'efficacité sur une longue période (Sarter et al., 2001). L'attention est également déclinable selon la modalité de l'information à traiter, soit le plus souvent auditive ou visuelle (Dufour et al., 2018).

L'attention peut être dirigée de façon exogène ou de façon endogène (Posner, 2016). L'orientation exogène renvoie au fait que les caractéristiques physiques du stimulus captent l'attention, ce qui est également appelé « *bottom-up attention* ». Par exemple, si un bruit très fort surgit dans l'environnement, celui-ci capte l'attention de façon automatique. En revanche, l'attention endogène demande un contrôle cognitif de la part des individus qui oriente volontairement leurs ressources attentionnelles vers un stimulus, ce qu'on appelle également l'attention « *top-down* ». Par exemple, lorsqu'on entretient une conversation dans un restaurant, il faut volontairement diriger notre attention sur la voix de notre interlocuteur et inhiber la voix des autres. L'attention endogène permet également de diviser notre attention entre divers stimuli, renvoyant à la notion d'attention divisée (Ripoll et al., 2008). L'administrateur central joue un rôle important dans l'attention endogène.

Les fonctions exécutives

L'administrateur central regroupe également la notion de fonctionnement exécutif. Initialement perçu comme une entité unique, l'administrateur central est maintenant mieux compris comme étant un regroupement de plusieurs fonctions exécutives qui sont essentielles au bon fonctionnement de la mémoire de travail (Repovš & Baddeley, 2006). Dans la littérature du fonctionnement exécutif, le modèle de Miyake (2000) est l'un des plus utilisés et

cité. Selon ce modèle, ce regroupement comprend trois fonctions principales, soit la flexibilité cognitive, l'inhibition ainsi que la mise à jour et la supervision des éléments en mémoire de travail (*updating*). Il y a également un consensus dans la littérature pour intégrer la capacité de planification comme faisant partie du fonctionnement exécutif (Packwood et al., 2011).

La flexibilité cognitive correspond à la capacité de coordonner les ressources cognitives afin de se désengager d'une source d'information et de s'engager sur une nouvelle source d'information (Glass et al., 2013). La mise à jour et la supervision des informations consistent à vérifier l'information pertinente à la tâche et l'intégrer, tout en élaguant les informations devenues non pertinentes à la tâche (Miyake et al., 2000). L'inhibition renvoie à la capacité d'ignorer volontairement ou de retenir une réponse automatique pour émettre une réponse contrôlée (Guarino et al., 2020 ; Miyake, Emerson, et al., 2000). L'inhibition est également un processus essentiel au fonctionnement attentionnel puisqu'elle permet d'ignorer les éléments non pertinents à la tâche (van Moorselaar & Slagter, 2020). La planification renvoie à la capacité d'organiser une succession de comportements ou d'actions afin d'atteindre un objectif spécifique (Allain et al., 2005).

1.3 La cognition chez les joueurs de jeux vidéo d'action

Tel que mentionné précédemment, les trente dernières années ont été riches d'études portant sur la cognition des joueurs de jeux vidéo d'action. Cette section offre une revue de la littérature portant sur les études transversales et d'intervention qui se sont intéressées au lien entre la cognition et la pratique de jeu vidéo. Cette littérature sera présentée en suivant le

modèle cognitif établi préalablement. Les méta-analyses en lien avec la pratique de jeux vidéo d'action et la cognition seront abordées à la fin de cette section.

Tableau 2 – Résumé des critères de sélection pour la caractérisation des groupes de joueurs de jeux vidéo

Études	Critères pour être considéré comme un joueur de jeux vidéo d'action
Hutchinson & Stocks, 2013.	10 heures par semaine
Li, Jin, Wang & Niu, 2019	8 heures par semaine, depuis 6 mois
Boot, Kramer, Simons, Fabiani, & Gratton, 2008	7 heures par semaine, depuis 2 ans
Cain, Landau & Shimamura, 2012	6 heures par semaine, depuis 6 mois
Bavelier, Achtman, Mani & Föcker, 2012	5 heures par semaine, depuis 1 an
Blacker & Curby, 2013	
Colzato, van den Wildenberg, Zmigrod & Hommel, 2013	
McDermott, Bavelier & Green, 2014	
Li, Chen & Chen, 2016	5 heures par semaine, depuis 6 mois
Green & Bavelier, 2003	4 heures par semaine, depuis 6 mois
Castel, Pratt & Drummond, 2005	
Feng, Spence & Pratt, 2007	
Karle, Watter & Shedden, 2010	
Wilms, Petersen & Vangkilde, 2013	4 heures par semaine, période
Murphy & Spencer, 2009	indéterminée
Green & Bavelier, 2006a	3 à 4 fois par semaine (nombre
Green & Bavelier, 2006b	d'heures non précisées), depuis 6
Irons, Remington & McLean, 2011	mois
Donohue, Woldorff & Mitroff, 2010	2 heures par semaine, depuis 6 mois

1.3.1 Les fonctions perceptuelles « de bas niveau »

1.3.1.1 Les fonctions perceptuelles

Les processus perceptifs sont hautement sollicités lors de la pratique de jeux vidéo. Puisque l'un des objectifs premiers des joueurs est généralement d'identifier les menaces rapidement, cela nécessite une analyse rapide et exacte de l'environnement virtuel dans lequel ils se

trouvent. Les jeux vidéo d'actions contiennent également un arrimage entre l'information visuelle et des indices ou des rétroactions auditives. En effet, la présence d'un ennemi peut être indiquée par un bruit de feuillage, alors que la sonorité produite par un projectile peut indiquer si celui-ci a atteint la cible ou pas. Ainsi, puisque les informations visuelles peuvent se conjuguer à des indices auditifs, l'intégration multisensorielle est également mise à contribution (Donohue et al., 2010).

Plusieurs études démontrent que les joueurs de jeux vidéo d'action présentent des avantages sur le plan perceptif, lorsque comparés aux non-joueurs ; ils ont de plus grands champs visuels centraux et périphériques (Buckley et al., 2010), ont une meilleure capacité à détecter des différences de luminosité (sensibilité au contraste) (Li et al., 2009 ; Strobach et al., 2016) et à percevoir des détails visuels (acuité visuelle) pour la vision centrale et périphérique (Green & Bavelier, 2007). Les joueurs de jeux vidéo d'action ont également de meilleures capacités pour distinguer les stimuli visuels et auditifs présentant des décalages et pour percevoir l'ordre d'apparition des stimuli (Donohue et al., 2010). De plus, l'étude longitudinale réalisée par Li et collègues (2009) suggère une relation de causalité entre la pratique de jeux vidéo et les bénéfices perceptifs.

1.3.1.2 La vitesse de traitement

Lors de la pratique de jeux vidéo d'action, les individus doivent traiter l'information sensorielle et émettre une réponse motrice très rapidement. Dans ce type de jeu, un plus long délai de traitement peut engendrer des conséquences négatives (p. ex., l'échec de la mission,

perte de récompense ou mort de l'avatar), ce qui incite les joueurs à être aussi rapides que possible.

En comparaison aux non-joueurs, les joueurs de jeux vidéo d'action ont une capacité à traiter l'information sensorielle et à émettre une réponse plus rapidement que les non-joueurs, et ce sans compromettre la précision de leurs réponses dans un contexte de recherche visuelle (Castel et al., 2005 ; Dye et al., 2009). Dye et ses collaborateurs (2009) estiment qu'en moyenne, les joueurs de jeux vidéo seraient 10 % plus rapides que les non-joueurs, et ce autant pour les tâches de détection simple que pour les tâches de recherche visuelle complexes.

1.3.2 La mémoire de travail

En contexte de jeux vidéo d'action, la mémoire à court terme et la mémoire de travail sont notamment sollicitées dans la manipulation de l'information visuelle résultant de la poursuite des ennemis ou dans l'application des étapes à suivre pour réussir une mission. Soulignons que la cognition spatiale et la coordination visuomotrice seront présentées comme faisant partie de la mémoire de travail en raison de la manipulation de l'information impliquée dans le déploiement de ces fonctions cognitives.

1.3.2.1 La mémoire à court terme

Les résultats de certaines recherches indiquent que les joueurs de jeux vidéo d'action peuvent encoder plus rapidement l'information en MCTv (Wilms et al., 2013) et encoder des représentations plus complexes et plus détaillées (Blacker & Curby, 2013 ; Boot et al., 2008).

En effet, les joueurs de jeux vidéo peuvent rappeler plus précisément que les non-joueurs la couleur et l'emplacement des éléments auxquels ils ont été exposés et identifier plus efficacement les différences (Boot et al., 2008 ; Sungur & Boduroglu, 2012). Bien que la recherche se soit principalement intéressée à la rétention du matériel visuel, la pratique de jeux vidéo serait également liée à des bénéfices en MCTa auprès des enfants dyslexiques en suggérant un lien de causalité (Franceschini et al., 2013).

1.3.2.2 La mémoire de travail

Les joueurs de jeux vidéo d'action performant également mieux aux tâches de mémoire de travail (Colzato et al., 2013 ; Green & Bavelier, 2006 ; McDermott et al., 2014 ; Moisala et al., 2017). Lorsqu'évaluées avec une tâche de type *N-Back*, les joueurs de jeux vidéo d'action répondent plus rapidement (McDermott et al., 2014) et plus précisément (Colzato et al., 2013 ; Moisala et al., 2017). De plus, les performances en mémoire en travail seraient indépendantes de la complexité de l'information (Blacker & Curby, 2013) et de la nature auditive ou visuelle des stimuli (Moisala et al., 2017). Cependant, lorsqu'évaluée avec une tâche d'empan spatial, aucune différence n'est objectivée entre les groupes (Boot et al., 2008).

1.3.2.3 La cognition spatiale

La cognition spatiale fut l'une des premières composantes à attirer l'attention des chercheurs dans le domaine du jeux vidéo, et ce dès les années 1980. En contexte de jeux vidéo, la cognition spatiale est sollicitée notamment dans la représentation mentale de l'environnement et des éléments en trois dimensions (Lowery & Knirk, 1982). La navigation spatiale est

également mise à contribution pour permettre au joueur de s'orienter dans l'environnement virtuel.

Les premières études longitudinales portant sur l'impact du jeu vidéo sur la cognition spatiale ont mis en lumière des bénéfices sur les habiletés de rotation mentale et de visualisation à la suite de la pratique du jeu Tetris (Okagaki & Frensch, 1994). D'autres études ont également démontré que la pratique de jeux vidéo d'action améliore les performances sur des tâches de rotation mentale, avec une amélioration plus importante chez les filles, permettant ainsi de réduire l'écart entre les sexes sur ces tâches (Feng et al., 2007 ; Spence & Feng, 2010 ; Subrahmanyam & Greenfield, 1994). Soulignons que pour parvenir à cette conclusion, les auteurs ont réalisé des études d'interventions, suggérant ainsi la causalité de l'interaction (Feng et al., 2007 ; Spence & Feng, 2010 ; Subrahmanyam & Greenfield, 1994).

En contexte de jeux vidéo, la navigation spatiale a comme caractéristique d'exclure les indices vestibulaires et kinesthésiques qui découlent des mouvements du corps lors des déplacements dans la vie réelle (Richardson et al., 2011). Dans l'environnement virtuel, deux stratégies de navigation peuvent être utilisées par les joueurs ; soit une navigation basée sur la formation de cartes cognitive pour se représenter l'environnement (c.-à-d., stratégie spatiale, *spatial strategy*) ou une navigation basée sur l'apprentissage des mouvements nécessaires pour se rendre d'un point à l'autre (c.-à-d., *response strategy*) (G. L. West et al., 2015). La stratégie de navigation utilisée aurait des impacts sur certaines structures cérébrales, soit l'hippocampe et les noyaux caudés (West et al., 2015, 2018). Les joueurs de jeux vidéo d'action privilégient

une navigation basée sur l'apprentissage des mouvements, ce qui est associé aux noyaux caudés (G. L. West et al., 2015).

1.3.2.4 La coordination visuomotrice

Afin de bien performer dans les jeux vidéo, il est essentiel de coordonner minutieusement et rapidement l'action motrice à l'information visuelle. Par exemple, si un ennemi apparaît soudainement, le joueur détecte la menace, détermine le niveau de dangerosité de la situation et doit ensuite prendre la décision appropriée dans les plus brefs délais. La première décision, qui serait de combattre l'ennemi, implique que le joueur localise la cible, déplace son point de visée (*aiming spot*) et appuie sur le bouton pour tirer. La seconde, qui serait de se cacher, nécessite que le joueur coordonne rapidement ses déplacements dans l'espace sans être vu. Or, les jeux vidéo d'action impliquent cette interaction constante entre les processus perceptifs et moteurs (*c.-à-d.* la coordination visuomotrice) (Spence & Feng, 2010). Cependant, la coordination visuomotrice sollicitée dans les jeux vidéo a la caractéristique de présenter une incohérence entre l'alignement de l'information visuelle et le contrôle moteur nécessaire afin de réaliser l'action voulue. Par exemple, compte tenu du fait que le jeu se passe dans un environnement en trois dimensions et que les appareils de contrôle du joueur sont en deux dimensions, pour déplacer le champ de vision virtuel vers le haut, l'utilisateur doit déplacer la souris vers l'avant suivant un axe horizontal ; il y a donc une différence entre le mouvement effectué par la main et le résultat sur l'écran.

Les travaux de recherche effectués dans les années 1980 relevaient des différences entre les joueurs et les non-joueurs sur la rapidité et la précision de la coordination visuomotrice (Drew

& Waters, 1986 ; Griffith et al., 1983). Cependant, cette variable semble avoir été mise de côté par la littérature récente qui n'a pas porté une attention particulière à cette question. Ainsi, peu de données sont disponibles sur la coordination visuomotrice dans le cadre des jeux vidéo d'action récents qui présentent une complexité graphique et des contraintes temporelles plus importantes.

Dans la littérature plus récente, un article de Morin-Moncet (2016) démontre que les joueurs de jeux vidéo d'action sont plus rapides dans une tâche visuomotrice, mais que l'apprentissage moteur procédural n'est pas différent des non-joueurs. La tâche utilisée ne comprenait cependant pas de composante liée à la coordination.

1.3.3 L'administrateur central

1.3.3.1 L'attention

L'environnement virtuel recréé dans les jeux vidéo est d'une grande complexité. Les jeux d'actions requièrent qu'une ou plusieurs cibles soient sélectionnées et poursuivies à travers un large champ visuel, alors que d'autres stimuli doivent être simultanément ignorés puisqu'ils n'ont aucune utilité pour la réalisation de la tâche en cours. La pénalité pour avoir perdu une cible ou pour avoir traité une information non pertinente peut se traduire par l'échec de la mission. Lors de la pratique de jeux vidéo, l'attention exogène peut être sollicitée pour identifier les cibles en mouvement ou pour diriger son attention vers le bruit des coups de feu. De l'autre côté, l'attention endogène peut être sollicitée pour repérer les motifs de camouflage qui se fondent dans l'environnement ou encore pour maintenir l'attention sur sa cible lors d'une scène mouvementée. Ainsi, étant donné leur haute sollicitation en contexte de jeu, les

fonctions attentionnelles représentent certainement le domaine le plus étudié dans la littérature contemporaine du jeu vidéo et par conséquent, une diversité de tâches et paradigmes ont été utilisés pour couvrir cette question (Bediou et al., 2018).

Plusieurs études ont mis en lumière des différences sur le plan de l'attention sélective des joueurs de jeux vidéo d'action en comparaison aux non-joueurs en utilisant des tâches de détection de cibles (Bavelier et al., 2012 ; Castel et al., 2005 ; Dye et al., 2009 ; Green & Bavelier, 2006a ; Greenfield et al., 1994). Ces travaux indiquent que les joueurs de jeux vidéo d'action sont plus rapides et plus précis, et ce peu importe si les cibles sont présentées en périphérie ou au centre du champ visuel (Castel et al., 2005 ; Hubert-Wallander et al., 2011 ; Wu & Spence, 2013). Il y a également certaines études d'intervention qui ont suggéré un lien de causalité entre la pratique de jeu vidéo et l'amélioration des capacités attentionnelles (Belchior et al., 2013; Green & Bavelier, 2003).

Des auteurs ont utilisé les tâches de poursuite d'objets multiple (*multiple objects tracking*—MOT) pour étudier les capacités attentionnelles des joueurs de jeux vidéo d'action (Boot et al., 2008; Green & Bavelier, 2006 b ; Oei & Patterson, 2013; Trick et al., 2005). Ce type de tâche implique une distribution des ressources attentionnelles parmi plusieurs cibles, et ce tout en ignorant des distracteurs. Initialement développé par Pylyshyn et Storm (1988), l'objectif initial derrière la conception de cette tâche était d'évaluer la capacité du système visuel à suivre la position de plusieurs cibles simultanément. Puisque les tâches de MOT impliquent conjointement les fonctions perceptuelles et attentionnelles, cette tâche est reconnue pour être très exigeante sur le plan cognitif (Bavelier & Green, 2019 ; Harris et al., 2020 ; Scholl et al., 2001). Le MOT a été utilisé pour étudier divers aspects de la cognition visuelle, tels que la

mémoire de travail (Fougnie & Marois, 2006 ; Postle et al., 2005), la flexibilité cognitive (Alvarez et al., 2005), la résolution spatiale (Intriligator & Cavanagh, 2001), les doubles tâches (Allen et al., 2004 ; Fougnie & Marois, 2006 ; Trick et al., 2005), le traitement des scènes visuelles complexes et l'apprentissage (Faubert, 2013). Les tâches de MOT impliquent de sélectionner les cibles parmi des distracteurs (attention sélective), de diviser les ressources attentionnelles entre celles-ci (attention divisée) et de suivre les cibles pendant une période prédéterminée (attention soutenue).

La grande malléabilité du MOT permet d'en manipuler les paramètres pour modifier le niveau de difficulté (p. ex., en modifiant le nombre de cibles, le nombre de distracteurs, la vitesse) ou pour étudier l'attention sous plusieurs angles (Fodor et al., 2009). Par exemple, la résolution temporelle de l'attention peut être évaluée par la poursuite d'une seule cible à vitesse maximale (Alvarez et al., 2005 ; Alvarez & Franconeri, 2007 ; Holcombe & Chen, 2012) alors que la différence de vitesse entre la poursuite d'une seule cible et de plusieurs cibles permet d'évaluer l'attention divisée (Roudaia & Faubert, 2017).

Les joueurs de jeux vidéo performant mieux que les non-joueurs dans les tâches de MOT (Green & Bavelier, 2006 b ; Oei & Patterson, 2013 ; Trick et al., 2005). Mentionnons néanmoins que dans ces études, les différences entre les groupes émergent qu'au-delà d'un certain seuil de difficulté. En effet, la performance entre les joueurs et les non-joueurs est similaire lorsque ceux-ci doivent poursuivre une ou deux cibles. C'est lorsqu'on accroît le niveau de difficulté de la tâche en augmentant le nombre de cibles à suivre que les joueurs de jeux vidéo se démarquent. Lorsqu'ils doivent suivre trois ou quatre cibles, ces derniers

maintiennent leur niveau d'exactitude, alors que celle des non-joueurs décline (Green & Bavelier, 2006 b ; Trick et al., 2005).

Les joueurs de jeux vidéo d'action se distinguent également par le dynamisme attentionnel dont ils peuvent faire preuve. En effet, lorsque comparés aux non-joueurs, les joueurs de jeux vidéo d'action ont une meilleure capacité à alterner entre une distribution des ressources attentionnelles sur la périphérie et une concentration de leur attention sur une cible précise afin de s'adapter aux demandes de la tâche (Green & Bavelier, 2006a). Le dynamisme attentionnel qu'ils présentent se reflète également par leur capacité à déplacer aisément leur attention d'une cible à l'autre (Colzato et al., 2013 ; Green & Bavelier, 2012). Soulignons que certains auteurs considèrent le dynamisme attentionnel comme étant le reflet de la flexibilité cognitive, et découlant ainsi du fonctionnement exécutif.

Malgré le grand nombre d'études ayant mis en lumière un avantage des joueurs de jeux vidéo d'action sur les non-joueurs en ce qui concerne le fonctionnement attentionnel, il importe de mentionner que certaines études ne suggèrent pas qu'il y ait des différences entre les groupes. En effet, certaines études n'obtiennent pas de résultats significatifs sur les mesures d'attention sélective (Cain et al., 2012 ; Irons et al., 2011) ou de distribution spatiale de l'attention (Murphy & Spencer, 2009), et ce, malgré l'utilisation de tâches et de méthodologie similaire aux études rapportées précédemment.

1.3.3.2 Les fonction exécutives

Les jeux vidéo d'action sont des environnements riches, complexes et imprévisibles dans lesquels le joueur doit conjuguer plusieurs objectifs et constamment s'ajuster aux imprévus, sollicitant ainsi les fonctions exécutives.

Premièrement, la littérature ne démontre pas de différence entre les joueurs de jeux vidéo d'action et les non-joueurs sur plusieurs tâches sollicitant l'inhibition (Strobach et al., 2016) tel que le *Go/No-go* (Oei & Patterson, 2013), le *stop signal task* (Colzato et al., 2013) et une tâche de *Backward inhibition effects* (Karle et al., 2010).

Deuxièmement, les études transversales qui se sont intéressées à la flexibilité cognitive mettent en évidence des bénéfices alors que les joueurs de jeux vidéo d'action performant mieux que les non-joueurs sur ces tâches (Andrews & Murphy, 2006 ; Colzato et al., 2010 ; Green & Bavelier, 2012 ; Strobach et al., 2016). Cependant, certains auteurs observent que cet effet est limité aux situations nécessitant de monitorer les informations pour prévoir les changements de tâches (p. ex., compter le nombre d'essais pour prévoir le changement) (Green et al., 2012 ; Strobach et al., 2012 ; Strobach & Schubert, 2021). En revanche, lorsque les changements de règles sont aléatoires et imprévisibles, l'effet s'estompe (Boot et al., 2008 ; Oei & Patterson, 2013). Ainsi, les effets de la flexibilité cognitive sont objectivés seulement lorsque les tâches permettent de prévoir le changement et donc, pourraient donc être liés à la capacité de mettre à jour les informations en mémoire de travail ou au contrôle de l'attention sélective (Karle et al., 2010 ; Strobach et al., 2016).

Troisièmement, très peu d'études se sont intéressées à l'impact des jeux vidéo sur les habiletés de planification des joueurs. La seule étude identifiée s'étant intéressée à la question ne met en lumière aucun lien entre la pratique de jeu vidéo et les aptitudes de planifications (Boot et al., 2008).

Bien que les études portant sur le lien entre la pratique de jeux vidéo et l'attention soulèvent majoritairement des liens favorables, il importe de souligner que certains travaux de recherche ne permettent pas de supporter ces liens. En effet, certaines études soutiennent qu'il serait improbable que la pratique de jeux vidéo ait un impact sur les capacités cognitives ou même qu'il y ait une différence entre les joueurs et les non-joueurs pour l'attention (Boot et al., 2008 ; Colzato et al., 2010 ; Irons et al., 2011 ; Murphy & Spencer, 2009) et la flexibilité cognitive (Boot et al., 2008 ; Karle et al., 2010). Soulignons également que certains auteurs suggèrent que l'impact de la pratique de jeux vidéo sur la cognition serait plus petit et plus fragile que rapporté dans certains articles (Sala et al., 2018).

1.3.4 Les méta-analyses d'études transversales et d'intervention examinant le lien entre la cognition et les jeux vidéo

En regardant les études individuelles, il est possible de constater que la majorité des études publiées suggèrent que les joueurs de jeux vidéo d'action présentent des avantages sur le plan perceptuel, de la vitesse de traitement, des fonctions attentionnelles, de la MCT, de la MDT et de la flexibilité cognitive. Ces résultats ont également trouvé écho dans des méta-analyses. Seulement deux méta-analyses s'intéressant au lien entre la cognition et les jeux vidéo d'action

chez les adultes ont été identifiées (Bediou et al., 2018 ; Wang et al., 2016). D'autres méta-analyses ont quant à elles regarder tous les types de jeux vidéo confondus en contrôlant le type de jeux comme modérateur (Powers et al., 2013 ; Powers & Brooks, 2014 ; Sala et al., 2018). Les différentes méta-analyses seront présentées séparément en raison de la variabilité et l'opérationnalisation des fonctions cognitives.

La première méta-analyse, celle de Wang et collaborateur (2016), s'est penchée sur les études d'intervention utilisant les jeux vidéo d'action sur des adultes en santé. Leurs résultats indiquent que les jeunes adultes bénéficient davantage de la pratique de jeux vidéo en comparaison aux adultes plus vieux avec des tailles d'effets modérées à grandes pour la vitesse de traitement et l'attention, le fonctionnement exécutif ainsi que les capacités visuospatiales. En revanche, bien que les adultes plus âgés bénéficient également de la pratique de jeux vidéo d'action pour le fonctionnement exécutif, les capacités visuospatiales, la mémoire ainsi que la vitesse de traitement et l'attention, les tailles d'effet sont petites. Les résultats sont résumés dans le Tableau 2 - Résumé de la Méta-analyse de Wang et Collègues (2016).

Tableau 3 - Résumé des résultats de la Méta-analyse de Wang et Collègues (2016) pour tous les adultes

Variables	Tests inclus	Résultats	Nombre d'études
Vitesse de traitement et attention	<i>Digit symbol test, Trail Making test—Part A, Processing speed test, filter task, enumeration task, useful field of view visual search task, pattern comparison task.</i>	Impact modéré * (Cohen's D = 0,5)	12
Capacités visuospatiales	<i>Mental rotation tasks, spatial span, block design task, center identification task, crowding</i>	Impact modéré * (Cohen's d = 0,54)	10
Fonctions exécutives	<i>Stopping task, Trail Making test—Part B, Stroop (et autres tâches similaires), flanker task, Matrices de Raven.</i>	Impact presque modéré * (Cohen's d = 0,49)	9
Mémoire	Tâches de mémoire épisodiques et sémantiques	Impact léger * (Cohen's D = 0,33)	3

* Effets observés à l'avantage des joueurs de jeux vidéo

La méta-analyse réalisée par Bediou et collaborateurs (2018) s'est intéressée à l'impact du jeu vidéo d'action sur la cognition dans le cadre d'études d'intervention et d'études transversales. Les résultats indiquent des effets robustes (grandes tailles d'effet) pour la perception, l'attention endogène et la cognition spatiale dans les études d'interventions comparant des joueurs aux non-joueurs. Des effets sont également identifiés pour le *multitasking* et la flexibilité cognitive (taille d'effet modérée), l'inhibition et la cognition verbale (petites tailles d'effet), toujours dans les études transversales comparant des joueurs aux non-joueurs. Soulignons que dans cette méta-analyse, les résultats évaluant la MCTa et la MDTa ont été regroupés sous la variable de la cognition verbale, expliquant ainsi l'effet observé sur cette variable, selon les auteurs. Il en va

de même pour les tâches de MCTv et MDTv qui sont regroupées sous la variable de la cognition spatiale. Les résultats sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Résumé des Résultats de la Méta-analyse de Bediou et collègues (2018)

Variables	Études d'intervention	Études transversales
Perception	N.S (g = 0.23)	Grande taille d'effet * (g = 0,78)
Attention endogène	Petite taille d'effet * (g = 0,31)	Taille d'effet modéré * (g = 0,63)
Cognition spatiale	Taille d'effet petite à modérée * (g = 0,44)	Taille d'effet modérée à grande * (g = 0,75)
Doubles tâches/ flexibilité cognitive	N.S (g = 0.29)	Taille d'effet modéré * (g = 0,55)
Inhibition	Non inclus	Petite taille d'effet * (g = 0,31)
Résolution de problème	Non inclus	Taille d'effet modéré * (g = 0,5)
Cognition verbale	N.S (g = 0.53)	Petite taille d'effet * (g = 0,3)

Note. NS = Non significatif .

* Effets observés à l'avantage des joueurs de jeux vidéo

D'autres méta-analyses se sont intéressées à l'impact des jeux vidéo de tous genres sur la cognition en incluant le type de jeux comme modérateur. Une première méta-analyse réalisée par Power et collaborateurs (2013) indique que les jeux vidéo d'action sont associés à des bénéfices sur la cognition dans les études d'interventions et les études transversales. Cependant, les analyses réalisées ont regroupé l'entièreté les mesures des différentes études sous une même variable plutôt que de les regrouper par fonctions cognitives, rendant la source de cet effet difficile à identifier. Dans leur rapport subséquent, Power et Brooks (2014) ont identifié des effets significatifs pour les fonctions perceptuelles et les capacités spatiales dans les études

d'interventions utilisant les jeux vidéo d'action, mais pas pour les fonctions exécutives et motrices.

Finalement, la méta-analyse de Sala et collaborateurs (2018) indique que l'impact de la pratique de jeux vidéo (tous genres confondus) sur la cognition serait nul ou faible, et ce pour les études d'intervention et transversales. Les auteurs expliquent ces résultats qui contrastent avec les autres méta-analyses par leurs critères de sélection plus restrictifs. Cependant, lorsqu'isolés, les joueurs de jeux vidéo d'action performant mieux que les non-joueurs pour l'attention visuelle et les fonctions perceptuelles dans leur méta-analyse.

Ainsi, la majorité des études et méta-analyses présentées indiquent que la pratique de jeux vidéo d'action serait liée à des avantages sur le plan cognitif. Néanmoins, aucun résultat probant sur les joueurs professionnels de jeux vidéo n'a été identifié et cela représente un manque dans la littérature actuelle. En effet, aucune étude s'intéressant à la cognition des joueurs professionnels de jeux vidéo d'action n'a été identifiée, ni même d'étude comparant cette population à des joueurs habituels.

1.3.5 Les théories explicatives

Initialement, les avantages attentionnels liés à la pratique de jeux vidéo étaient interprétés comme découlant d'une meilleure sélection de l'information dans les premières étapes du traitement perceptif. Cependant, des études en électroencéphalographie ont suggéré que les bénéfices semblent mieux expliqués par une amélioration du contrôle attentionnel. En effet, ces travaux ont identifié que l'activité neuronale dans les aires occipitales (associées aux premières étapes du traitement de l'information) était similaire entre les joueurs et les non-joueurs, alors

que l'activité cérébrale au niveau des lobes pariétaux (impliqués dans le contrôle attentionnel) était différente (Föcker et al., 2018, 2019 ; Wu et al., 2012). À ce jour, l'hypothèse qui retient l'attention dans la littérature est que les performances supérieures des joueurs de jeux vidéo d'action découlent d'un meilleur contrôle endogène des ressources attentionnelles (*attention top-down*) (Bavelier & Green, 2019 ; Chisholm & Kingstone, 2012), ce qui permettrait d'expliquer l'étendue de ces résultats.

Green et Bavelier (2019) définissent le contrôle attentionnel comme l'habileté de traiter les stimuli pertinents tout en ignorant les distracteurs, et en surveillant l'environnement pour identifier de nouvelles sources d'information, se rapprochant ainsi au rôle de l'administrateur central du modèle de Baddeley. Cette définition du contrôle attentionnel comprend ce qui est traditionnellement identifié comme de l'attention sélective et de l'attention divisée, ce qui permet de détecter et d'analyser les changements dans l'environnement, tout en ajoutant des notions liées au fonctionnement exécutif telles que la flexibilité cognitive, l'inhibition et la manipulation en mémoire de travail (Bavelier & Green, 2019). Ainsi, les plus récents travaux de recherche suggèrent que le contrôle attentionnel serait au cœur des performances des joueurs de jeux vidéo d'actions sur diverses tâches cognitives.

1.4 Les enjeux méthodologiques

Les recherches portant sur la pratique de jeux et la cognition se heurtent à des défis méthodologiques sur le plan de la constitution des groupes de joueurs et de l'opérationnalisation de la cognition. Ces défis limitent le développement et la portée théorique des modèles sur l'influence de la pratique de jeux vidéo sur la cognition et limitent notre

compréhension du phénomène. Ces éléments sont pourtant essentiels si l'on aspire un jour à l'utilisation des jeux vidéo à des fins cliniques.

Premièrement, la majorité des études réalisées dans le domaine utilisent un devis transversal en comparant des joueurs de jeux vidéo d'action à des non-joueurs. Bien que ce type d'étude permette de mettre en lumière les différences entre les groupes, il ne permet pas d'établir la causalité de l'interaction. De ce fait, l'une des questions qui demeurent en suspens est de savoir si la pratique de jeux vidéo améliore la cognition des joueurs, ou si les joueurs de jeux vidéo présentent initialement de meilleures capacités cognitives, ce qui leur permet de performer en jeux vidéo (effet d'autosélection).

Deuxièmement, la considération pour le genre de jeu jouer peut représenter un défi dans la constitution des groupes. Au fil des dernières années, les habitudes de jeu dans la population ont grandement évolué (Dale et al., 2020). Au début des années 2000, la majorité des participants recrutés pour les études en jeux vidéo d'action avait un historique de jeu assez restreint, ce qui rendait le classement relativement facile entre les groupes (joueurs de jeux vidéo d'action ou non-joueurs) en se basant sur leur historique de jeu de la dernière année (Dale et al., 2020). En contraste, les jeunes adultes d'aujourd'hui sont nés dans l'ère du jeu vidéo, ils affichent donc un historique beaucoup plus long et beaucoup plus varié. Cela complique dans un premier temps le recrutement d'adultes n'ayant jamais joué aux jeux vidéo pour constituer un groupe contrôle de non-joueurs. Ensuite, cela complique la constitution d'échantillons de joueurs ne jouant qu'à un seul genre de jeu. Lorsque conjugué au fait que les données autorapportées en lien avec l'historique de jeu sont peu fiables (Dale et al., 2020) (Dale et al., 2020), cela complexifie l'élaboration d'échantillons dans les études.

Troisièmement, certains auteurs ont mis en lumière le manque de dimensions considérées dans la caractérisation des joueurs (Bavelier & Green, 2019 ; Latham et al., 2013). En effet, la majorité des études citées précédemment n'ont considéré que le temps de jeu afin de constituer leurs groupes. Typiquement, une pratique quelques heures par semaine depuis les six derniers mois suffit afin d'être classée comme un joueur de jeux vidéo ou un « expert » en jeux vidéo. Cependant, tel qu'argumenté par Latham, Patston et Tippet (2013), ce critère ne parvient pas à apprécier les différences entre les joueurs respectivement à leur niveau d'expertise en les considérant comme un bassin homogène. De plus, ce critère minimise le qualificatif d'expert.

En effet, le critère habituellement utilisé dans les études pour être qualifié de joueurs ou d'experts en jeux vidéo est d'environ six heures de pratique par semaine (Andrews & Murphy, 2006 ; Boot et al., 2008 ; Green & Bavelier, 2003). Cependant, ce critère ne différencie pas les joueurs pratiquant six heures par semaine depuis les six derniers mois, de ceux jouant plus de 20 heures par semaine depuis 10 ans. Par ailleurs, la prémisse que le temps de jeu est garant de l'expertise d'un joueur est erronée (Ericsson & Towne, 2013 ; Latham et al., 2013). Ainsi, l'utilisation d'un critère de performance jumelé au critère de temps serait plus susceptible de permettre une catégorisation juste et efficace des différents profils de joueurs de jeux vidéo. En retour, une telle catégorisation semble être un point de départ essentiel pour mettre en relief les différences entre les groupes et comprendre les processus qui sous-tendent les performances. À l'instar de ce qui s'est fait pour la caractérisation de l'expertise dans le domaine sportif, il est maintenant bien établi que les différents niveaux d'expertise se distinguent par des déterminants cognitifs et perceptifs.

1.5 La caractérisation de l'expertise

L'expertise est un attribut qui renvoie à de grandes connaissances dans un domaine précis, ce qui influence la qualité et la fiabilité de la performance des individus (Chi et al., 2014). Dans cette optique, les experts sont des individus qui offrent des performances extraordinaires de façon constante (Ericsson et al., 2018). Ces individus ont généralement développé leurs habiletés et leurs connaissances en dédiant un temps substantiel à leur sport, leur passe-temps ou leur profession (Chi et al., 2014 ; Ericsson & Towne, 2013 ; Farrington-Darby & Wilson, 2006). Depuis de nombreuses années, les chercheurs s'intéressent aux performances extraordinaires des experts dans divers domaines, tels que les sports (Starkes & Ericsson, 2003 ; Williams & Ericsson, 2005), la musique (Lehmann et al., 2018 ; Lordo, 2021), les échecs (Gobet & Charness, 2018 ; Van Der Maas & Wagenmakers, 2005) et même la médecine (Tang & Giddins, 2016).

1.5.1 L'expertise en contexte sportif

Le paradigme utilisé dans la cadre de cette thèse s'appuie principalement sur les travaux menés dans le domaine de l'expertise sportive alors que plusieurs auteurs soutiennent que les caractéristiques inhérentes aux jeux vidéo compétitifs satisfont aux critères du sport traditionnel (Hemphill, 2005 ; Jonasson & Thiborg, 2010 ; Reitman et al., 2020 ; Rosell Llorens, 2017). Dans cette littérature, une distinction est faite entre les experts et les élites.

L'expertise est un qualificatif qui renvoie à la constance et la qualité des performances d'un individu (Farrington-Darby & Wilson, 2006). Dans le domaine du sport, un individu qui dédie plus de 10 000 heures à la pratique de son sport est généralement caractérisé d'expert dans son domaine (Ericsson et al., 1993). En revanche, le terme « élite » renvoie au niveau de

performance atteint par un individu (Reimann & Markauskaite, 2018). Par exemple, un entraîneur de hockey qui possède des connaissances approfondies sur les tactiques et les techniques du sport est un expert, mais il ne pourrait pas être qualifié d'élite s'il n'est pas en mesure de performer selon les plus hauts standards. Dans la même veine, les athlètes qui performant dans des ligues professionnelles ou qui prennent part à des compétitions internationales sont considérés comme étant des experts-élites alors qu'ils possèdent des connaissances approfondies dans leur sport et qu'ils performant au plus haut niveau (Swann et al., 2015).

Spécifions cependant que dans le domaine du sport, le temps dédié à la pratique d'une activité n'est pas forcément lié au niveau de performance atteinte et donc, un individu ne peut être qualifié d'élite seulement en fonction du temps dédié à l'activité d'intérêt (Ericsson & Towne, 2013). Ainsi, un expert n'est pas forcément un élite, alors qu'un élite est également un expert en raison des connaissances qu'il possède sur son sport. En comparaison aux joueurs novices ou amateurs, les experts-élites ont plus de connaissances spécifiques à leur discipline et vont mieux utiliser ces connaissances pour efficacement identifier, manipuler et utiliser ces informations pour soutenir leur performance (Chi et al., 2014 ; Mann et al., 2007).

Depuis plusieurs années, l'identification des caractéristiques individuelles qui supportent ou limitent le développement des aptitudes à un niveau élite, de même que les éléments qui soutiennent le déploiement des performances est devenue une question d'intérêt dans la compréhension des performances sportives (Charness & Tuffiash, 2008 ; Ericsson & Smith, 1991). À cet effet, certains auteurs incluent à même la notion d'expertise les mécanismes cognitifs qui la soutiennent, tels que la mémoire à court terme, la mémoire de travail ou la

flexibilité cognitive (Chi et al., 2014 ; Voss et al., 2010).. Selon cette perspective, la compréhension et la description de l'expertise passent par l'étude des déterminants cognitifs qui la sous-tendent (Scharfen & Memmert, 2019 ; Voss et al., 2010). Cette approche, nommée *cognitive component skill*, cherche donc à dénuer les environnements expérimentaux du contexte sportif afin de caractériser les fonctions cognitives fondamentales de la performance (Voss et al., 2010).

1.3.3.2 La cognition des experts-élites

Les études portant sur la performance sportive ont démontré que les différents niveaux d'athlètes (p. ex., amateurs, semi-professionnels, professionnels) sont, en partie, caractérisables par leurs habiletés cognitives et perceptuelles. En effet, il est maintenant bien établi que l'expertise-élite dans les sports est reliée à une performance de haut niveau dans divers domaines cognitifs tels que la rapidité de traitement de l'information, l'attention visuospatiale ainsi que le contrôle exécutif (Alves et al., 2013 ; Voss et al., 2010). Des auteurs ont également identifié de meilleures capacités d'anticipation et de prise de décision chez les élites, ce qui permettrait d'expliquer leurs performances supérieures sur le terrain (Romeas et al., 2016).

Dans les sports, l'anticipation et la prise de décision reposent essentiellement sur la capacité du cerveau à extraire l'information pertinente dans une situation donnée, ce qui est essentiel pour une performance de haut niveau (Casanova et al., 2009). Cette capacité, généralement nommée capacité perceptivo-cognitive, renvoie au rôle essentiel des processus perceptifs et cognitifs impliqués. Or, il s'avère que les élites présentent des capacités exceptionnelles pour ces tâches, et ce, bien que celles-ci soient non-contextuelles (c.-à-d., non reliées à l'expertise

sportive développée par les athlètes). Par ailleurs, il a été démontré que le niveau de performance est également caractérisable par les capacités d'apprentissage des athlètes sur des tâches perceptivo-cognitives. En effet, les athlètes élites-professionnels présentent des courbes d'apprentissage significativement plus rapides que les joueurs élites-amateurs (tels que des joueurs universitaires) ou les non-athlètes sur une tâche de 3D-MOT (Faubert, 2013).

1.6 Le positionnement du problème

À notre connaissance, aucune étude ne s'est penchée sur l'expertise en jeux vidéo d'action en utilisant un critère de performance comme critère différenciateur des groupes expérimentaux. Tel que discuté précédemment, la majorité des études citées n'ont considéré que le temps de jeu afin de constituer leur groupe de joueurs de jeux vidéo, parfois nommé « experts ». Typiquement, une pratique quelques heures par semaine depuis les six derniers mois suffit afin d'être classé comme un « expert » en jeux vidéo (Andrews & Murphy, 2006 ; Boot et al., 2008 ; Green & Bavelier, 2003 ; Sepúlveda et al., 2014). Cependant, tel que démontré dans la littérature sur l'expertise sportive et tel qu'argumenté par Latham, Patston et Tippet (2013), ce critère ne parvient pas à apprécier les différences entre les joueurs respectivement à leur niveau d'expertise en les considérant comme un bassin relativement homogène.

En s'inspirant des études dans le domaine de l'expertise sportive, la caractérisation des facteurs cognitifs différenciateurs des joueurs élites en contexte de jeux vidéo serait un angle complémentaire aux études actuelles qui ne s'intéresse actuellement qu'aux joueurs amateurs. De plus, la croissance et la reconnaissance du *e-sport* dans la dernière décennie facilitent

maintenant la distinction entre les différents niveaux d'expertise dans le domaine des jeux vidéo et ouvrent la porte à une approche inspirée de l'étude de l'expertise sportive.

Comme pour bien des domaines, la caractérisation de l'expertise constitue une pierre angulaire de la compréhension de la performance des individus. Ainsi, la caractérisation cognitive des experts-élites est susceptible de mettre en lumière les habiletés et les processus sous-jacents à la pratique de jeux vidéo et ainsi permettre l'approfondissement théorique et empirique du domaine de recherche (Feltovich et al., 2006 ; Williams et al., 2011). Ces informations pourraient permettre de mieux comprendre les facteurs contribuant au développement de l'expertise ainsi qu'aux tenants et aboutissants du lien entre la pratique de jeux vidéo et la cognition.

Chapitre 2 – Méthodologie

Le présent chapitre abordera les aspects méthodologiques de cette thèse. Le devis ainsi que la constitution et le recrutement des groupes de participants seront d'abord présentés. Ensuite, les différentes mesures seront discutées, de même que la description du protocole expérimental. La dernière section de ce chapitre consistera en une description des objectifs, des hypothèses et de la contribution des différents auteurs pour chacun des articles.

2.1 Le devis expérimental

La méthodologie utilisée pour cette thèse est un devis transversal à deux groupes. Puisque l'objectif de la thèse est d'identifier les caractéristiques distinctives des experts-élites en jeux vidéo d'action, un groupe de joueurs professionnels est comparé à un groupe de joueurs amateurs dans cette même catégorie de jeux. Le groupe de joueurs amateurs a été choisi en tant que groupe de référence et a été privilégié au groupe contrôle de non-joueurs afin de mettre en lumière l'hétérogénéité parmi les joueurs de jeux vidéo, mais également en raison de la difficulté de recruter des groupes de jeunes adultes n'ayant jamais joué aux jeux vidéo (Dale et al., 2020).

Les groupes seront comparés sur leurs performances à plusieurs tâches évaluant différentes capacités cognitives qui sont sollicitées par la pratique de jeux vidéo ou qui se sont montrées distinctives chez les joueurs de jeux vidéo d'action.

2.2 Les participants

Les deux groupes de joueurs ont été opérationnalisés selon un critère de performance et de temps de jeu. Premièrement, le groupe d'experts-élites est constitué de joueurs professionnels évoluant dans la ligue Overwatch aux États-Unis dans le club des Houston Outlaws. Ces derniers ont complété le protocole expérimental à leurs centres d'entraînement situés à Los Angeles (Californie) et à Frisco (Texas). Les participants du groupe d'amateurs ont été recrutés sur les réseaux sociaux. Les critères de sélection du groupe d'amateur impliquent une pratique de jeux vidéo d'action à la première personne variant de 6 à 12 heures par semaine depuis les 6 derniers mois. Ce critère a été retenu afin de constituer un groupe similaire à ce qui a été utilisé dans la littérature (Bediou et al., 2018). D'autre part, tous les joueurs devaient jouer à des jeux vidéo d'action de tirs à la première personne afin de contrôler le mieux possible la variance attribuable au type de jeux. Dans le but de contrôler le niveau de performance, les joueurs amateurs devaient se situer dans les niveaux de performance débutants à intermédiaire dans leur jeu de tir à la première personne habituel et ne devaient pas avoir participé à des compétitions de jeux vidéo dans le passé. Les joueurs du groupe d'amateurs ont complété les mesures à domicile dans une pièce dépourvue au maximum de distraction. Tous les participants devaient rapporter une vision normale, ne pas présenter de condition neurologique, musculo-squelettique, cardiaque et vestibulaire.

Dans le but d'assurer l'homogénéité du contexte de passation entre les participants, certaines mesures préventives ont été déployées. Pour les joueurs amateurs, les mesures ont été prises dans une grande pièce, souvent le salon ou la cuisine, dépourvue au maximum de distractions (téléviseurs fermés, cellulaire muet, absence ou isolement des autres habitants de la maison).

Pour les joueurs professionnels, les mesures ont été prises dans un local calme et fermé. Pour tous les participants, les mesures neuropsychologiques étaient prises entre 11 heures et 16 heures, alors que les entraînements en 3D-MOT pouvaient se faire jusqu'à 19 heures. Un effort a été fait afin de mélanger les heures d'entraînement de 3D-MOT pour chaque participant de façon à éviter les biais systématiques liés à l'heure de complétion des entraînements.

Les participants de tous les groupes ont rempli un questionnaire maison permettant de recenser leurs habitudes de jeux vidéo selon les dimensions principales relevées dans la littérature (annexe 1). Ce questionnaire permettait également d'assurer que les joueurs du groupe d'amateurs jouaient principalement à des jeux de tirs à la première personne dans le but de contrôler pour le genre de jeux joués (Dale et al., 2020 ; Spence & Feng, 2010). Puisque l'âge des participants s'est montré comme étant une variable modératrice de l'impact du jeu vidéo sur la cognition (Bediou et al., 2018), un effort a été fait pour que l'âge des groupes soit similaire. Spécifions que le recrutement des joueurs amateurs a été orienté de façon à se rapprocher le plus possible de l'âge des joueurs professionnels en raison de la plus grande facilité à recruter les participants de ce groupe.

Ensuite, certaines études suggèrent une cooccurrence entre la pratique intensive de jeux vidéo et les affects dépressifs (Loton et al., 2016 ; Wang et al., 2018). Puisque les symptômes dépressifs ont des impacts sur la cognition des individus (Gotlib & Joormann, 2010 ; Grahek et al., 2019), les participants ont complété l'inventaire de dépression de Beck-II (*Beck depression inventory*, BDI-II) pour l'identification rapide des symptômes dépressifs. Le critère d'exclusion était de 20 points, correspondant à des symptômes dépressifs modérés (Beck et al., 1996). Si un participant obtient un tel résultat ou si la présence d'idées suicidaires est

indiquée, un protocole de soutien et de référencement était mis en place. Aucun participant n'a été exclu de l'étude basée sur cette mesure. Les détails des échantillons sont décrits dans le Tableau 4.

Les données recueillies auprès de certains participants ont été exclues des analyses en raison de problèmes techniques d'enregistrement des données et d'une maîtrise insuffisante de l'anglais de la part de deux participants dont la langue maternelle était le coréen. Conséquemment, les données sociodémographiques varient légèrement entre les deux articles.

En tout, 14 joueurs professionnels ont été évalués dans le cadre de cette thèse et aucun participant ne fut exclu. Pour les joueurs amateurs, 20 participants ont été rencontrés. Deux individus ont été exclus parce qu'ils jouaient plus de 20 heures par semaine et parce qu'ils avaient déjà pris part à des compétitions officielles de jeux vidéo et deux ont été exclus en raison des conditions environnementales non adéquates lors des rencontres initiales.

Tableau 4 - Données Sociodémographiques par Groupes

	Professionnels (n=14)	Amateurs (n=16)	Comparaison entre les groupes
	Moyenne (écart-type)	Moyenne (écart-type)	
Âge (année)	23,66 (2,44)	25,31 (3,77)	t (25,9) = -1,44, p = 0,16
Genre (hommes : femmes)	14:0	12:4	N /A
BDI-II	6,85 (5,27)	4,93 (4,62)	t (24,1) = 1,01, p = 0,32
Âge à laquelle ils ont commencé à jouer aux jeux vidéo	6,93 (2,81)	9,47 (3,48)	t (26,8) = 0,18, p = 0,86
Moyenne d'heures par semaine consacrée à la pratique de FPS depuis les 6 derniers mois (h)	55,79 (16,72)	9,47 (3,48)	t (14) = 10,18, p = 0,00
Jeu le plus fréquemment jouer	Overwatch (14)	Counter Strike (7), Call of Duty (3), Overwatch (3), Rainbow 6 (1), Player Unknown's Battlegrounds (1), Battlefield 4 (1),	N/A
Langue maternelle	Anglais (10), Coréen (2), Français (1) Finnois (1)	Français (16)	N /A

2.3 Les mesures

Afin de caractériser la cognition des joueurs, un protocole d'évaluation neuropsychologique a été élaboré. Les domaines cognitifs couverts par le protocole avaient comme objectif de couvrir les principaux domaines cognitifs sollicités dans la pratique de jeux vidéo d'action (Bavelier & Green, 2019 ; Spence & Feng, 2010), mais également de couvrir les domaines cognitifs s'étant illustrés comme étant supérieurs chez cette population (Bediou et al., 2018). Afin d'aller plus en profondeur dans la caractérisation attentionnelle de nos groupes, deux tâches supplémentaires ont été retenues dans le protocole expérimental, soit le une tâche de poursuite attentionnelle à une et à trois cibles, ainsi que le 3D-MOT.

2.3.1 La vitesse de traitement

2.3.1.1 Codes – WAIS-IV

La vitesse de traitement de l'information a été évaluée avec l'épreuve des Codes de la WAIS-IV (*Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth edition*; Weiss et al., 2010) et le nombre total de cibles traitées dans la tâche D2 (Bates & Lemay, 2004). Le Code est un test chronométré de deux minutes dans lequel le participant doit transcrire le plus de symboles qui sont associés à des chiffres de un à neuf. Cette mesure a démontré une bonne consistance interne chez les jeunes adultes ($\alpha = 0.85$) et corrèle fortement avec le résultat à l'échelle de vitesse de traitement de la WAIS-IV (0,89) (Wechsler, 2008), reflétant une validité et une fidélité adéquate.

2.3.1.2 D2 – Test d'attention

Le D2 est un test d'attention permettant d'évaluer l'attention sélective, l'attention soutenue et la vitesse de traitement (Brickenkamp & Zillmer, 1998). Cet outil a été utilisé pour mesurer la vitesse de traitement de l'information, ainsi que les fonctions attentionnelles (voir section

2.3.5.1). Dans ce test, le participant doit inspecter le plus rapidement possibles des lignes composées de « *p* » et de « *d* » ayant de un à quatre traits, et identifier correctement les « *d* » ayant exactement deux traits (soit deux traits en haut, deux traits en bas ou un trait de chaque côté). Une bonne performance à ce test nécessite donc un traitement rapide et minutieux de l'information visuelle dans lequel le nombre total de stimuli correctement traité (TN-E) est une mesure de vitesse de traitement de l'information (Bates & Lemay, 2004 ; Brickenkamp & Zillmer, 1998). Cette mesure présente une fidélité ($r > 0,9$) (Brickenkamp & Zillmer, 1998) et une validité élevée ($\alpha = 0.97$) (Bates & Lemay, 2004).

2.3.2 La coordination visuomotrice

2.3.2.1 Grooved Pegboard

La coordination visuomotrice a été évaluée avec le Grooved Pegboard. Ce test implique d'insérer une cheville de métal avec un rebord dans une fente. Un ajustement moteur fin est donc nécessaire pour insérer correctement la cheville. L'objectif du test est d'insérer les chevilles le plus rapidement possible dans les 25 fentes avec la main dominante d'abord, et ensuite, avec la main non dominante. La corrélation test-retest est bonne, attestant de la bonne fidélité de la mesure ($r=0.86$) (Dikmen et al., 1999). La validité de l'outil est considérée modérée à la lumière de ses corrélations avec d'autres instruments évaluant la motricité (Strauss et al., 2006).

2.3.3 La mémoire à court terme et la mémoire de travail

Puisque les mesures en mémoire à court terme et en mémoire de travail sont dérivées des mêmes outils, ceux-ci seront présentés conjointement.

2.3.3.1 Séquences de chiffres – WAIS-IV

Le sous-test de Séquence de chiffre de la *WAIS-IV* a été utilisé pour évaluer la MCTa et la MDTa. Ce test consiste à donner oralement des séquences de chiffres aux participants, lequel doit ensuite répéter la séquence dans le même ordre (MCTa) (Richardson, 2007 ; Woods et al., 2011), ou dans l'ordre inverse et croissant (MDTa) (Strauss et al., 2006 ; Weiss et al., 2010). Le résultat obtenu à l'échelle globale de ce test corrèle fortement avec le résultat avec l'indice de Mémoire de travail de la WAIS-IV ($r = 0,86$), reflétant d'une bonne validité. De plus, la fidélité test-retest est bonne chez les jeunes adultes ($r = [0,88-0,93]$) (Wechsler, 2008).

2.3.3.2 Empan spatial – WMS-III

L'empan spatial est un sous-test de l'échelle de mémoire de Wechsler (*Wechsler memory scale*, WMS-III) permettant l'évaluation de la MCTv et la MDTv. Cette épreuve consiste en neuf blocs disposés de façon irrégulière sur un planche. L'évaluateur doit toucher des blocs selon une séquence prédéterminée, laquelle doit être reproduite par le participant dans le même ordre (MCTv) ou dans l'ordre inverse (MDTv). Les indices de consistance interne et de stabilisé temporelle pour l'échelle totale sont adéquats avec des coefficients entre 0,70 et 0,79 (Strauss et al., 2006).

2.3.4 La manipulation visuospatiale

2.3.4.1 Casse-tête visuels – WAIS-IV

Les capacités visuospatiales ont été évaluées avec l'épreuve des Casse-têtes visuels de la WAIS-IV. Le test consiste à sélectionner trois formes parmi un choix de six qui permettent de reproduire un modèle. Cette épreuve implique donc de visualiser et de manipuler mentalement

des formes abstraites. Cette mesure a démontré une bonne consistance interne chez les jeunes adultes ($\alpha = 0.85$) et corrèle fortement avec le résultat à l'échelle de raisonnement perceptif de la WAIS-IV ($r = 0,81$), reflétant une bonne validité et une bonne fidélité (Wechsler, 2008).

2.3.5 Les fonctions attentionnelles

2.3.5.1 D2 – Test d'attention

Les fonctions attentionnelles ont été évaluées avec le D2, un test chronométré permettant d'évaluer l'attention sélective et l'attention soutenue (Brickenkamp & Zillmer, 1998). Le test est décrit à la section 2.3.1.3. L'attention sélective est estimée par le nombre total de cibles correctement identifiées, moins le nombre d'erreurs de commissions réalisées (*concentration performance* - CP). Cette mesure est normalement distribuée, fiable et représente le mieux la performance totale du participant en termes de rapidité et de précision (Bates & Lemay, 2004 ; Brickenkamp & Zillmer, 1998). Le pourcentage d'erreurs lors de la tâche est un indicateur de la qualité de la performance du participant ($E \% = \text{nombre d'erreurs} / \text{total de stimuli traités}$). Les données extraites de cette mesure ont été interprétées avec prudence en raison des indices de fidélité et de validité plus faible (Brickenkamp & Zillmer, 1998). Le taux de fluctuation (*fluctuation rate* - FR) évalue la consistance de la performance tout au long du test et permet une appréciation de la capacité à soutenir l'attention. Aucune donnée n'est disponible quant à la validité et la fidélité de cette mesure (Brickenkamp & Zillmer, 1998).

2.3.6 Les fonctions exécutives

2.3.6.1 Tours – D-KEFS

La planification a été évaluée avec le sous-test de la Tour du *Deli-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS). Cette épreuve consiste à déplacer cinq disques sur trois chevilles afin de

reproduire une tour modèle avec le moins de mouvement possible. La consistance interne de cette épreuve est modérée ($\alpha = [0.60 - 0.69]$) (Homack et al., 2005), tout comme sa validité de critère (Larochette et al., 2009), attestant d'une fidélité et d'une validité adéquates.

2.3.6.2 Interférence couleur-mot – D-KEFS

Le sous-test d'interférence couleur-mot de la *D-KEFS* a été utilisé comme mesure d'inhibition et la flexibilité cognitive. Une planche de stimuli est présentée au participant, sur laquelle est écrit trois couleurs (rouge, vert ou bleu). Chaque mot est écrit avec une couleur d'encre discordante (p. ex., le mot rouge est écrit en bleu). Le participant doit alors nommer, aussi rapidement que possible, la couleur de l'encre de chacun des mots, ce qui implique d'inhiber la lecture des mots et produit un effet d'interférence connu sous le nom d'effet Stroop (Augustinova & Ferrand, 2007). Dans la condition suivante, le participant doit alterner entre deux règles ; celle de nommer la couleur de l'encre, ou de lire le mot lorsque celui-ci est encadré, offrant alors une mesure de flexibilité cognitive. Pour les conditions d'inhibition et de flexibilité cognitive, les participants sont évalués sur leur vitesse et leur précision. Deux conditions contrôles sont réalisées au préalable (lecture de mots et dénomination de couleur). La stabilité temporelle de l'instrument est adéquate ($r = [0,70 - 0,89]$) (Suchy & Brothers, 2022).

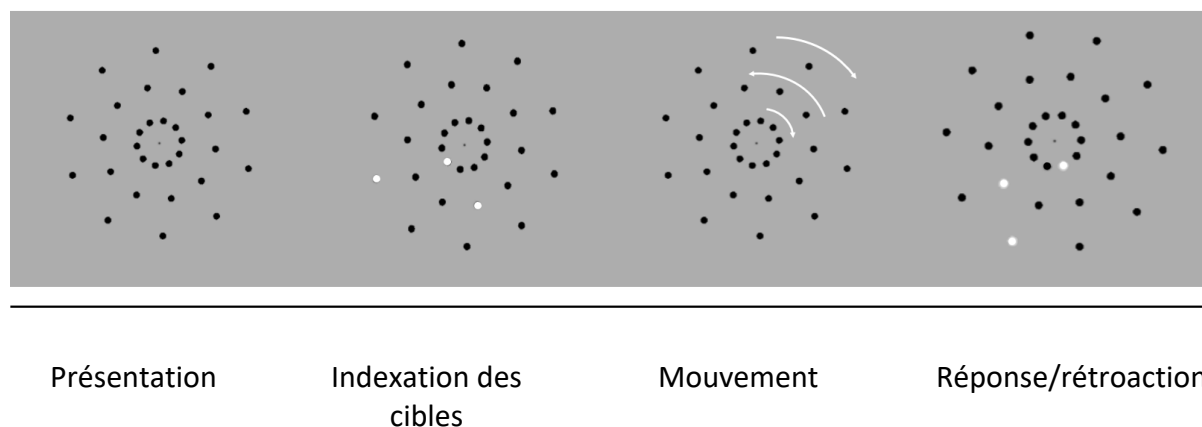
2.3.7 Mesure de résolution temporelle de l'attention et d'attention divisée

Dans le but de mesurer la résolution temporelle de l'attention et l'attention divisée, nous avons utilisé une adaptation de la tâche de poursuite attentionnelle (*attentional tracking task*—ATT)

initialement conçue par Holcome & Chen (2012). La tâche était réalisée dans un casque de réalité virtuelle Fove (Fove inc., Tokyo).

Lors de la tâche, les participants devaient maintenir leur regard sur un point vert au centre de la projection pour la totalité de l'épreuve. Chaque essai de la tâche d'ATT comprenait quatre étapes (*Figure 3*). Premièrement, trois cercles composés chacun de dix points noirs également dispersés sur leur circonférence étaient présentés. Ensuite, une ou trois cibles (au maximum une cible par cercle) devenaient blanches pour deux secondes afin de les identifier comme cibles. Troisièmement, lorsque tous les points étaient redevenus noirs, le mouvement débutait. Pendant le mouvement, les trois cercles tournaient dans le sens horaire ou antihoraire de façon aléatoire, en changeant de direction trois à quatre fois par essai. Les changements de direction étaient indépendants pour chacun des cercles et l'intervalle entre les changements de direction était imprévisible, variant entre 0,50 et 2,50 secondes. Lorsque le dernier cercle a atteint le quatrième changement de direction, les cibles s'immobilisent et le participant doit identifier les cibles à l'aide d'une souris d'ordinateur. Chaque essai était d'une durée moyenne de sept secondes ($M : 7,00$ s, $ÉT = 0,85$ s., minimum : 4,70 secondes, maximum : 9,60 secondes). Une rétroaction était ensuite donnée au participant.

Figure 1 - Illustration de la tâche de poursuite attentionnelle à trois cibles (ATT-3)



Pour chacun des participants, la vitesse initiale des tâches de poursuite attentionnelles était établie au seuil arbitraire de 0,50 radian par seconde. La vitesse était ensuite ajustée à la hausse ou à la baisse par 0,20 unité logarithmique en fonction de la réponse des participants (la vitesse augmentait avec une bonne réponse, et diminuait avec une mauvaise réponse). Après la troisième et cinquième inversion, les changements de vitesse ont diminué à 0,10 et 0,05 unité logarithmique, respectivement.

Pour la tâche évaluant la résolution temporelle de l'attention, les participants devaient suivre une seule cible à la fois (ATT-1). La cible pouvait se retrouver sur n'importe lequel des trois cercles, avec 14 essais complétés sur chacun d'entre eux (42 essais totaux). Le seuil de vitesse obtenu pour la poursuite d'une cible correspond à la mesure de résolution temporelle de l'attention (Holcombe & Chen, 2012 ; Roudaia & Faubert, 2017).

Lors de la tâche d'attention divisée, les participants devaient suivre trois cibles simultanément (ATT-3), soit une sur chacun des cercles. Un total de 42 essais était également complété pour cette condition. La diminution de la vitesse entre la poursuite d'une cible et de trois cibles représente la mesure d'attention divisée (Roudaia & Faubert, 2017). Aucune donnée de validité et de fidélité n'est disponible pour les tâches de poursuite attentionnelles étant donnée leur adaptation au contexte expérimental.

2.3.8 La poursuite d'objets multiple en trois dimensions

Une tâche de poursuite d'objet multiple en trois dimensions (3D-MOT) a été utilisée comme mesure d'attention sélective (Fougnie & Marois, 2006 ; Green & Bavelier, 2006 b), d'attention divisée (Allen et al., 2006 ; Fougnie & Marois, 2006), de mémoire de travail visuelle (Fougnie & Marois, 2006 ; Postle et al., 2005) et pour évaluer les capacités perceptivo-cognitives (Faubert, 2013). De plus, la progression sur cette tâche a été utilisée comme mesure d'apprentissage des scènes complexes et dynamiques (Faubert, 2013).

En comparaison à la tâche d'ATT-3, le *3D-MOT* est plus complexe puisque la tâche implique des interactions entre les stimuli, des changements de direction et des éléments d'occlusion, ce qui ajoute à la charge attentionnelle (Flombaum et al., 2008). Le 3D-MOT est un outil de choix dans le contexte du jeu vidéo puisque la tâche recoupe les cinq éléments de la définition des jeux vidéo d'action (Dale et al., 2020) (voir Tableau 5)

Tableau 6 - Similarités entre le 3D-MOT et les Jeux Vidéo d'Action

Caractéristiques des jeux vidéo d'action (Dale, 2020)	Paramètre du 3D-MOT qui s'y rattache
Rythme rapide	Vitesse de déplacement des stimuli ajustée aux capacités au participant.
Distribution attentionnelle	Poursuite des cibles à travers un large champ visuel
Concentration des ressources attentionnelles sur des éléments d'intérêts	Concentrer les ressources attentionnelles sur une cible lorsque celle-ci subit une collision, une occlusion ou un changement de direction Ignorer les distracteurs lors de la poursuite visuelle
Dynamisme attentionnel	Alterner entre la concentration des ressources attentionnelles sur certaines cibles et la distribution de celles-ci.
Variabilité	Imprévisibilité des trajectoires

Le 3D-MOT est une adaptation de la tâche développée par Pylyshyn et Storm (Pylyshyn & Storm, 1988). La tâche, également complétée dans le dispositif de réalité virtuelle Fove, consiste à suivre quatre des huit sphères présentées. Afin de comprendre la tâche, il est possible de diviser celle-ci en cinq étapes (voir *Figure 4*) ;

1. *La présentation* : Cette phase, d'une durée de deux secondes, consiste à présenter les huit sphères aux participants. À ce stade, tous les stimuli sont homogènes et de couleur jaune.

2. *L'indexation* : Les quatre cibles sont identifiées à l'aide d'une coloration rouge et un ombrage blanc aux contours. Les sphères représentant les cibles sont indexées pour une durée d'une seconde et redeviennent ensuite homogènes avec les distracteurs (couleur jaune).

3. *Le mouvement* : Les huit sphères se déplacent dans l'environnement tridimensionnel avec des trajectoires linéaires, aléatoires et indépendantes. Si une sphère entre en collision avec une autre sphère, celles-ci rebondissent et par conséquent, changent de trajectoire. Ce scénario survient également lorsque les sphères entrent en collision avec les murs de l'environnement virtuel. Lors de cette phase, d'une durée de huit secondes, les yeux du participant doivent rester centrés sur un point de fixation. Ainsi, la poursuite des cibles se produit majoritairement en périphérie du champ visuel.

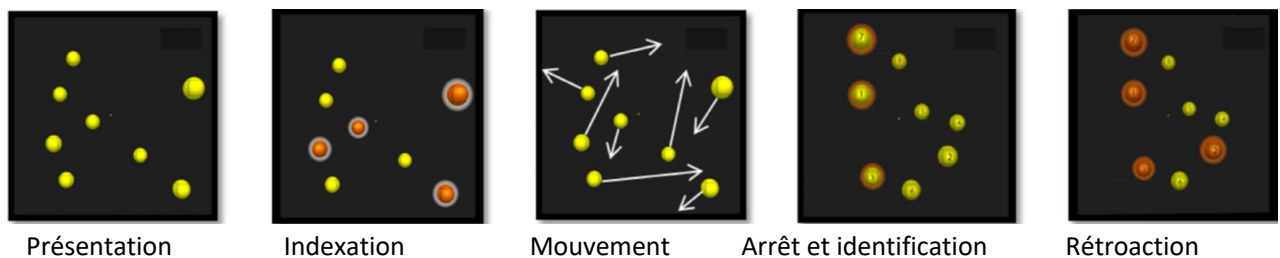
4. *L'arrêt et l'identification* : Les huit sphères s'immobilisent et s'identifient avec un numéro variant d'un à huit. Le participant donne verbalement le numéro des cibles.

5. *La rétroaction* : Les cibles sont identifiées par un ombrage rouge, ce qui permet au participant de savoir quels stimuli ont été correctement identifiés.

La vitesse de déplacement des cibles est tributaire de la performance des participants. Lorsque le participant avait une bonne réponse, la vitesse augmentait de 0,05 unité logarithmique, et diminuait suivant la même échelle à la suite d'une mauvaise réponse. À la suite d'un bloc de 20 répétitions, le seuil de vitesse obtenu correspond à la vitesse moyenne des quatre dernières inversions. Chaque participant a complété cinq séances d'entraînement, chacune composée de trois seuils (60 répétitions).

La moyenne des trois seuils obtenus lors de la première séance d'entraînement en 3D-MOT a été utilisée comme mesure de la capacité perceptivo-cognitive et attentionnelle. La courbe d'apprentissage a été obtenue en soustrayant le seuil de vitesse obtenu au premier bloc des blocs subséquents pour isoler l'amélioration.

Figure 2 - Illustration de la tâche de 3D-MOT



2.4 Le protocole expérimental

Lors de la rencontre initiale, les participants ont complété le questionnaire portant sur leurs habitudes de jeux vidéo (annexe 1), les deux tâches de poursuite attentionnelle (*ATT-1 et ATT-3*), l'évaluation neuropsychologique et trois blocs de *3D-MOT*. L'ordre de passation des épreuves neuropsychologiques était aléatoire dans le but de prévenir l'impact de la fatigue sur les mesures. L'administration des épreuves pouvait se faire en français ou en anglais, selon la préférence des participants. Tous les participants du groupe d'amateurs ont complété l'évaluation en français. Pour le groupe de professionnels, un seul participant a complété l'évaluation en français alors que les autres l'ont complété en anglais. Les normes utilisées étaient conséquentes à la langue d'administration pour les Séquences de chiffres (*WAIS-IV*) et l'Interférence Mot-Couleur (*D-KEFS*). En raison d'une maîtrise insuffisante de l'anglais, deux participants du groupe de professionnel n'ont pas complété les épreuves de Séquences de chiffres et d'Interférence Mot-Couleur alors que ces tâches peuvent être influencée par le niveau de maîtrise de la langue. Soulignons néanmoins que leur maîtrise de la langue était suffisante pour la compréhension des consignes des différentes épreuves. La rencontre initiale se terminait par le premier entraînement en *3D-MOT*. L'ensemble des instruments et les mesures associées sont indiqués dans le Tableau 6.

Les participants étaient libres de prendre des pauses entre chaque activité pour prévenir la fatigue. Les rencontres initiales se sont tenues entre 9 heures et 16 heures. Les quatre rencontres subséquentes constituaient en des entraînements en *3D-MOT*, lesquelles étaient séparées d'un minimum de 24 heures et d'un maximum de cinq jours. Les détails des rencontres sont présentés dans le Tableau 7.

Soulignons également que le protocole expérimental comprenait un électroencéphalogramme (EEG) au repos (c-à-d., sans compléter de tâches). Cependant, que compte tenu de l'hétérogénéité des contextes de collecte, tous à l'extérieur d'un environnement de laboratoire contrôlé, les données d'EEG n'étaient pas d'une qualité suffisante pour permettre une comparaison et une analyse valide. Ces données ont donc été exclues.

Tableau 7 – Tâches utilisées pour mesurer le fonctionnement cognitif des participants

Tests	Mesures	Fonctions cognitives évaluées	Temps
Code – WAIS-IV	Nombre de symboles correctement transcrits	Vitesse de traitement	2 minutes
Grooved Pegboard	Vitesse d’insertion des tiges avec la main dominante et la main non dominante	Coordination visuomotrice	5 minutes
Casse-têtes visuels – WAIS-IV	Nombre d’items réussis	Manipulation visuospatiale	10 minutes
Séquences de chiffres – WAIS –IV	Nombre de séquences réussies en ordre direct	Mémoire à court terme auditive	15 minutes
	Nombre de séquences réussies en ordre inverse et croissant	Mémoire de travail auditive	
	Résultat global à l’épreuve		
Empan spatial – WMS-III	Nombre de séquences réussies en ordre direct	Mémoire à court terme visuelle	15 minutes
	Nombre de séquences réussies en ordre inverse	Mémoire de travail visuelle	
	Résultat global à l’épreuve		
D2 – Test d’attention	CP et E %	Attention sélective	8 minutes
	FR TN-E	Attention soutenue Vitesse de traitement	
Tours – D-KEFS	Résultat global	Planification	12 minutes
Interférence Couleur-Mots – D-KEFS	Condition 3 – Inhibition : Temps et erreurs	Inhibition	8 minutes
	Condition 4 – Flexibilité cognitive : Temps et erreurs	Flexibilité cognitive	
Tâche de poursuite attentionnelle (ATT)	Seuil de vitesse	Résolution temporelle de l’attention, attention divisée	20 minutes
	Ratio ATT-1 : ATT-3	Attention divisé	
3D-MOT	Seuil de vitesse	Capacité perceptivo-cognitive, attention sélective, attention divisée, mémoire de travail visuelle	21 minutes – 3 blocs de 20 essais
	Courbe d’apprentissage	Apprentissage de scènes visuelles complexes	

Tableau 8 - Détail des rencontres

Rencontre	Mesures complétées	Temps accordé
Séance initiale	Questionnaires ATT-1 et ATT-3 Électroencéphalogramme Évaluation neuropsychologique 3D-MOT —Entraînement #1	120 minutes
Deuxième séance	3D-MOT —Entraînement #2	45 minutes
Troisième séance	3D-MOT —Entraînement #3	45 minutes
Quatrième séance	3D-MOT —Entraînement #4	45 minutes
Cinquième séance	3D-MOT —Entraînement #5	45 minutes

2.5 Objectifs et hypothèses

2.5.1 Article 1 – The Neuropsychological Profile of Professional Action Video Game Players

L'objectif du premier article est de mettre en lumière le profil neuropsychologique des joueurs professionnels de jeux vidéo d'action en les comparant aux joueurs amateurs sur plusieurs mesures cognitives. Les mesures choisies pour constituer l'évaluation neuropsychologique sont le reflet des fonctions sollicitées dans la pratique de jeux vidéo, celles s'étant illustrées comme étant distinctives des joueurs de jeux vidéo d'action dans les études transversales ou celles s'étant montrées distinctives de l'expertise sportive.

Les hypothèses formulées pour l'article 1 prennent appui sur la littérature recensée précédemment sur la cognition des joueurs de jeux vidéo. Plus spécifiquement, les hypothèses sont basées sur les résultats obtenus par Bidou (2018) dans sa méta-analyse pour les études transversales en jeux vidéo d'action. Les études sur les marqueurs cognitifs de l'expertise ont également été contributives à l'élaboration des hypothèses. Ainsi, il sera attendu que les joueurs professionnels de jeux vidéo performant mieux que les joueurs amateurs sur l'ensemble des mesures neuropsychologiques liées à la vitesse de traitement, la coordination visuomotrice, la manipulation visuospatiale, mémoire à court terme, la mémoire de travail, l'attention ainsi que dans une moindre mesure, le fonctionnement exécutif (planification, flexibilité cognitive, inhibition). De plus, conformément aux résultats obtenus par Faubert (2013) indiquant que les athlètes professionnels performant mieux que les sportifs amateurs sur la tâche de 3D-MOT, il est attendu que les joueurs professionnels performant mieux que les amateurs au 3D-MOT sur la moyenne des trois premiers seuils et qu'ils présentent une meilleure courbe d'apprentissage à la tâche que les joueurs amateurs.

L'autrice de la thèse, de concertation avec le directeur de recherche, a élaboré le protocole expérimental. Elle était chargée du recrutement des joueurs constituant le groupe d'amateurs, de la passation des participants pour les deux groupes, de l'analyse des résultats et de la rédaction de l'article. Eugénie Roudaia a contribué aux analyses statistiques et à la rédaction de l'article. Trevor Love et Taylor Johnson ont été chargés du recrutement du groupe de joueurs professionnels. Jocelyn Faubert a supervisé les travaux.

2.5.2 Article 2 – Attention’s Role in Action Video Game Elite Performance - Are all Professionals Simply Better?

L’objectif du deuxième article de la thèse est d’approfondir la caractérisation attentionnelle des joueurs de jeux vidéo sur le plan de la résolution temporelle de l’attention et de l’attention divisée.

L’hypothèse principale de cet article est que les joueurs professionnels performant mieux que les joueurs amateurs en attention divisée. Cette hypothèse est basée sur les études citées précédemment mentionnant que la pratique de jeux vidéo est associée à une meilleure performance dans les tâches de poursuite d’objets multiples au-delà d’un certain niveau de difficulté. Puisqu’aucune étude, à notre connaissance, ne s’est intéressée à la résolution temporelle chez les joueurs de jeux vidéo, nous nous rabattons sur la littérature du domaine attentionnel pour formuler une hypothèse sur cette mesure. Ainsi, puisque la littérature démontre un avantage des joueurs de jeux vidéo d’action sur grande variété de mesures attentionnelles, il est attendu que les joueurs professionnels performant également mieux que les amateurs sur la mesure de résolution temporelle de l’attention.

L’auteurice de la thèse, de concertation avec le directeur de recherche, a élaboré le protocole expérimental. Elle était chargée du recrutement des joueurs constituant le groupe d’amateurs, de la passation des participants pour les deux groupes, de l’analyse des résultats et de la rédaction de l’article. Eugénie Roudaia a élaboré et programmé la tâche. Elle a également extrait les seuils de vitesse sur lesquels les analyses statistiques ont été faites. Laurence

Dumont a contribué aux analyses statistiques et à la rédaction de l'article. Jocelyn Faubert a supervisé les travaux.

Chapitre 3 – The Neuropsychological Profile of Professional Action Video Game Players

Article publié.

Benoit, J. J., Roudaia, E., Johnson, T., Love, T., & Faubert, J. (2020). The neuropsychological profile of professional action video game players. *PeerJ*, 8, e10211.

3.1 Abstract

In the past 20 years, there has been growing research interest in the association between video games and cognition. Although many studies have found that video game players are better than non-players in multiple cognitive domains, other studies failed to replicate these results. Until now, the vast majority of studies defined video game players based on the number of hours an individual spent playing video games, with relatively few studies focusing on video game expertise using performance criteria. In the current study, we sought to examine whether individuals who play video games at a professional level in the esports industry differ from amateur video game players in their cognitive and learning abilities.

We assessed 14 video game players who play in a competitive league (Professional) and 16 casual video game players (Amateur) on set of standard neuropsychological tests evaluating processing speed, attention, memory, executive functions, and manual dexterity. We also examined participants' ability to improve performance on a dynamic visual attention task that required tracking multiple objects in three-dimensions (3D-MOT) over five sessions. Professional players showed the largest performance advantage relative to Amateur players in a test of visual spatial memory (Spatial Span), with more modest benefits in a test of selective

and sustained attention (d2 Test of Attention), and test of auditory memory (Digit Span). Professional players also showed better speed thresholds in the 3D-MOT task overall, but the rate of improvement with training did not differ in the two groups. Future longitudinal studies of elite video game experts are required to determine whether the observed performance benefits of professional gamers may be due to their greater engagement in video game play, or due to pre-existing differences that promote achievement of high performance in action video games.

3.2 Introduction

In 2016, there were more than two billion video gamers worldwide and this number is projected to increase to 2.7 billion by 2021 (Statista, 2020). In the United States only, the gamer population consists of more than 150 million individuals, representing a 17.7 billion dollar market (Bediou et al., 2018; SpillGames, 2013; Statista, 2017). There are many video game genres, such as action, real-time strategy, fighting, adventure, role playing or racing games. Among all types of games, action video games (AVGs), such as *Call of Duty*, *Halo* or *Overwatch*, are among the most popular in the United States (Statista, 2019). More recently, we have witnessed the emergence of eSports, where expert video gamers compete individually or in teams in national and international competitions. For example, more than 117 schools in the United States have competitive esports programs, with many professional leagues experiencing a growth in audience and revenues (NACE, 2020; Newzoo, 2020).

The rise in popularity of video games in the last 20 years has led to a surge of research examining the impact of video games on the mind and brain, with a special focus on AVGs.

Although AVGs differ from one another, they all share four characteristics: a fast pace (moving objects, time constraints), a high perceptual load, a high degree of distraction, and a requirement for constant switching between focused and distributed state of attention (Bediou et al., 2018). AVGs are also highly engaging and intrinsically motivating activities, making them attractive and popular (Powers & Brooks, 2014). Among all types of AVGs, first-person shooter (FPS) games, in which the player has an egocentric view through its avatar's eyes, have been the focus of many studies, as they were suspected to be the most likely to influence cognition due to their high engagement on sensory, perceptual, and cognitive functions (Spence & Feng, 2010). Although AVG are the most studied, other types of games, such as real-time strategy, has also been shown to impact cognition (Glass, Maddox, & Love, 2013). Cross-sectional studies that have compared performance of habitual players of AVGs with non-players have reported that, as a group, habitual players of AVGs are better than non-players in multiple cognitive domains, including selective attention (Castel, Pratt, & Drummond, 2005; Dye, Green, & Bavelier, 2009; Green & Bavelier, 2003; Green & Bavelier, 2006), speed of processing (Castel et al., 2005; Dye et al., 2009), executive functions (Andrews & Murphy, 2006; Colzato, Van Leeuwen, Van Den Wildenberg, & Hommel, 2010) and working memory (Colzato, van den Wildenberg, Zmigrod, & Hommel, 2013). These cross-sectional, observational studies have been reinforced by several intervention studies that have demonstrated an improvement in the same cognitive domains in non-players following training with AVGs (Feng, Spence, & Pratt, 2007; Powers & Brooks, 2014; Spence, Yu, Feng, & Marshman, 2009). A recent meta-analysis of 82 studies focusing on AVGs concluded that AVGs are associated with improved cognitive function in general, with the most robust effects seen in the domains of spatial cognition, top-down attention, and perception, medium effects in multitasking and task-switching, and only weak effects in inhibition and verbal cognition

(Bediou et al., 2018). Nevertheless, several studies have failed to find benefits of video gaming using similar methodologies (Cain, Landau, & Shimamura, 2012; Irons, Remington, & McLean, 2011; Murphy & Spencer, 2009).

The vast majority of studies examining the effects of AVG on perceptual and cognitive function have defined video game players solely using a criterion average number of hours of video game play over the last 6 - 12 months, with only a few studies examining video game expertise in relation to the individual's level of performance in a game. As argued by Latham, Patston and Tippett (2013), the lack of consideration of individual differences in video game play experience and expertise likely contributes to the heterogeneity of the results observed in the literature and limits our understanding of video game expertise. The concept of elite experts is useful when considering differences in performance amongst experts. In the broadest sense, expertise can be described as knowledge/abilities in a specific area such as a profession, a hobby, a sport, or games as a result of a substantial amount of time devoted to the activity (Chi, Glaser, & Farr, 2014; Ericsson & Towne, 2013; Farrington-Darby & Wilson, 2006). To be considered as an elite, in addition to gaining experience in a certain domain, individuals must also achieve a high level of performance in comparison to others, as established through a competitive process, such as athletes who play in professional leagues or in international competitions (Swann, Moran, & Piggott, 2015). In the world of video games, players who consistently achieve high rankings, or those selected to participate in professional leagues, are considered elites. While practice is necessary to achieve high levels of performance, the amount of practice alone it is not sufficient, as individuals can practice a lot and acquire knowledge in a specific area without ever becoming an elite (Ericsson & Towne, 2013).

Understanding what characteristics enable individuals to achieve a high level of performance is the focus of much research in the domain of expertise (Chi et al., 2014). Within the context of their discipline, elite athletes from various sports have shown better perceptual-cognitive capacities, as they are better able to extract pertinent information in the visual scene, and show a different pattern of eye movements and visual search strategies, relative to non-elite athletes (Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007). Perceptual-cognitive capacities refers to the ability to identify and amass information to combine with actual knowledge in order to select and execute the appropriate response (Chi et al., 2014; Mann et al., 2007). The ability to extract information is a crucial element of high-level competitive sports. Given that the visual scene is often wide and contains a high density of information, athletes must direct their attention appropriately to extract relevant information in order to make a fast decision (Mann et al., 2007). Similarly, in videogaming, a player must also select and extract relevant information in order to keep track of his or her enemies while anticipating their actions and deciding the best strategy to reach his or her objective.

At the same time, growing research suggests that elite athletes may also differ from non-athletes on certain core perceptual or cognitive capacities in general, outside the specific context of their expertise. For example, several recent studies have found that elite athletes outperform non-athletes in cognitive tests evaluating attention, multitasking, working memory, and processing speed with a small to medium effect size (Faubert, 2013; Scharfen & Memmert, 2019; Vaughan & Laborde, 2020; Voss, Kramer, Basak, Prakash, & Roberts, 2010). Professional athletes were also found to have a greater ability to improve their performance on a three-dimensional multiple-object-tracking task (3D-MOT) as a function of training compared to high level amateurs (NCAA & Olympic) and to non-athletes (Faubert, 2013;

Faubert & Sidebottom, 2012). The 3D-MOT task requires participants to track several moving targets among identical distractors in a three-dimensional space at various speeds. The speed at which a given number of targets can be tracked is limited and shows large individual variability, but improves with training (Faubert, 2013; Legault, Allard, & Faubert, 2013; Parsons et al., 2016; Tullo, Faubert, & Bertone, 2018) and has been shown to lead to improved decision making in sports (Romeas, Guldner, & Faubert, 2016). The finding that the learning rate in 3D-MOT was greater with increasing level of sports performance indicates that professionals may have enhanced learning abilities within the context of a general, dynamic visual scene. In sum, the above studies suggest that the outstanding performance reached by elite athletes may be associated with enhanced abilities in certain cognitive domains (attention, processing speed, working memory, learning abilities), indicating that professional athletes may also exhibit cognitive expertise.

To our knowledge, no studies have previously examined whether professional action video game players also exhibit distinct cognitive abilities relative to amateur players. While growing evidence supports an association between action video games and cognition (Bediou et al., 2018), further research is needed to better understand the nature of this association. Studying the cognitive abilities of expert video gamers can shed more light on this relationship by addressing the question: does the outstanding performance of professional video game players stem from extraordinary cognitive abilities in certain domains, or is it largely due to an enhanced expertise within the context of the game? Furthermore, studying the cognitive expertise of professional videogame players can provide clues as to how expertise is developed, the mechanisms at play, and how best to support it and improve it (Farrington-Darby & Wilson, 2006).

To address this gap, the purpose of this study was to characterize the cognitive and learning abilities of high-performance action video game players, recruited amongst the Houston Outlaws, a professional team in the Overwatch league™. We used a selection of standardized neuropsychological tests to evaluate cognitive abilities, and trained participants on the 3D-MOT task to assess the players' abilities to learn a novel, dynamic perceptual-cognitive task. We hypothesized that professional players will perform better than amateur players on neuropsychological tasks that evaluate attention, processing speed, executive functions, working memory and visuo-spatial manipulation, as those aspects of cognition were found to be better in habitual video game players when compared with non-players (Bediou et al., 2018). We also hypothesized that professional players would show faster learning rates on 3D-MOT than amateur players, as was observed with expert athletes (Allard & Faubert, 2013).

3.3 Materials & Methods

3.3.1 Participants

The experimental protocol was evaluated and approved by the Comité d'Éthique de la Recherche en Santé of Université de Montréal (18-009-CERES-D). Fourteen participants (all men, right-handed) were recruited amongst competitive players in the Overwatch League™ for the Houston Outlaws, and will be heretofore referred as the Professional group. These participants are considered elite video gamers, because they needed to achieve a high level of performance to be able to enter the professional league. They reported daily FPS video game usage in the last 6 months and were ranked as Grandmaster or Top 500/Pro in the game. As a comparison group, we recruited habitual video game players (Amateur group) through online

advertisements targeted at undergraduate students at the Université de Montréal. Knowing that the video game category and type may be important influencing factors (Dobrowolski, Hanusz, Sobczyk, Skorko, & Wiatrow, 2015), participants in the Amateur group needed to be current FPS video game players, engaging in an average of 6 to 20 hours per week of FPS in the last 6 months. Participants who previously participated in organized video game competitions, or who played more than 20 hours per week, were excluded. A total of 20 participants (3 left-handed, 4 female) were enrolled in the Amateur group. Two participants were excluded for playing more than 20h per week or having taken part in competitions, and two more were excluded due to inadequate testing environments, resulting in a sample of 16 participants in the Amateur group. Demographic and video game experience characteristics of the two groups are summarized in Table 8. All participants were screened for depressive symptoms using the Beck Depression Inventory II (BDI-II, exclusion >20 (Wang & Gorenstein, 2013); no participants were excluded based on their BDI-II scores. Participants had normal or corrected-to-normal vision and were free of visual, neurological, musculoskeletal, cardiovascular and vestibular impairments, as assessed by self-report. Handedness was also self-reported. All participants gave their verbal and written informed consent to participate after receiving verbal and written information about the study. They were not paid for their participation.

Table 9 - Demographic and Video Game Experience Characteristics

	Professionals (n=14) M (SD)	Amateurs (n=16) M (SD)	Group comparison
Age (years)	23,66 (2,44)	25,31(3,77)	t(25,9) = -1,44, p = 0,16
Gender ratio (male: female)	14:0	12:4	N / A
BDI-II scores	6,85 (5,27)	4,93 (4,62)	t(24,1) = 1,01, p = 0,32
Age started playing video games (years)	6,93 (2,81)	6,75 (2,62)	t(26,8) = 0,18, p = 0,86
Average FPS gaming per week in past six months (h)	55,79 (16,72)	9,47 (3,48)	t(14) = 10,18, p = 0,00
Most frequent game	Overwatch (14)	Counter Strike (7), Call of Duty (3), Overwatch (3), Rainbow 6 (1), Player Unknown's Battlegrounds (1), Battlefield 4 (1),	N / A

BDI-II: Beck depression inventory (II) score, FPS: first person shooter

3.3.2 Neuropsychological measures

Table 9 summarizes the eight neuropsychological tests that were used in this study. The d2 Test of Attention (Brickenkam & Zillmer, 1998) was selected to evaluate selective and sustained attention skills, as well as speed of processing. In this test, participants are presented with a sheet of paper containing 14 lines of 47 items each. The items are either a “p” or a “d” with one to four dashes placed alone or in pairs below and above the letter. Participants are given 20 seconds per line to cross out all the items containing a “d” with two dashes. The outcome measures include the total number of items processed (TN), the percent of errors of omission and commission (%E), number of correct items (TN-E), concentration performance (CP), and the variability in performance across lines (fluctuation ratio, FR). The WAIS-IV Coding test was selected to evaluate visual processing speed (Wechsler, 2011). In this task, participants are required to code a series of numbers using symbols shown on a key at the top of the page, similar to the Digit Symbol Substitution Test. The total number of items that are

coded in two minutes is recorded. The WAIS-IV Visual Puzzles was selected to evaluate visual reasoning and the ability to manipulate visual information (Wechsler, 2011). This task requires the participant to decide which three of six puzzle pieces combine together to reconstruct a larger puzzle within limited time. The number of successfully completed puzzles is scored. The WAIS-IV Digit Span test was selected to evaluate auditory working memory (aWM) and short-term memory (aSTM; (Wechsler, 2011). The test requires participants to listen to series of digits that are read out loud and to recite them back in the same order (Forward subtest), backwards order (Backward), or in increasing numerical order (Sequencing). The total number of correctly reported sequences is scored (Weiss, Saklofske, Coalson, & Raiford, 2010). The Wechsler Memory Scale-III (WMS-III) Spatial Span test was selected to evaluate visual working memory (vWM) and visual short-term memory (vSTM; (Kessels, van den Berg, Ruis, & Brands, 2008). In this test, participants are shown nine cubes placed randomly on a board. The examiner taps a number of cubes in a sequence and participants have to reproduce this sequence either in the order presented (forward subtest) or in backwards order (backward subtest). One point is allowed per successful sequence. Two tests from the Delis Kaplan Executive Function System (D-KEFS) were selected to evaluate executive function (Delis, Kaplan, Kramer, Delis, & Kramer, 2001). The D-KEFS Tower test evaluates problem solving and planning. The task requires to move five disks across three pegs to build a tower in the fewest number of moves possible. Performance is scored using the total achievement score, representing the sum of achievement points for all the administered items, and the move accuracy ratio score, which assesses the efficiency with which the participant constructed the towers. The D-KEFS Colour-Word Interference test is a version of the Stroop test that evaluates inhibition and cognitive flexibility. In the inhibition condition, participants are required to name the colour of the ink of a series of words that spell a name of a different

colour. In the flexibility condition, participants are required to read the spelled word for words outlined by a rectangle and to name the ink colour for the other words. The time required to complete a set of words is recorded (Strauss, Sherman, & Spreen, 2006). Finally, the Grooved Pegboard test (Lafayette Model 32025) was selected to evaluate eye-hand coordination and dexterity (Strauss et al., 2006). In this task, participants are timed on their speed to place pegs with a key along the side in holes, requiring rotating the peg in order to match the hole before it can be inserted.

Table 10 - Neuropsychological Tests

D2 – Test of attention	Selective attention, sustained attention, concentration
WMS-III – Spatial Span	Visual short-term and working memory
WAIS-IV – Visual Puzzles	Perceptual reasoning and perceptual manipulation
WAIS-IV – Coding	Speed of processing
WAIS-IV – Digit Span	Auditory short-term and working memory
D-KEFS – Towers	Executive function, planning
D-KEFS – Color-Word Interference	Executive function, inhibition and task switching
Grooved Pegboard	Eye-hand coordination, dexterity

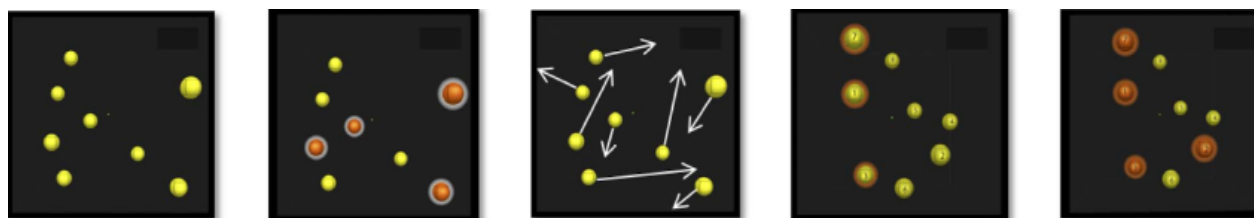
3.3.3 Three-Dimensional multiple objects tracking (3D-MOT)

The 3D-MOT was developed as an optimal training procedure to improve mental abilities critical for processing dynamic scenes, such as those encountered during sports or video gaming (Faubert & Sidebottom, 2012). The method relies on particular features such as distributing attention among a number of moving targets with distractors, known in the literature as Multiple Object Tracking (Pylyshyn & Storm, 1988), a large visual field, speed thresholds, and stereoscopic vision (Faubert & Sidebottom, 2012). The 3D-MOT sessions were conducted in a quiet room using a fully immersive environment with a Fove™ virtual

reality device. The head-mounted display had a resolution of 2560 x 1440 pixels and covered a maximal visual field of 45 degrees. The 3D-MOT experiment was supported by a Dell Inspiration 15 700 Gaming Series computer.

During the 3D-MOT task (**Figure 5**), participants were required to track four of eight spheres that moved within a cube delineated by light grey walls. The spheres moved following linear trajectories in random directions within the cube and changed directions when colliding with each other or with the walls. A green fixation square was presented in the center of the cube and participants were asked to maintain fixation on the square throughout the tracking phase and to track the targets with their attention only, without eye movements. Each trial begins with the presentation of all eight spheres, colored homogeneously in yellow for two seconds. The four target spheres turn red with a surrounding white halo for two second before returning to their original color and restore homogeneity for one second. After that, all eight spheres move along a linear path. If a sphere comes in contact with another sphere or a wall of the cube, it bounces off and resumes its trajectory. This phase last eight seconds. All eight spheres cease movement and are labeled with number from 1 to 8 allowing the subject to verbally state their responses. The targets are revealed, and feedback is given. This phase last 2 seconds. On each trial, the speed of all the spheres varied according to a 1-up 1-down staircase procedure to estimate the speed required to track all four targets 50% of the time (Levitt, 1971). The speed increased by 0.05 log units if the participant accurately identified all the targets and decreased by the same amount if least one target was missed. The staircase was interrupted after 20 trials and the speed threshold was estimated using the geometric mean of the speeds at the last four reversals. Each staircase lasted approximately 8 minutes.

Figure 3- Five Stages of a Trial in the 3D-MOT Task



a

b

c

d

e

Note. a) Presentation phase, in which eight spheres appear in random locations in a 3D space. b) Indexing phase, in which four spheres are cued as targets with a 1 second colour change to red and the appearance of a halo. c) Movement phase, in which all spheres move for eight seconds in random directions, crisscrossing and bouncing off of each other and the walls of the 3D space and the participant is asked to keep track of the targets, while fixating at the central fixation point. d) Identification phase, in which the immobilized spheres are numbered 1 – 8 and the participant is asked to identify the four targets. e) Feedback phase, in which the target spheres are highlighted in red and a star is shown if all four targets were selected correctly.

3.4 Procedure

Participants in the Professional group were tested at their headquarters located in Burbank, California, and Frisco, Texas. Participants in the Amateur group were tested in their homes in Montreal. The same experimenter administered all the tests. At the first visit, participants first completed a demographics and video game experience questionnaires. Then, participants completed the paper and pencil neuropsychological tests in the participants' preferred language (English or French), which lasted approximately one hour. Then, participants completed three blocks of the 3D-MOT test. Subsequent 3D-MOT training sessions were completed on four additional sessions that were spaced by a minimum of 6 hours and a maximum of 72 hours apart.

3.5 Analysis

Two participants in the Professional group did not have high proficiency in English or French, so they were not tested on the Digit Span and Colour Word Interference tests, as performance in these tests depends on language proficiency. One of these participants also did not complete the Tower test, due to difficulty with understanding instructions. Data for the 3D-MOT training sessions were available for 27 participants, as three participants in the Amateur group did not complete the five 3D-MOT sessions due to travel restrictions, so their data were excluded from these analyses. In addition, data from 17 out of 405 blocks across seven participants were missing due to a technical error and were treated as missing at random.

Statistical analyses were performed in SPSS and the statistical computing environment R (R Core Team, 2015). Performance on all the neuropsychological measures was compared in the two groups using univariate analyses on each measure separately using independent Welch's t-tests, as the variance across the two groups was unequal for some outcome measures (e.g., Spatial Span total score, Levene's test $p < 0.01$). Hedges' g was calculated to provide a measure of effect size using the `effsize` package in R (Torchiano, 2016). To evaluate global group differences in neuropsychological measures and to compare the contribution of different outcome measures to the group difference, we conducted a descriptive discriminant analysis (Brown & Wicker, 2000; Smith, Lamb, & Henson, 2020). Additionally, bivariate Spearman's correlations were calculated to examine associations among neuropsychological outcome measures.

To examine the effects of learning on speed thresholds in both groups, we conducted a linear mixed effects analysis using the `lme4`, `pbkrtest`, and `lmerTest` packages in R (Baayen, Davidson, & Bates, 2008; Bates et al., 2015; Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2014; Luke, 2017; Team, 2018). The model's outcome variable was the speed threshold, with fixed effects of group, the logarithm of the block number, and their interaction. As random effects, we fit a maximal random effects structure that included by-subject intercepts and by-subject slopes for block (`lmer(speed ~ Group * log2(block) + (1+log2(block) | subject)`). This analysis is equivalent to fitting a logarithmic learning curve separately for each participant and comparing the effect of group on overall speed thresholds and on the learning rate. P-values for fixed effects were obtained using F-tests with the Kenward -Roger approximation for degrees of freedom (Halekoh & Højsgaard, 2014).

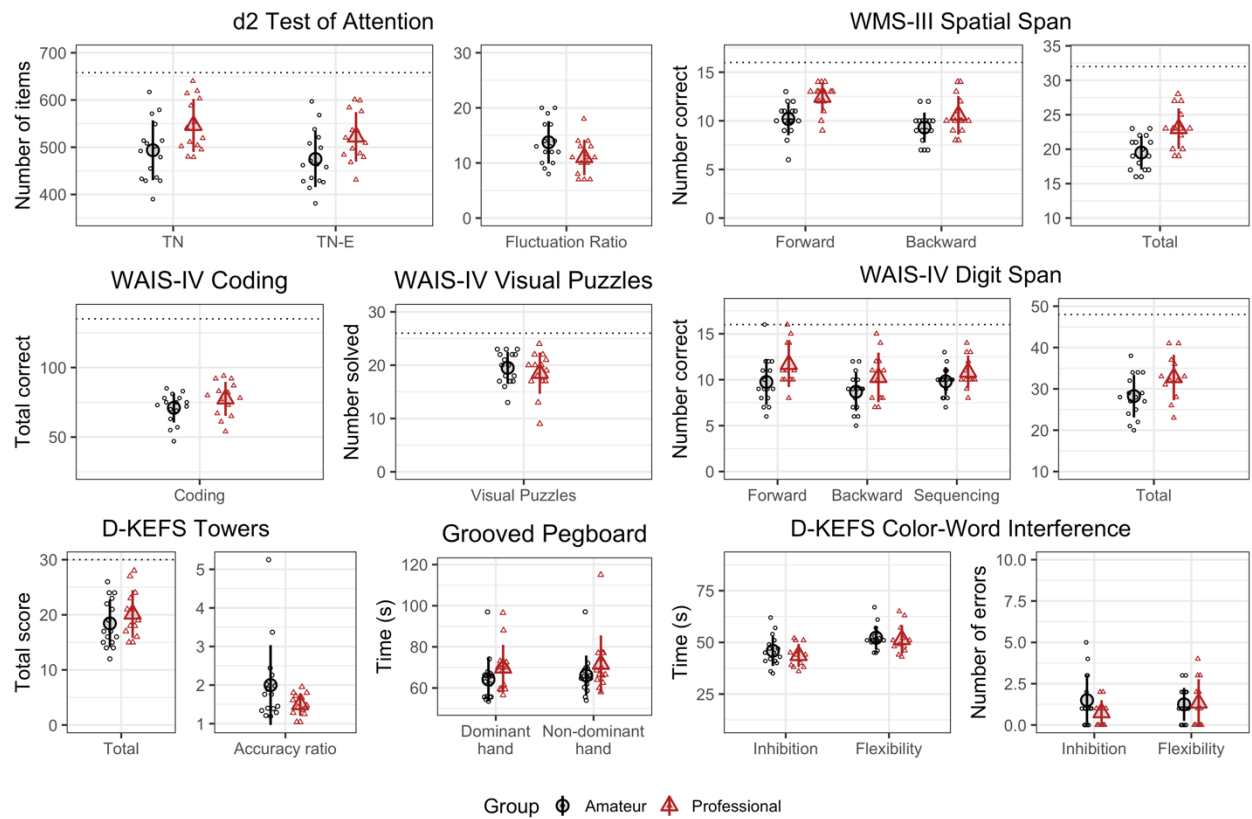
3.6 Results

Table 2 summarises the demographic information and video game experience of participants in the groups. The two groups were well matched in age (Professionals: $M = 23.66$, $SD = 2.44$, Amateurs: $M = 25.31$, $SD = 3.77$, $t(25.9) = -1.44$, $p = 0.16$) and in the average age at which participants started playing video games (Professionals: $M = 6.93$, $SD = 2.81$, Amateurs: $M = 6.75$, $SD = 2.62$, $t(26.8) = 0.18$, $p = 0.86$). Participants in the Professional group devoted significantly more time to FPS games than those in the Amateur group in the last six months (Professionals: $M = 55.79$ h, $SD = 16.72$, Amateurs: $M = 9.47$ h, $SD = 3.48$, $t(14) = 10.18$, $p < 0.001$). There was no evidence for any differences in the level of depression symptoms in the two groups (Professionals: $M = 6.85$, $SD = 5.27$, Amateurs: $M = 4.93$, $SD = 4.62$, $t(24.1) = 1.01$, $p = 0.32$).

3.6.1 Neuropsychological assessments

Figure 6 shows the outcome measures from the eight neuropsychological tests for the two groups and Table 10 presents their summary statistics and the results of univariate, between group comparisons for each measure.

Figure 4 - Results of neuropsychological tests



Note. Large symbols show the mean group score and small symbols show individual participant data for the Amateur (black circles) and Professional (red triangles) groups. Error bars represent 1 SD of the mean. The dashed lines represent the maximum score possible for each variable.

Table 11 - Average raw scores for all neuropsychological tests, difference scores, and univariate inferential statistics

Measure	Professionals (n=14) M (SD)	Amateurs (n=16) M (SD)	Difference Δ [95% CI]	Welch t-test t(df)	p	Effect size Hedges' g [95% CI]
D2 Test of Attention						
– TN	546.29 (56.14)	493.56 (63.49)	52.73 [7.98, 97.47]	t(28) = 2.41	0.02	0.85 [0.09, 1.61]
– E%	4.41 (2.98)	3.66 (2.91)	0.75 [-1.46, 2.96]	t(27.3) = 0.7	0.49	0.25 [-0.48, 0.98]
– TN-E	521.86 (52.48)	474.94 (59.31)	46.92 [5.11, 88.73]	t(28) = 2.3	0.03	0.81 [0.05, 1.57]
– CP	208.79 (31.62)	194.38 (28.41)	14.41 [-8.26, 37.08]	t(26.4) = 1.31	0.20	0.47 [-0.27, 1.21]
– FR	11 (3.21)	13.75 (3.84)	-2.75 [-5.39, -0.11]	t(28) = -2.14	0.04	-0.75 [-1.51, .0]
WAIS-IV Coding						
	77.5 (12.25)	71.0 (10.61)	6.5 [-2.16, 15.16]	t(26) = 1.54	0.14	0.55 [-0.19, 1.3]
WMS-III Spatial Span						
– Total	23 (2.94)	19.5 (2.45)	3.5 [1.45, 5.55]	t(25.5) = 3.52	0.002	1.27 [0.47, 2.07]
– Forward	12.43 (1.5)	10.19 (1.68)	2.24 [1.05, 3.43]	t(28) = 3.85	0.001	1.36 [0.55, 2.17]
– Backward	10.57 (1.99)	9.31 (1.54)	1.26 [-0.09, 2.61]	t(24.4) = 1.92	0.07	0.7 [-0.06, 1.45]
WAIS-IV Digit Span ^a						
– Total	32.75 (5.5)	28.25 (5.17)	4.5 [0.27, 8.73]	t(23) = 2.2	0.04	0.82 [0.03, 1.62]
– Forward	11.67 (2.46)	9.75 (2.52)	1.92 [-0.04, 3.88]	t(24.1) = 2.02	0.06	0.75 [-0.04, 1.53]
– Backward	10.25 (2.7)	8.69 (2.09)	1.56 [-0.39, 3.52]	t(20.1) = 1.67	0.11	0.64 [-0.14, 1.42]
– Sequencing	10.83 (1.8)	9.81 (1.56)	1.02 [-0.33, 2.37]	t(21.8) = 1.57	0.13	0.6 [-0.18, 1.37]
WAIS-IV Visual Puzzles						
	18.5 (3.88)	19.5 (3.01)	-1.00 [-3.64, 1.64]	t(24.4) = -0.78	0.44	-0.28 [-1.02, 0.45]
D-KEFS Towers ^b						
– Total	20.15 (4.32)	18.44 (4.32)	1.71 [-1.6, 5.03]	t(25.8) = 1.06	0.30	0.39 [-0.37, 1.14]
– Accuracy	1.49 (0.29)	2 (1.04)	-0.51 [-1.08, 0.06]	t(17.9) = -1.86	0.08	-0.62 [-1.38, 0.15]
D-KEFS Color-Word						
– Inhibition	43.67 (5.58)	45.94 (7.35)	-2.27 [-7.3, 2.75]	t(26) = -0.93	0.36	-0.33 [-1.1, 0.44]
– Flexibility	51.42 (6.97)	52.25 (5.7)	-0.83 [-5.96, 4.3]	t(20.9) = -0.34	0.74	-0.13 [-0.89, 0.63]
Grooved Pegboard						
– DH	69.73 (11.26)	64.1 (10.68)	5.63 [-2.62, 13.89]	t(27) = 1.4	0.17	0.5 [-0.24, 1.24]
– NDH	71.58 (13.95)	66.12 (9.65)	5.46 [-3.73, 14.66]	t(22.7) = 1.23	0.23	0.45 [-0.29, 1.19]

Note. Means and standard deviations (SD) of the raw scores of neuropsychological tests for Professional and Amateur video gamer participants. **a, b.**: n = 12, 13 in the Professional group. WAIS = Weschler Adult Intelligence Scale (IV), WMS = Weschler Memory Scale (III), TN = total number of items processed, TN-E = total number of items processed minus the errors, E% = percentage of errors, CP = concentration performance, FR = fluctuation rate (difference between the line with the minimum and maximum number of items processed). DH = Dominant hand, NDH = Non-dominant hand. Bolded p-values are < an alpha level of 0.05 (uncorrected).

In the d2 Test of Attention, Professional players processed, on average, a greater number of stimuli than those in the Amateur group (TN: $t(28) = 2.41$, $p = 0.02$, $g = 0.85$), while maintaining a similar error rate (E%: $t(27.3) = 0.70$, $p = 0.49$, $g = 0.25$). When accounting for the error rate, Professional players processed a greater number of stimuli correctly (TN-E: $t(28) = 2.3$; $p = 0.03$; $g = 0.81$), but their Concentration Performance score did not differ significantly from the Amateur group (CP: $t(26.4) = 1.31$; $p = 0.20$; $g = 0.47$). The Fluctuation Rate, which measures the consistency of performance throughout the task, was lower in the Professional group (FR: $t(28) = -2.14$; $p = 0.04$; $g = -0.75$), indicating better sustained attention.

In the WAIS-IV Spatial Span task, the Professional group showed better performance than the Amateurs on the Total score ($t(25.5) = 3.52$, $p < 0.001$, $g = 1.27$), with a large effect size. Analyzing each subscale separately revealed a large, reliable effect in the Forward subscale, ($t(28) = 3.85$; $p = 0.001$, $g = 1.36$), but no reliable difference in the Backward subscale ($t(24.4) = 1.92$, $p = 0.07$, $g = 0.7$). In the auditory working memory task, Digit Span, the Professional group also showed higher performance on the Total score ($t(23) = 2.20$; $p = 0.04$, $g = 0.82$), with a smaller effect size than in the Spatial Span test. Scores for the Digit Span Forward, Backward, and Sequencing subscales were not reliably different in the two groups ($p = 0.06$, 0.11 , 0.13 , respectively).

In the Coding test, the average score in the Professional group was slightly higher than for the Amateurs, but this group difference was not reliable ($t(26) = 1.54$, $p = 0.14$, $g = 0.55$). There was no evidence for a difference in performance between the two groups on tests of executive function, D-KEFS Towers ($ps > 0.08$), and D-KEFS Colour-Word Interference ($ps > 0.36$),

nor on the Visual Puzzles test ($p = 0.44$), that evaluates perceptual reasoning. There was also no evidence for any group difference in the Grooved Pegboard test ($p > 0.17$), which evaluates eye-hand coordination and manual dexterity.

To evaluate whether the two groups showed a global difference across all the tasks, we conducted a descriptive discriminant analysis (DDA; Smith et al., 2020) on a subset of outcome measures comprising of one measure per task, to ward against the issue of multicollinearity. The outcome measures included were d2 TN-E, Spatial Span Total, Digit Span Total, Grooved Peg for the dominant hand, Color-Word Inhibition score, and total scores for Coding, Visual Puzzles, Towers, and Coding. The largest bivariate correlation across these measures was -0.55 , indicating that the variables were not multicollinear. The DDA analysis calculates a linear composite of the outcome variables that best separates the two groups. The canonical correlation, R_c , between the composite and Group was 0.67 , with a corresponding $R_c^2 = 0.45$, which is the variance accounted for Group in the composite scores. This difference was not statistically significant, Wilk's $\Lambda = 0.54$, $F(8, 19) = 1.97$, $p = 0.11$. Examining the standardized discriminant function coefficients revealed that Spatial Span Total score made the largest contribution to the composite score with a coefficient of -0.29 and an $r^2 = 0.62$. Table 11 provides the full results of this analysis.

Table 12 - Standardized coefficient, Structure Coefficients, and Groups Centroids

Outcome variable	Standardized coefficient	r_s	r_s^2
WAIS-IV – Digit Span Total	-0.15	-0.59	0.35
WMS-III – Spatial Span Total	-0.79	-0.79	0.62
D-KEFS – Tower Total Score	-0.25	-0.32	0.10
WAIS-IV – Visual Puzzles	0.39	0.24	0.06
D-KEFS – Color word – Inhibition	0.02	0.26	0.07
D2 - TN	-0.28	-0.61	0.37
WAIS-IV - Coding	-0.12	-0.35	0.12
Grooved Pegboard - Dominant Hand	-0.37	-0.27	0.07

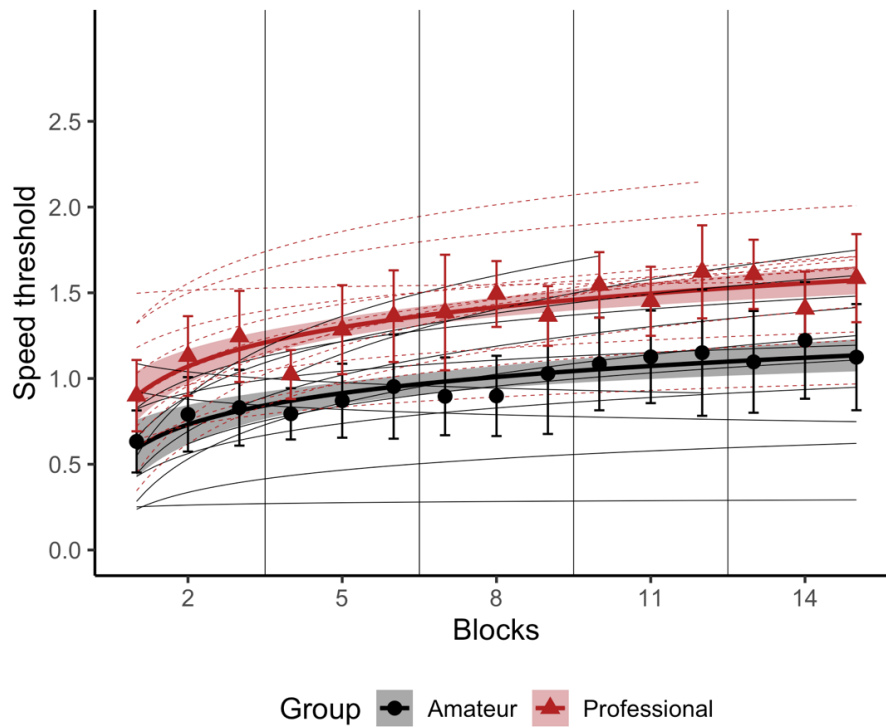
Group	Centroids [95% CI]	Cohen's d [95% CI]
Professional	-1.1 [-1.68, -0.524]	-1.84 [-2.82, -0.83]
Amateur	0.76 [0.275, 1.25]	

Note. WAIS = Weschler Adult Intelligence Scale (IV), WMS = Weschler Memory Scale (III), D-KEFS = Deli-Kaplan Executive Function System, TN = total number of items processed, of errors

3.6.2 3D-MOT training

Figure 7 shows the average speed thresholds for tracking four targets in the 3D-MOT task as a function of block number for each group. As can be seen, the Professional group showed higher thresholds than the Amateur group overall, indicating better ability to track multiple targets among distractors. Thresholds in both groups increased as a function of block number, reflecting improvements in task performance as a function of training, with a similar rate of improvement in both groups. These observations were confirmed by a linear mixed effects analysis (see Table 4), which revealed a main effect of Group, $F(1, 24.78) = 5.54$, $p = 0.03$, with the Professional group having higher thresholds, $\beta = 0.28$, 95%CI [0.05, 0.52]. There was also a main effect of block, $F(1, 24.78) = 76.97$, $p < 0.001$, with thresholds increasing by $\beta = 0.14$, 95%CI [0.09, 0.20] for every doubling of the block number. The interaction between group and $\log_2(\text{block})$ was not statistically significant, $F(1, 24.78) = 1.23$, $p = 0.28$, providing no evidence for any difference in learning rate across the two groups.

Figure 5 - 3D-MOT task training data



Note. Average speed thresholds for the Professional (red triangles) and Amateur (black circles) group are plotted as a function of block number. Participants completed three blocks in each of five sessions. The error bars represent standard deviations of the mean. Thin lines show logarithmic regression fits to individual participants' data (dashed red for Professionals, solid black for Amateurs), with thick lines showing the group fits. Speed is expressed in arbitrary speed units.

Tableau 13 - Results of the linear mixed effects model fit to speed thresholds in the 3D-MOT task

Fixed Effect	β	95%CI	$t(df)$	p	Random effect	St. Dev.	Corr
Intercept	0.59	[0.42, 0.76]	$t(25.8) = 6.72$	<0.001	Subj Intercept	0.24	
Group	0.28	[0.05, 0.52]	$t(24.8) = 2.35$	0.03	Subj log2(block)	0.10	0.06
log2(block)	0.15	[0.13, 0.29]	$t(26.1) = 5.21$	<0.001	Residual	0.28	
Group : log2(block)	0.06	[-0.05, 0.17]	$t(24.8) = 1.10$	0.28			

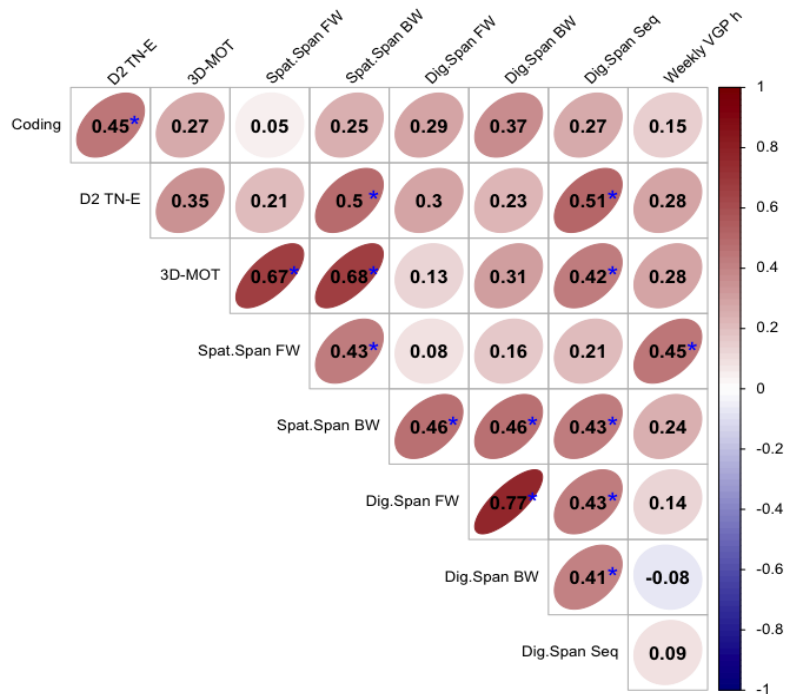
Note. The proportion of the variance explained by fixed and random factors, conditional R^2 , is 0.68; the proportion of the variance explained by the fixed factors alone, marginal R^2 , is 0.29.

3.6.3 Association between attention, Working memory and short-term memory

Previous studies have indicated that visual working memory (WM) and selective attention are related both on a behavioral and neuroanatomical level (Awh & Jonides, 2001; Gazzaley & Nobre, 2012). Selective attention is known to be central to effectively filtering irrelevant information in the encoding phase (Vogel, McCollough, & Machizawa, 2005). Because working memory has a very limited capacity, attention is required to appropriately select the relevant information to encode in WM to avoid unnecessary clutter (Ma, Husain, & Bays, 2014; Myers, Stokes, & Nobre, 2017). Selective attention may also be involved in maintaining information activated in WM (Awh & Jonides, 2001; Awh, Vogel, & Oh, 2006). Many studies also report an association between WM and STM (Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Kail & Hall, 2001), as STM is often theorized as a subcomponent of WM (Cowan, 1998; Engle et al., 1999; Kail & Hall, 2001).

Figure 8 shows the results of bivariate Spearman's correlations among attention and processing speed outcome measures (d2 Test of Attention TN-E, WAIS-IV Coding, and average of the 3D MOT speed thresholds from the first session) and auditory and visual WM and STM outcome measures (Spatial Span Forward and Backward subscales, Digit Span Forward, Backward, and Sequencing subscales). We only examined correlations for both groups together, as the sample sizes in each group were not sufficient to provide stable correlation estimates (Schönbrodt & Perugini, 2013). As can be seen, d2 TN-E scores were correlated with Spatial Span Backward subscale ($r_s = 0.50, p = 0.01$), as well as the WAIS-IV Coding ($r_s = 0.45, p = 0.01$), but not with Spatial Span Forward ($r_s = 0.21, p = 0.26$). Thus, our measure of selective attention correlated with measures of vWM and processing speed, but not with vSTM. The d2 TN-E score also correlated with the Digit Span Sequencing subscale ($r_s = 0.51, p = 0.01$), but not the Forward or Backward subscales. The Spatial Span Forward and Backward subscales were moderately correlated with each other ($r_s = 0.43, p = 0.02$). Performance on the 3D-MOT task showed a strong correlation with the Spatial Span Forward ($r_s = 0.68, p < 0.001$) and Backward ($r_s = 0.69, p < 0.001$) subscales, indicating that these two tasks require similar cognitive capacities. Finally, the Spatial Span Forward was the only variable that correlated with the average weekly hours of video game play ($r_s = 0.45, p = 0.12$). This result may be another reflection of the group difference in performance on that task.

Figure 6 - Bivariate Spearman’s correlations for measures of attention and working memory for all participants.



Note. Blue star indicates $p < 0.05$, uncorrected for multiple comparisons. VGP h: average hours of action video game play per week.

3.7 Discussion

To gain a better understanding of the cognitive determinants of expertise in action video games, the current study compared the performance of professional action video gamers with that of a group of individuals who play similar FPS video games non-competitively on a set of eight neuropsychological tests and on their ability to improve performance on a multiple object tracking task. The results revealed that the professional video game players showed better performance on the 3D-MOT task, Spatial Span Forward subscale, Digit Span Forward subscale and d2 Test of Attention compared to experienced video game players who are not

high-performers. These results indicate that high performance in FPS video games is associated with enhanced abilities in visual spatial attention, visual and auditory short-term memory, and selective and sustained attention. There was no evidence for any group differences in performance on tasks evaluating executive functions, perceptual manipulation, or manual dexterity. Furthermore, both groups showed similar capacity to improve performance in the 3D-MOT task with training. Given the cross-sectional, observational nature of this group comparison, this study cannot speak to the causality of the differences in cognitive performance and video game expertise. The presence of group differences may either indicate that certain cognitive abilities are conducive to achieving high performance in FPS games, or that the greater amount of experience with FPS games in the professional group lead to improved performance in the above-mentioned abilities.

The results from the d2 Test of Attention indicated that Professional players are better than Amateurs in selective and sustained attention. This result is consistent with previous studies that reported attentional benefits following practice with action video games (Belchior et al., 2013; Green & Bavelier, 2003; Green & Bavelier, 2006; Spence et al., 2009) and results of the meta-analysis that found strong evidence for a robust effect of action video games on attention using similar tasks (Bediou et al., 2018). Some authors have raised the possibility that AVG players show higher performance in attention tasks because they employ a more optimal search strategy (Clark, Fleck, & Mitroff, 2011). In the d2 test, participants were told to search line by line without the possibility to go back, limiting the possibility of employing different search strategies. Furthermore, even if Professional players were able to analyze more stimuli than Amateurs, they maintained the same accuracy rate, suggesting no apparent trade-offs. These results suggest that Professional players display an enhancement in visual selective attention

when compared to Amateurs. Furthermore, the performance of Professional players was more stable than Amateur's in terms of items processed per line, suggesting better capacities in sustained attention. Sustained attention is an important ability in the context of professional videogaming, where players often need to train for many hours consecutively. While previous research has demonstrated an advantage of AVG players compared to non-players on attention (Castel et al., 2005; Green & Bavelier, 2006), the current results indicate that selective and sustained attention are further enhanced in elite video game experts. Thus, taken together, those results suggest that attention capacities could be influenced by AVG.

Previous studies have reported that experience with AVG is related to better vSTM capacities which were assessed using change detection task with simple and complex stimuli (Blacker & Curby, 2013; Wilms, Petersen, & Vangkilde, 2013). In the present study, vSTM was indexed using the Spatial Span Forward subscale, and performance in this subtask showed the greatest difference between the two groups. Previous researchers have proposed that benefits on vSTM could be linked to the enhancement of visual selective attention (Bavelier, Green, Pouget, & Schrater, 2012). They inferred that advantages in vSTM may be related to a greater ability to select task-relevant information and ignore task-irrelevant information. In the context of our study, the bivariate correlation showed no significant relationship between attention and vSTM, suggesting that the benefits in vSTM are not due to better selective attention abilities.

Because of the visual nature of video games, past studies were mainly focused on the visual aspect of cognition, with only a few studies examining auditory or multisensory task performance. Those studies have observed a gain that extended beyond visual capacities and impacted multisensory processing in healthy adults (Donohue, Woldorff, & Mitroff, 2010)

and auditory capacities in dyslexic children as they showed enhancement in phonological short-term memory after AVG training (Franceschini & Bertoni, 2019; Franceschini et al., 2013). In this study, Professionals did not differ from Amateurs on Digit Span Forward subscale, suggesting that aSTM is not a characteristic of video game expertise.

The present study suggests a link between the level of video gaming expertise and the ability to perform an abstract dynamic task. The 3D-MOT task strongly engages several attention and mental skills; performing this task well requires selective, dynamic, distributed and sustained attention skills (Allard & Faubert, 2013). Professional video game players showed better performances than Amateurs on the 3D-MOT task across the 5 training sessions, suggesting that video game expertise is also related to perceptive-cognitive ability. This is consistent with the idea that Professionals players have to be efficient at extracting meaningful information from a visual scene in order to anticipate and make decisions to be high performing in the game. The results on 3D-MOT task are consistent with the enhancement of motion perception highlighted by other studies using the multiple objects tracking task or dots motion task (Boot, Kramer, Simons, Fabiani, & Gratton, 2008; Green & Bavelier, 2006; Hutchinson & Stocks, 2013). This result also contributes to growing evidence pointing to a specific influence of action video games on the dorsal pathway (Chopin, Bediou, & Bavelier, 2019). The dorsal pathway is a network that is involved in spatial working memory and specializes in capturing dynamic spatial and temporal relationship between multiple items (Kravitz, Saleem, Baker, Ungerleider, & Mishkin, 2013), and is engaged during multiple object tracking tasks (Blumberg, Peterson, & Parasuraman, 2015; Howe, Horowitz, Morocz, Wolfe, & Livingstone, 2009). It is often referred to as the ‘where/how’ pathway as it is involved in the localization and guides motor action (Chopin et al., 2019). However, in contrast to professional sports

athletes who showed enhanced abilities to improve their 3D-MOT performance with training, relative to amateur athletes (Faubert, 2013), the professional and casual video game players in the current study showed similar learning rates across the five sessions.

While the effect in the multiple objects tracking task may indicate differences in the dorsal pathway, which is also involved in action planning, there were no group differences in manual dexterity or visuomotor coordination as evaluated by the Grooved Pegboard task. Previous studies have found that players have better hand-eye coordination compared to non-players, but this benefit was not associated with the amount of time spent engaging in the games (Griffith, Voloschin, Gibb, & Bailey, 1983). Action video games were also shown to improve visuomotor control in an intervention study (Li, Chen, & Chen, 2016). Together with the current findings, it suggests that the benefits of action video games on motor dexterity and visuomotor coordination are limited in that extended practice does not lead to larger benefits.

The current results also do not provide evidence for any differences in working memory associated with professional gaming, as the average performance on the Backward subscales of the Spatial Span and Digit Span tasks did not differ between groups. As mentioned earlier, previous studies have emphasized that WM, which involves maintaining elements active and quickly accessible, is intricately linked with the concept of selective attention, both on a behavioral and anatomical level (Awh & Jonides, 2001; Engle, 2002; Hitch, Hu, Allen, & Baddeley, 2018). Supporting this overlap between the two constructs, we observed positive associations between outcome measures of vWM, selective attention, and vSTM. Nevertheless, while there was some evidence for enhanced selective attention in professional

players, performance in tasks relying on auditory or visual working memory was similar in the two groups.

The present results also did not provide evidence for any differences in executive functions between Professional players and Amateurs, as measured by the inhibition and flexibility subscales of the Stroop task. Mental flexibility has been cited as one of the strongest enhancements in real time strategy games (Basak, Boot, Voss, & Kramer, 2008). For AVG, the meta-analysis conducted by Bedou (2017) suggested a medium size effect for flexibility, and only a weak effect for inhibition. Given that the current study only had high power to detect large effects, our findings are consistent with previous results. There was also no evidence of any group differences in visual planning skills or visual reasoning. These results are consistent with the results of Boot and colleagues (2008), who showed no association between video game practice and planification skills using the Tower of London task (Tunstall, 1999).

Previous studies have found that video game players are faster than non-video game players in reaction time tasks (Castel et al., 2005; Dye et al., 2009). In this study, there was no reliable difference in performance in the main visual processing speed task (WAIS-IV Coding), nor in the Grooved Peg task, which relied on rapid manual dexterity and eye-hand coordination. That said, the TN measure of the d2 Test of Attention showed that Professional players processed a greater number of stimuli in a given time than Amateurs, suggesting that video game expertise is related to a better ability to discriminate simple visual information. The different results provided by those d2 and Coding tests addresses a question raised by Dye, Green and Bavelier (2009) regarding the generalization of the advantage of gamers in processing speed to tasks

with more than two behavioral alternatives. The Codes task requires quickly coding different units using the correct symbol one out of a total of nine possible codes. It has been argued that, in addition to speed of processing, good performance in this task requires attention, motor speed, visuo-perceptual abilities, and dexterity to write the appropriate symbols (Jaeger, 2018). In contrast, the d2 test requires participants to choose one of two options: to mark or not to mark the symbol. The two-choice response in the d2 test is closer to that used in the literature demonstrating the benefits of video gaming on the speed of processing (Matthew WG Dye et al., 2009). The current findings may suggest that video game expertise is related to a better ability to discriminate simple visual information rather than a global benefit on processing speed in a more complex task.

By better understanding Professional videogaming, we can provide clues about how this expertise and these performances best develops and learn how to support it (Farrington-Darby & Wilson, 2006). In order to study video game expertise, it is crucial to define it appropriately. By using time gaming criterion, studies may have failed to appreciate the difference between video game players who have played 5 hours per week for the last 6 months and those who have played more than 20 hours per week for the last 10 years. Moreover, the assumption that recent video gaming experience reflect expertise could be mistaken (Latham et al., 2013). Failure to consider expertise in terms of performance may explain some of the mixed results in the literature. By applying the same criterion of performances to video gaming research, differences between professional and amateur players allowed us to determine the factors that potentially underlie high-level performance, such as attention, STM and perceptive-cognitive ability.

The current study has several limitations. First, due to our limited sample size, the current study had low power to detect small or medium effects (with $\alpha = 0.05$, power = 0.80). Thus, we should remain careful in our interpretation of null results, as differences might exist but failed to be detected. Furthermore, the gender of the study participants may have acted as a confounding variable, since our Professional players group was composed only of men and our Amateur had 4 women, although women's results did not differ from those obtained by men in the same group. Finally, the experimenter who administered the measures was not blind to the participant group, which may have introduced some bias.

3.8 Conclusions

In summary, this study was the first to examine the cognitive basis of elite performance in action video game players. Our results revealed that elite players show the greatest performance advantage in tests of visual spatial short-term memory and visual attention. Furthermore, professional action video gamers showed a better ability to track multiple objects within a complex and dynamic scene than amateur players, but both groups showed similar rates of improvement in the task with training. Future research is needed to clarify whether the observed differences in cognitive abilities emerge as a result of intense practice in action video games, or whether certain cognitive profiles are beneficial for achieving high-level performance in video gaming.

3.9 Conflict of interest

One of the authors is director of Faubert Lab at the University of Montreal and he is the Chief Science Officer of Cognisens Athletics Inc. who produces the commercial version of the NeuroTracker used in this study. In this capacity, he holds shares in the company. Taylor Johnson and Trevor Love are employed by Infinite Esports and Entertainments. This does not alter our adherence to your journal policies on sharing data and materials.

3.10 Acknowledgments

We also like to acknowledge Russel Smith, Matt Men and Stephen Suttle for their support during the data collection.

Chapitre 4 – Attention’s Role in Action Video Game Elite Performance – Are all Professionals Simply Better

Article soumis (mars 2022). Actuellement en révision.

4.1 Abstract

People who play action video games are known to perform better than the rest of the population in many attention tasks - like multiple object tracking (MOT) - even more so if they are professional players. Good performance in MOT requires both high temporal resolution of attention and good divided attention. However, it is unknown how these two components of attention support elite professional players’ abilities and if it differentiates professional players from players who will never reach an elite level. This study examined how professional action video game players’ performances in MOT compared to those of casual players in terms of temporal resolution of attention and of ability to divide attentional resources across multiple targets.

4.2 Introduction

Considering the potential of video gaming as a cognitive intervention, a significant number of scientific studies have been conducted in order to understand the relationship between attentional performance and video game usage, as well as the direction of a potential causal relationship between these two concepts. Video game players are known to perform better than the rest of the population including amateur players in many attention tasks, such as multiple object tracking (MOT) (Benoit et al., 2020; Boot et al., 2008; Green & Bavelier, 2006a; Oei & Patterson, 2013; Trick et al., 2005), useful field of view paradigm (Feng et al., 2007; Green & Bavelier, 2003), flanker compatibility task (Dye et al., 2009; Green & Bavelier, 2003) or other search tasks (Benoit et al., 2020; Castel et al., 2005; Dye et al., 2009). However, it is important to mention that despite the many studies suggesting that action video game players have better attention than non-players, some studies suggest that there is no difference between the groups (Irons et al., 2011; Murphy & Spencer, 2009)

While increased attentional performance in professional players seems to be a hallmark of the literature on cognition and video games, not much is known about the specific cognitive functions or aspects of attention that underlie this increased attentional performance. There are many attentional tasks that measure different aspects of attention and that could help answer the aforementioned question. One of them are MOT tasks, which involve tracking several moving objects simultaneously among distractors. MOT tasks can differ from one another regarding the number of targets, the number of distractors, the motion or the speed. These parameters can be modified in order to assess particular aspects of cognition. Some studies use a three-dimensional MOT (3D-MOT) that includes collisions, occlusions, changes of direction

and proximity between targets and non-targets in a three-dimensional environment (Benoit et al., 2020; Romeas et al., 2016; Tullo et al., 2018). In other studies, the objects are separated between targets and distractors, all rotating around the same circular trajectory (attentional tracking task; ATT) (Holcombe & Chen, 2013; Roudaia & Faubert, 2017).

ATT performance is both impacted by divided attention and temporal resolution of attention. Temporal resolution of attention can be measured by the maximum speed at which one target can be tracked (Holcombe & Chen, 2013). It reflects the failure to successfully track a target when its motion increases beyond a certain speed or when the rate at which the target passes a certain location reaches a certain temporal frequency (Holcombe & Chen, 2013; Verstraten et al., 2000).

Divided attention is the ability to integrate multiple stimuli in parallel (Nebel et al., 2005). As temporal resolution of attention drops when individuals track more than one target (Holcombe & Chen, 2013; Roudaia & Faubert, 2017), the change in temporal frequency thresholds with the addition of other targets reflects the efficiency of dividing attention across multiple targets (Roudaia & Faubert, 2017).

Good performance in MOT requires high resolution of both attention and divided attention. In our previous work, we compared professional action video game players with amateur players on a 3D-MOT. Our results showed that professional players can track four targets among distractors in a three-dimensional environment at higher speed when compared to amateurs. However, it is unknown how these two components of attention support professional video game players' abilities and if this differentiates professional players from those who do not

reach an elite level of performance. Understanding this difference will give us insights on how precisely temporal resolution of attention and divided attention enable elite performance in action video games, helping define the limits of what video game training can achieve for the general population.

Since there are many types of video games that can lead to elite level performance and that we are mostly interested in attention, it makes sense to focus on the type of video game that requires the most complex attentional performance. Of all video game types, action video games (AVGs) are considered the most susceptible to influence players' cognition, as their cognitive load is very high given their complexity and cognitive demands. Even if AVGs can differ greatly from one another, Bediou and colleagues (Bediou et al., 2018) identified four key characteristics that they all share: a fast pace (moving object, transient events, time constraints), a high degree of perceptual and motor load (many items to track simultaneously, multiples goals, motor commands that need to be executed quickly), a switch between highly focused and distributed states of attention (monitoring a target versus the whole map for example) and a high degree of clutter and distraction as the item of interest is distributed among non-targets. Furthermore, from all types of AVG, first-person shooter (FPS) games have been the focus of many studies as they are considered to be the most likely to influence cognition given their high engagement of sensory, perceptual and cognitive functions (Spence & Feng, 2010).

This study examined how professional AVG players' performances in MOT compares to casual players' in terms of temporal resolution of attention and ability to divide attentional resources across multiple targets. As mentioned before, video game players have been shown

to outperform non-gamers on various aspects of attention (Bediou et al., 2018; Powers et al., 2013), hence we expect professional players to show a better temporal resolution of attention. Furthermore, as professional AVG players performed better than amateurs in 3D-MOT (Benoit et al., 2020), we expect them to show a smaller reduction in temporal resolution disparity from a one-target to a three-target condition, reflecting a better divided attention. Any difference in effect size between divided attention and temporal resolution of attention could be indicative of one of these cognitive functions having a stronger role in established elite performance.

4.3 Materials & methods

4.3.1 Participants

The Comité d'Éthique de la Recherche en Santé of Université de Montréal evaluated and approved the experimental protocol (18-009-CERES-D). Our professional player group (13 participants) were competitive players in the Overwatch League™ for the Houston Outlaws. They reported daily FPS video game usage in the last 6 months and were ranked as Grandmaster or Top 500/Pro in the game. We recruited habitual amateur video game players as a control group (16 participants) through online advertisements on social media targeted at undergraduate students from Université de Montréal. The two criteria to be considered an Amateur player were: (1) to have played between 6 and 20 hours of FPS per week for the last 6 months; (2) to have not previously participated in organized video game competitions. Those criteria were used to match previous studies in the range of hours of gameplay per week (Boot et al., 2008; Green & Bavelier, 2003; Oei & Patterson, 2013; Trick et al., 2005). Demographic characteristics and video game experience of the two groups are summarized in Table 1. Participants were excluded if they scored over 20 on the Beck Depression Inventory II (BDI-

II) (Beck et al., 1996) or if they had self-reported visual, cardiovascular, musculoskeletal, neurological or vestibular impairments. Participants were not paid for their participation and gave their verbal and written consent to participate after receiving verbal and written information about the study.

4.3.2 Apparatus

The experiment was conducted in a quiet room using a fully immersive environment with a Fove™ virtual reality device (Fove inc., Tokyo) connected to a Dell Inspiron 15 700 Gaming Series laptop computer. The head-mounted display had a resolution of 2560 x 1440 pixels and covered a maximal visual field of 45 degrees and a refresh rate of 50 Hz. The experimental tasks were programmed and presented using Unity. Participants were seated in an office chair and were asked to find a comfortable position and remain as still as possible. Participants responded using a standard computer mouse.

4.3.3 Stimuli and Procedure

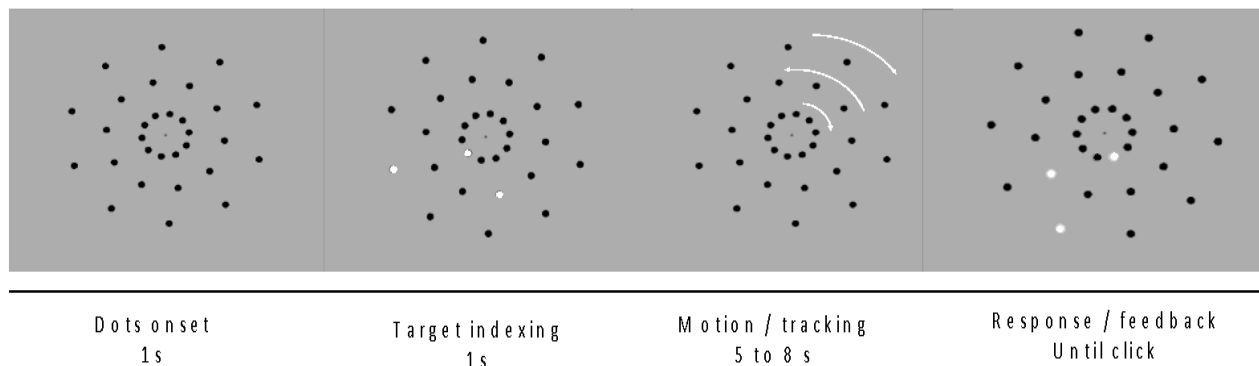
Participants in the Professional group were tested at their headquarters located in Burbank, California, and in Frisco, Texas. Participants in the Amateur group were tested in their homes in Montreal, Quebec. The first author collected data on all the participants. Participants first completed a demographics and video game experience questionnaire. Afterwards, they completed two blocks of an ATT in two dimensions without stereoscopic vision to measure both spatial resolution of attention and divided attention. This was followed by a 3D-MOT task that was included as a more complex tracking task involving stereoscopic vision and other 3D clues, such as occlusion. Participants also completed a paper-and-pencil

neuropsychological assessment battery described in an article reporting complementary data from this experiment (Benoit et al., 2020). Results from the neuropsychological assessments and 3D-MOT are reported in this previous article.

4.3.3.1 Attention tracking task

The ATT is an adaptation of the task introduced by Holcombe and Chen (Holcombe & Chen, 2012). Each trial in the task involved four stages, illustrated in Figure 9. Participants first saw a green fixation square in the middle of the display against a grey background and were asked to fixate on it during the tracking phase. Then, an array of black circles (1.10 deg diameter) was shown for 0.2 seconds. This array consisted of 30 black circles arranged in three concentric rings (diameters of 7.75, 17.80, 28.00 deg), with 10 circles equally distributed on the circumference of each ring. Next, one or three dots (at most one per ring) turned white for 2 seconds to designate them as targets and returned back to black for a short 0.25seconds pause before the motion phase began. During the motion phase, all three rings rotated either clockwise or counter-clockwise at first (randomised across trials), and then each ring switched its direction of rotation up to 4 times, with time intervals between switches picked from a uniform distribution between 0.50 – 2.50 seconds separately for each ring. The motion of all rings stopped when the last ring reached its 4th switch, which occurred after ~7.00 seconds ($M: 7.00$ s, $SD = 0.85$ s., range: 4.70 – 9.60 seconds.). The participant was then asked to indicate the target circle(s) by clicking on them with the mouse. Feedback was provided by highlighting the correct target with a green contour, and an incorrectly chosen circle with a red contour

Figure 7 - Illustration of ATT-3



Participants completed one block in which they tracked only one target (ATT-1 target), and then another block in which they tracked three targets (ATT-3 targets), with an optional break between the two blocks. In the one-target condition, the target was equally likely to appear in any of the three rings, while in the three-target condition, there was exactly one target per ring. Within each block, the speed of the circles varied according to a staircase procedure to determine a speed threshold. The starting speed was 0.50 radians/s and the speed was adjusted by 0.20 log units faster or slower following a correct or incorrect response, respectively. After the third and fifth reversal, the step size was reduced to 0.10 and 0.05 log units, respectively. In the ATT-1 condition, there were three independent staircases of 14 trials each, one for each ring. In the ATT-3 condition, there were 42 trials in one staircase.

4.3.3.2 3D-MOT

The 3D-MOT task is an adaptation of the MOT task introduced by Pylyshyn & Storm (1988). In the 3D-MOT task, participants were asked to track several moving targets among distractors. They were required to track four of eight spheres that moved within a cube defined by light grey walls with their attention only, without eye movements. Details of the task are

described in Benoit and al. (2020). The speed of all the spheres varied across trials according to a one-up, one-down staircase procedure to estimate the speed required to track all four targets correctly 50% of the time (Levitt, 1971). The speed increased by 0.05 log units if the participant correctly identified all targets, and decreased by the same amount if the participant missed one or more targets. The staircase procedure was interrupted after 20 trials and the speed threshold was estimated using the geometric mean of the speeds from the four previous reversals. This speed threshold represents a participant's performance - the higher the speed of the balls, the better their performance.

4.3.4 Data analysis

Response accuracy in the ATT was fitted with a logistic curve separately for each subject and each condition using maximum likelihood estimation as implemented in the Palamedes toolbox (Prins & Kingdom, 2009). Speed thresholds were defined using the alpha parameter, defined as the speed yielding the success rate midway between the guess rate (1/10) and ceiling performance (1- lapse rate). Speed thresholds were then multiplied by 10 to express the speed threshold in units of dots per second (dps).

As previously mentioned, the ATT measures both divided attention and spatial resolution of attention. Divided attention is obtained by observing the magnitude of the decrease of performance between the ATT-1 target and ATT-3 targets conditions. For our purposes, we can determine that a group has better divided attention than the other either by observing an interaction effect on a 2x2 variance analysis, or by observing a difference between groups in the ratio between performance at ATT-3 targets and ATT-1 target. Spatial resolution of

attention, on the other hand, is measured by the speed threshold calculated on ATT-1, and differences between groups can be observed as a simple group effect in a 2x2 variance analysis.

4.3.5 Statistical analysis

Repeated measures factorial ANOVA 2x2 was conducted. The two conditions of the ATT are the within subject factor, and the groups are the between subject factor. When necessary, simple effect tests were conducted, and effect size measured. If the distributions were not normally distributed, equivalent non-parametric analysis were used. If needed, equivalent non-parametric analyses would be used. In replacement of the ANOVA 2x2, an non-parametric analysis for longitudinal data in a two-factorial design using the nparLD package in R software (Noguchi et al., 2012) would be used, as well as a Mann -Withney for simple effects.

In order to explore if divided attention was related to the 3D-MOT performance, a correlation analysis was conducted between the ATT-3 targets: ATT1-1 target ratio and the 3D-MOT scores that were gathered during the same experimental session as the ATT. This means that the average of the first three 3D-MOT thresholds was calculated and used for the correlation analysis.

4.4 Results

Statistical analyses were performed using SPSS (version 25) and R. Table 13 summarizes the demographics of the groups and their video game experience. The age at testing and age at which they started to play video games was not statistically different between the two groups.

Players in the professional group devoted significantly more time to video games than those in the amateur group. There was no difference in depression symptoms between both groups.

Table 14 - Demographic and Video Game Experience Characteristics

	Professionals (n=13) M (SD)	Amateurs (n=16) M (SD)	Group comparison
Age (years)	23.46 (2.57)	24.93(3.73)	t(27) = -1.21, p = 0.24
Gender ratio (male : female)	13:0	12:4	N / A
BDI-II score	6.46 (5.59)	4.56 (4.66)	t(27) = 0.99, p = 0.33
Age started playing video games (years)	7.23 (2.64)	9.31 (3.4)	t(27) = -1.80, p = 0.08
Average FPS gaming per week in past six months (h)	55.79 (16.72)	9.47 (3.48)	t(27) = 10.39, p = 0.00
Most frequent game	Overwatch (13)	Counter Strike (7), Call of Duty (3), Overwatch (3), Rainbow 6 (1), Player Unknown's Battlegrounds (1), Battlefield 4 (1),	N / A

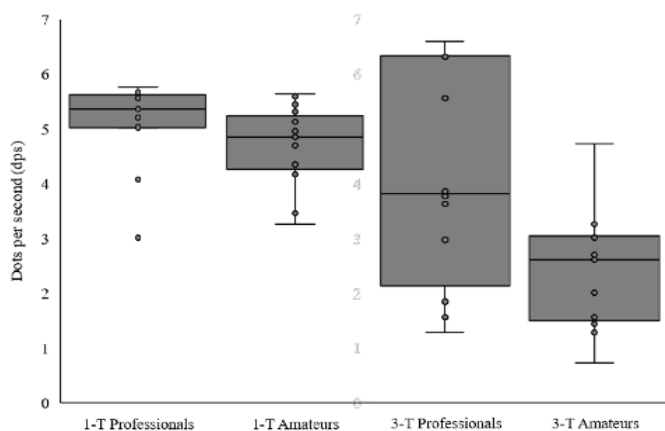
Note. BDI-II, Beck Depression Inventory (II) score; FPS, first person shooter.

Data distribution on ATT for each group is shown in Figure 2. The professional group's data seems consistent with a ceiling effect on ATT-1 target as their results are more concentrated at the top of the scale. The professional group distribution for ATT-1 target was not normally distributed, with a skewness of -2.04 (SE = 0.62). This is consistent with the asymmetry brought by the two outliers and a kurtosis of 4.32 (SE = 1.19), which shows a narrowness in the distribution indicative of a ceiling effect. Non-normality was confirmed by a Shapiro-Wilk test (p= 0.002).

Distribution of ATT-1 target for Amateurs was normally distributed, as was the distribution of ATT-3 targets for both groups as shown by a Shapiro-Wilk analysis (p > 0.15). Furthermore,

a Levene test indicated that equality of variance was not respected for the ATT-3 targets variable ($p=0.001$), with the Professional group having a larger variance than the Amateur group. The Levene test indicated that equality of variance for ATT-1 target was respected ($p=0.57$). Based on these outcomes and the small sample size, non-parametric analyses were used to analyse the differences in performance when completing the task.

Figure 8 - Data Distribution on ATT-1 and ATT-3 for each Group



Note. 1-T = 1 target, 3-T = Tree targets

As the distribution were non normally distributed, the differences between the groups and conditions for the ATT were analyzed using non-parametric analysis for longitudinal data in a two-factorial design using the nparLD package in R software (Noguchi et al., 2012). There was a main effect of the task (statistic = 33.07, $p < 0.001$), of the group (statistic = 7.55, $p = 0.005$) and there was a significant interaction between the group and the task (statistic = 5.70, $df = 1$, $p = 0.01$). A post-hoc Mann-Whitney U test showed that Professionals performed better than Amateurs on ATT-1 ($U=44.0$, $p = 0.039$, eta square = 0.17) and ATT-3 ($U = 30.5$, $p =$

0.008, eta square = 0.28) with large size effects for both tasks. A Mann-Whitney U test indicated that Professional players also had a better ATT-3:ATT-1 ratio than amateurs ($U = 42.0$, $p = 0.008$, eta square = 0.25). Spearman's rank correlation was used to assess the relation between ATT-3:ATT-1 ratios and 3D-MOT scores. There was a small but significant positive correlation between the two variables ($r(27) = 0.368$, $p = 0.05$).

4.5 Discussion

The current study examined how professional AVG players' performance in various tracking tasks (ATT and 3D-MOT) compares to that of amateur players in terms of temporal resolution of attention and their ability to divide attentional resources across multiple targets. To this end, we measured the maximum speed at which participants can track one target (temporal resolution of attention) and the rate at which their performance decreases when they have to track three targets instead of just one (divided attention).

First, results show that professional players perform better than amateurs on ATT-1 target and ATT-3 targets, with a large effect size. This indicates that professional players have a better temporal resolution of attention compared to amateurs. Hence, they can individuate and select stimuli at higher speeds.

However, when we look closely at the data distribution across the groups (see Figure 2), it is indicative of a ceiling effect on the ATT-1 target task results. As the distribution for the group of professional players is concentrated between 5.00 and 5.76 Hz, it is possible that their results would be higher with a more sensitive task.

As mentioned earlier, temporal resolution of attention affects the units of time over which visual changes can be resolved. Hence, a poor temporal resolution of attention could help explain failures to perceive rapid serial visual presentation, a phenomenon known as attentional blink (Raymond et al., 1992). On the contrary, a better temporal resolution of attention could contribute to avoiding «bottlenecks» in information processing (Green & Bavelier, 2003). Some studies show that the magnitude and the scope of the blink are reduced in action video game players when compared to non-players (Dye et al., 2009; Green & Bavelier, 2003). Results stemming from the current study showing that Professional players display a better temporal resolution of attention are aligned with these previous studies. However, even if many researchers consider attention blinking as a manifestation of temporal limits of attention, the extent to which these results reflect a better sensory processing, a better attention in time, or a combination of both remains unknown (Hubert-Wallander et al., 2011). Further studies would be needed in order to clarify the relationship between attentional blink and temporal resolution of attention as measured with ATT.

Amateurs show a greater decline in temporal frequency thresholds going from one to three targets, while Professional players show smaller differences between conditions. These results are also supported by ATT-3:ATT-1 ratios, which are smaller for Professional players. Combined, these results suggest that Professionals' ability to track multiple targets over time at a faster rate is supported by their ability to effectively divide their attention between several stimuli.

However, the variance is not homogeneous for ATT-3 targets as the professional group has a larger variance than the amateur's (see **Figure 10** - Data Distribution on ATT-1 and ATT-3 for each Group Figure 10). This result indicates that some professional players perform poorly in ATT-3 targets compared to their performance in ATT-1 target, while others keep a similar performance. Thus, the performance of Professional players as a group is more heterogeneous. The factors explaining this dissimilarity in performance between professional players remain unknown as the sample is too small to conduct factorial analysis. As professional players specialize in a position and each position requires a different skillset, future research could look at the variability of professional players' performance with regards to their position.

Better divided attention for Professional players is consistent with previous studies showing that casual video game players are better than non-players at tracking multiple targets simultaneously (Flombaum et al., 2008; Trick et al., 2005). Tracking efficiently more than one target is useful in video games as the player often needs to keep track of several stimuli at the same time.

The results are also consistent with our previous study indicating that Professional players display an advantage over Amateurs in 3D-MOT (Benoit et al., 2020). The ATT-3:ATT-1 ratio shows a small correlation with the performance on 3D-MOT. Even if both tasks involve dividing attention across multiple targets, they have key differences. 3D-MOT includes variables such as spatial interference between targets and distractors, collisions and the changing trajectories. Furthermore, the three-dimensional aspect of the task produces occlusion, which adds to attentional demands (Flombaum et al., 2008). However, even by

using a task that does not involve these extra aspects, the current study shows that professional players are more efficient at dividing their attention between multiple targets.

The current study has several limitations. First, given the limited sample size, the current study was not powered to detect small or medium effects (with $\alpha = 0.05$, power = 0.80). Furthermore, the gender of the participants may have acted as a confounding variable, since our Professional players group was composed only of men and our Amateur had 4 women. The most played FPS game was Overwatch for all the Professional players, as the Amateurs had different games, which could also act as a confounding variable and could possibly limit the generalization of the results. Finally, the experimenter who administered the measures was not blind to the participant group, which may have introduced some bias.

This paper outlined that professional players have a better temporal resolution of attention and a better divided attention when compared to amateurs. However, as a group, professionals' performance in divided attention tasks is heterogeneous. Future work should try to identify the features that explain performance variation in divided attention tasks in professional players.

4.6 Acknowledgments

We would like to acknowledge Trevor Love and Taylor Johnson for their help and support during this project, as well as Russel Smith, Matt Men and Stephen Suttle for their support during the data collection. We would also like to acknowledge Stéphanie Breton for the linguistic revision.

4.7 Conflict of interest

Jocelyn Faubert is the director of the Faubert Lab at the University of Montreal and the developer of the 3D-MOT task that was used in this study (NeuroTracker) commercialized by Cognisens Athletics Inc. In this capacity, he holds shares in the company. This does not alter our adherence to the journal policies on sharing data and materials.

Chapitre 5 – Discussion

5.1 Rappel des objectifs et principaux résultats

Cette thèse avait pour objectifs de soulever les déterminants cognitifs qui sont caractéristiques de l'expertise en jeux vidéo, et ce spécifiquement pour les jeux d'action de tir à la première personne. L'objectif motivant cette caractérisation était, en premier lieu, d'évaluer l'hétérogénéité parmi les joueurs de jeux vidéo, tels qu'initialement définis dans la littérature. Cette caractérisation pourrait contribuer à une meilleure classification dans les recherches futures ainsi qu'à une meilleure connaissance de ce qui caractérise l'expertise dans ce domaine. Deuxièmement, la caractérisation de l'expertise, via la comparaison des joueurs amateurs et des joueurs professionnels, est susceptible d'offrir des pistes de réflexion et de soulever des hypothèses sur les déterminants cognitifs clés qui permettent aux experts de performer. Ainsi, de façon similaire à d'autres domaines, la compréhension du fonctionnement cognitif des experts-élites est susceptible de contribuer à l'enrichissement de nos connaissances sur le plan théorique. Lorsque conjugués, ces éléments sont, selon moi, susceptibles de contribuer à l'approfondissement des connaissances quant à l'implication des différentes fonctions cognitives en contexte de jeux vidéo.

5.1.1 Article 1

Dans l'étude 1, les deux groupes de joueurs de jeux vidéo d'action, divisés entre amateurs et professionnels, ont complété une batterie d'évaluation neuropsychologique. Cette batterie a été élaborée afin de cibler les fonctions cognitives sollicitées dans la pratique de jeux vidéo d'action et pour évaluer les fonctions cognitives s'étant illustrées comme caractéristique chez les joueurs de jeux vidéo d'action dans la littérature. L'objectif de cette démarche était de

vérifier si la performance élite en jeux vidéo d'action s'articule autour d'un fonctionnement cognitif particulier et si tel est le cas, d'en identifier les composantes. Les résultats de cette étude démontrent que l'expertise en jeux vidéo d'action est associée à de meilleures performances en MCTv, en attention sélective, en attention soutenue ainsi que pour discriminer rapidement des informations visuelles. La MDT semble également s'illustrer comme étant meilleure chez les professionnels. Finalement, les joueurs professionnels performant mieux dans une tâche 3D-MOT.

5.1.2 Article 2

Dans l'étude 2, l'objectif était d'approfondir la caractérisation des fonctions attentionnelles des joueurs de jeux vidéo d'action en mesurant la résolution temporelle de l'attention et l'attention divisée. Les résultats de cette étude démontrent que les joueurs professionnels ont une meilleure résolution temporelle de l'attention et une meilleure attention divisée, lorsque comparée aux amateurs. De plus, la performance des joueurs professionnels décline moins que celle des amateurs entre la poursuite d'une et de trois cibles, suggérant une meilleure capacité des joueurs professionnels à poursuivre plusieurs cibles simultanément. Les performances à l'intérieur du groupe de joueurs professionnels ne sont pas homogènes, suggérant des différences interindividuelles entre les joueurs constituant ce groupe.

5.2 La théorie du contrôle attentionnel

Les résultats soulevés dans la littérature suggèrent que l'avantage présenté par les joueurs de jeux vidéo d'action serait lié au contrôle attentionnel (Bavelier & Green, 2019; Cain et al., 2014; Chisholm & Kingstone, 2012) et non à des différences dans les mécanismes attentionnels de bas niveau (Chisholm et al., 2010; Föcker et al., 2019; Hubert-Wallander et

al., 2011; Wu et al., 2012). Le contrôle attentionnel est lié à l'attention endogène et permet le contrôle de l'information sélectionnée en fonction des buts et des intentions de l'individu (Van der Stigchel et al., 2009). Le contrôle attentionnel implique des composantes exécutives et volontaires qui permettent d'allouer des ressources attentionnelles à certains stimuli indépendamment des caractéristiques sensorielles de ceux-ci (Bavelier & Green, 2019).

Je présenterai d'abord la façon dont le contrôle attentionnel peut influencer les différentes fonctions cognitives évaluées pour ensuite regarder les résultats obtenus à la lumière de cette théorie explicative.

5.2.1 Le contrôle attentionnel et fonctions de bas niveau

Caplovitz et Kastner (2009) affirment qu'il est improbable que les bénéfices liés à la pratique de jeux vidéo d'action observés sur le plan perceptif découlent de changement physique dans la structure de l'œil. Les auteurs suggèrent que ces bénéfices découlent d'un meilleur contrôle attentionnel, ce qui permettrait aux joueurs de jeux vidéo d'action de mieux sélectionner l'information perceptuelle pertinente à la tâche et d'apprendre plus rapidement la façon optimale de réaliser ces tâches. Cette hypothèse a été appuyée par d'autres auteurs (Bejjanki et al., 2014 ; Green & Bavelier, 2012).

En ce qui concerne la vitesse de traitement de l'information, plusieurs routes permettraient d'expliquer la vitesse et la précision des joueurs de jeux vidéo d'action. Bavelier et Green (2019) évoquent la possibilité que la vitesse des joueurs de jeu vidéo puisse découler d'une exécution motrice plus rapide à partir du moment où une décision est prise. Une route alternative proposée par ces auteurs concerne la vitesse à laquelle l'information est accumulée

pour atteindre le seuil décisionnel, hypothèse qui a reçu plusieurs appuis (Green et al., 2010 ; Mack et al., 2016). Cette hypothèse s'appuie d'une part sur les études ayant démontré que les joueurs de jeux vidéo d'action développent des modèles perceptuels (*perceptual templates*) plus rapidement que les non-joueurs lors des tâches de discrimination visuelles, ce qui leur permet d'identifier les caractéristiques distinctives des stimuli et de prendre la décision appropriée plus rapidement (Bejjanki et al., 2014). D'autre part, le meilleur contrôle attentionnel des joueurs de jeux vidéo d'action leur concèderait une plus grande rapidité dans leur recherche visuelle en permettant une distribution des ressources attentionnelles plus efficace, ainsi qu'un engagement et un désengagement plus fluide des certaines sources d'informations (Castel et al., 2005). De ce fait, la conjugaison du développement rapide des modèles perceptuels et le meilleur contrôle attentionnel engendreraient un effet d'amorçage qui permettrait aux joueurs de jeux vidéo d'action d'être plus rapides dans les tâches d'identification de cibles (Bavelier & Green, 2019 ; Navalpakkam & Itti, 2006). Cette hypothèse sous-tend donc une combinaison des processus attentionnels endogènes et exogènes. L'attention endogène permettrait l'accumulation des connaissances sur les caractéristiques visuelles des cibles, ce qui optimiserait ensuite la recherche selon les caractéristiques physiques des stimuli (exogène).

5.2.2 Le contrôle attentionnel et mémoire de travail

Lorsque l'on s'intéresse aux capacités en mémoire de travail, deux éléments sont à considérer ; la capacité à encoder (soit la capacité en MCT) et le contrôle cognitif permettant la manipulation des éléments encodés (Baddeley, 2003). Chacune de ces capacités peut être influencée par le contrôle attentionnel.

Premièrement, le contrôle attentionnel peut médier la sélection des éléments à encoder en MCT en filtrant les éléments non pertinents à la tâche, évitant ainsi de saturer inutilement la MDT (Oberauer, 2019). Lorsque les tâches sont relativement faciles, les individus n'ont pas de difficultés à traiter et encoder l'entièreté des informations présentées. Cependant, lorsque la quantité d'information augmente, il devient essentiel de faciliter le traitement des informations pertinentes et d'inhiber les autres éléments. Ainsi, les individus ayant un moins bon contrôle attentionnel seraient plus facilement saturés lors de l'encodage, affectant leurs performances à la baisse puisque leur capacité en MCT serait partiellement occupée par des éléments non pertinents (Fukuda & Vogel, 2009 ; Kuo et al., 2012).

Ensuite, le contrôle attentionnel serait également sollicité pour le maintien de l'information alors qu'il est nécessaire d'allouer des ressources attentionnelles aux représentations encodées pour maintenir le contenu actif et éviter que la trace ne s'estompe (Astle et al., 2012 ; Nobre et al., 2008). Le contrôle attentionnel permettrait également, lorsque nécessaire, d'élaguer les éléments devenus non pertinents à la tâche. En réduisant le nombre d'éléments encodés, l'accès aux informations pertinentes serait facilité et cela permettrait d'encoder de nouveaux éléments si nécessaire (Colzato et al., 2013 ; Lewis-Peacock et al., 2018 ; Oberauer, 2019).

Finalement, une fois les éléments encodés en MCT, le contrôle attentionnel serait responsable de sélectionner les éléments à manipuler, de diviser les ressources entre ces éléments et d'effectuer les manipulations (Repovš & Baddeley, 2006). Moisala et collègues (2017) suggèrent que les joueurs de jeux vidéo d'action récupèrent plus facilement des déplacements attentionnels sur les représentations internes lorsqu'ils effectuent des manipulations en MDT, ce qui expliquerait les meilleures performances à ces tâches.

5.2.3 Le contrôle attentionnel et administrateur central

Sur plan conceptuel, la définition même du contrôle attentionnel est étroitement liée à l'administrateur central du modèle de Baddeley étant donné l'implication des processus attentionnels (attention divisée, sélective) et exécutifs (inhibition, flexibilité cognitive).

5.2.3.1 Les fonctions attentionnelles

Les tâches d'attention sélective impliquant d'identifier des cibles parmi des distracteurs sollicitent le contrôle attentionnel dès la phase de préparation à de la recherche pour maintenir la représentation de la cible en MDT, et ce avant même le début de la tâche pour faciliter la recherche une fois débuté (Eimer, 2014 ; Olivers et al., 2011). Ensuite, lors de la recherche, les individus doivent distribuer leurs ressources attentionnelles efficacement, ignorer les distracteurs et encoder les éléments pertinents à la discrimination des cibles. Bien qu'initialement rapportées comme des bénéfiques sur le plan de l'attention sélective, les meilleures performances des joueurs de jeux vidéo d'action aux tâches d'identification de cibles sont maintenant mieux comprises comme la résultante d'un meilleur contrôle dans la distribution des ressources attentionnelles (Bavelier & Green, 2019 ; Castel et al., 2005 ; Hubert-Wallander et al., 2011).

Les tâches d'attention divisée sollicitent également d'un contrôle attentionnel par la nécessité de partager efficacement les ressources attentionnelles entre plusieurs cibles et de filtrer les éléments non pertinents (Oei & Patterson, 2013 ; Repovš & Baddeley, 2006).

5.2.3.2 Les fonctions exécutives

Le contrôle attentionnel permettrait également d'expliquer les bénéfices observés sur la flexibilité cognitive. En effet, les meilleures performances des joueurs de jeux vidéo d'action dans les tâches de flexibilité cognitive découleraient de leur capacité à contrôler l'attention sélective et de maintenir l'information nécessaire à la tâche à venir active en mémoire de travail (Karle et al., 2010). Cette activation préalable de l'information en mémoire de travail permettrait d'augmenter l'efficacité et de réduire le coût du changement (Strobach & Schubert, 2021).

Ensuite, peu d'information aurait été identifiée quant à l'implication du contrôle attentionnel sur la capacité d'inhibition, et ce malgré le recoupement conceptuel entre les deux. Il en va de même pour la planification.

5.3 Le contrôle attentionnel comme marqueur de l'expertise

Cette section aura comme objectif de comparer les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse à la théorie explicative du contrôle attentionnel afin de voir si cette théorie nous permet de mieux comprendre le fonctionnement cognitif des experts-élites en jeux vidéo d'action.

5.3.1 Les fonctions de bas niveau

Les fonctions perceptuelles n'ont pas été évaluées dans le cadre de cette thèse. Cependant, certains éléments pertinents à la réflexion émergent dans la tâche de D2.

À la lumière de nos résultats, il semble improbable que l'avantage présenté par les joueurs de jeux vidéo d'action sur le plan de la vitesse de traitement de l'information découle d'une meilleure vitesse d'exécution des commandes motrices. En effet, les résultats obtenus au Grooved Pegboard ne permettent pas d'appuyer cette hypothèse alors que les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action ne se sont pas avérés plus rapides dans la tâche de coordination visuomotrice.

En revanche, la seconde hypothèse concernant la rapidité à laquelle l'information est accumulée concorde davantage avec les résultats obtenus. En ce sens, la vitesse de traitement des joueurs professionnels lors de la tâche D2 pourrait être expliquée par un meilleur contrôle attentionnel alors que ceux-ci ont traité un plus grand nombre de stimuli et que leur niveau d'exactitude s'est maintenu tout au long de la tâche. Conformément aux hypothèses soulevées précédemment, un meilleur contrôle attentionnel permettrait aux joueurs professionnels de déplacer plus rapidement leur attention sur les stimuli à traiter pour accumuler les informations pertinentes. Dans le cadre de la tâche, il est également possible que les joueurs professionnels aient développé des modèles perceptuels plus rapidement que les amateurs, leur permettant ainsi de prendre des décisions plus rapidement. Lorsque conjugués, un meilleur contrôle attentionnel et le développement rapide de modèle perceptuel pour orienter la recherche sont susceptibles d'avoir engendré un effet d'amorçage et ainsi avoir favorisé l'identification rapide et précise des cibles pour les joueurs professionnels.

L'absence de différence significative à la tâche du Code concorderait avec l'idée que les bénéfices en rapidité de traitement découlent d'un meilleur contrôle attentionnel et de l'élaboration de patrons perceptuels. En effet, le Code n'est pas une tâche de discrimination et s'éloigne davantage des tâches traditionnellement utilisées dans la littérature pour évaluer la vitesse des joueurs de jeux vidéo d'action. Puisque cette tâche comporte neuf options de réponse et qu'elle est de courte durée (120 secondes), le développement de patron perceptuel pour favoriser l'exécution de la tâche serait improbable. D'autre part, cette tâche sollicite davantage la capacité à favoriser une association en un chiffre et un symbole plutôt que d'inhiber des informations non pertinentes, ne sollicitant donc pas le contrôle attentionnel de la même façon que les tâches de discrimination.

5.3.2 La mémoire de travail

Les résultats obtenus à l'Empan spatial et aux Séquences de chiffres à l'endroit ne permettent pas d'évaluer si les capacités d'encodage des joueurs professionnels diffèrent des joueurs amateurs. En effet, la phase d'encodage lors de ces tâches ne sollicite pas de filtrer activement des distracteurs. Il en va de même pour la tâche de 3D-MOT qui ne sollicite pas de trier les cibles des distracteurs lors de la présentation.

En ce qui concerne la capacité en MCTa, aucune différence n'est mise en lumière alors que les joueurs amateurs encodent un nombre de chiffres similaire aux joueurs professionnels. En revanche, les joueurs professionnels peuvent encoder de plus longues séquences en MCTv, suggérant une capacité bonifiée de ce groupe pour la rétention du matériel visuel. Cette

meilleure capacité pourrait découler d'une facilitation du processus de maintien en MCTv qui permettrait de garder les informations actives et disponibles.

En ce qui concerne la manipulation des éléments, les deux groupes de joueurs ne se distinguent pas aux sous-échelles de l'Empan spatial à l'envers et Séquence de chiffres à l'envers ou croissant. Ces résultats suggèrent que lorsqu'isolée, la manipulation des informations encodées n'est pas significativement différente entre les groupes. En revanche, le résultat combiné des sous-échelles (résultat global) atteint le seuil de significativité pour chacune des épreuves, suggérant que la variance combinée des différentes sous-échelles est suffisante pour atteindre le seuil de significativité, et par conséquent, que les capacités en MDT sont distinctives dans ce contexte expérimental.

D'autre part, les différences identifiées entre les groupes à la tâche de 3D-MOT pourraient refléter des bénéfices sur le plan de la MDTv pour les joueurs professionnels. Pour bien réussir la tâche, il importe de maintenir la représentation des cibles actives et de constamment manipuler celles-ci pour mettre leur représentation à jour, sollicitant ainsi la MDTv (Allen et al., 2006). De plus, en raison de la présence de distracteurs et de la nécessité de diviser son attention entre les cibles, le 3D-MOT sollicite davantage le contrôle attentionnel en comparaison à l'Empan spatial et aux Séquences de chiffres, ce qui pourrait expliquer les résultats obtenus.

D'autre part, considérant la nature majoritairement visuelle des jeux vidéo d'action, il semble peu probable que la pratique de tels jeux ait directement des impacts sur la MCTa ou la MDTa. De ce fait, la médiation des bénéfices observés par le contrôle attentionnel permettrait

d'expliquer l'effet significatif observé au résultat global à Séquence de chiffre par la généralisation des bénéfices en MDTa (Franceschini et al., 2013).

5.3.3 L'administrateur central

5.3.3.1 Les fonctions attentionnelles

Les résultats obtenus sur les différentes mesures attentionnelles suggèrent que les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action présentent un meilleur contrôle attentionnel, lorsque comparés à des joueurs amateurs. En effet, à la tâche de D2, les joueurs professionnels ont traité l'information plus rapidement, et ce tout en maintenant leur niveau d'exactitude. Ceci pourrait découler d'une meilleure activation de la représentation des cibles en MDTv ou d'une plus grande efficacité dans les déplacements attentionnels. Ces deux possibilités se traduiraient par une meilleure performance à cette épreuve sans compromettre la vitesse ou la précision.

D'autre part, les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action performant mieux que les amateurs aux tâches impliquant la poursuite de cibles. Dans un premier temps, le groupe de joueurs professionnels s'est avéré meilleur que le groupe de joueurs amateurs à la tâche évaluant la résolution temporelle de l'attention, indiquant qu'ils parviennent à individualiser et suivre une cible unique plus rapidement que les amateurs. La différence entre les deux groupes devient plus importante lorsqu'on augmente le niveau de complexité de la tâche en y ajoutant plusieurs cibles, répliquant les résultats obtenus dans d'autres études (Green & Bavelier, 2006 ; Oei & Patterson, 2013 ; Trick et al., 2005). Ensuite, le coût sur la performance entre la tâche à une cible et la tâche à trois cibles est moindre pour les joueurs professionnels que pour les amateurs. Cette observation indique qu'au-delà de la meilleure résolution

temporelle nécessaire pour suivre les cibles, les joueurs professionnels parviennent à mieux diviser leur attention entre celles-ci, suggérant un meilleur contrôle attentionnel. Les résultats à la tâche de 3D-MOT abondent également en ce sens. En effet, la meilleure performance des joueurs professionnels au 3D-MOT lors de la séance initiale suggère qu'ils ont été capables de diviser leur attention entre les cibles, de maintenir la représentation des cibles actives en MDTv et d'ignorer efficacement les distracteurs. De plus, lorsque comparé à la tâche ATT-3, le 3D-MOT inclut des éléments d'occlusion spatiale, des interactions entre les stimuli et les distracteurs, des changements de direction ainsi que des rebonds, ce qui demande un plus grand contrôle attentionnel (Appelbaum & Erickson, 2018 ; Bavelier & Green, 2019).

L'identification du contrôle attentionnel comme étant un marqueur de l'expertise en jeu vidéo rejoint les résultats de la méta-analyse de Bediou (2018) qui identifie l'attention *top-down* comme étant l'un des résultats les plus importants dans les études comparant les joueurs aux non-joueurs. De plus, l'épaisseur du cortex cingulaire antérieur dorsal serait plus importante chez les joueurs de jeux vidéo d'action en comparaison aux non-joueurs, région du cerveau qui est impliquée, entre autres, dans le contrôle attentionnel (Benady-Chorney et al., 2018).

5.3.3.1 Les fonctions exécutives

En ce qui concerne la planification, l'inhibition et la flexibilité mentale, cette thèse ne suggère pas que ces capacités soient marqueurs de l'expertise de jeux vidéo d'action alors qu'aucune différence significative n'est mise en lumière entre les groupes.

Puisque la planification n'est pas sollicitée dans le contrôle attentionnel, l'absence d'effet significatif sur cette mesure demeure cohérente. D'autre part, ce résultat concorde avec l'étude

de Boot et collègues (2008) qui n'ont pas identifié de différence entre les joueurs de jeux vidéo d'action et les non-joueurs sur cette mesure.

L'inhibition ne s'est pas avérée significativement différente entre les groupes. L'absence d'effet pourrait déroger de ce qui était attendu avec l'hypothèse du contrôle attentionnel dans l'idée où l'inhibition est sollicitée pour ignorer les distracteurs. Cependant, l'inhibition est un terme large et souvent utilisé comme terme général pour désigner toutes sortes de réponses conflictuelles, d'arrêt ou d'hésitation (MacLeod, 2007). Or, il est possible que le type d'inhibition mesuré par l'effet Stroop diffère de l'inhibition qui est sollicitée dans le contrôle attentionnel. L'effet Stroop demande d'arrêter et de contrôler une réponse automatique (MacLeod, 2007 ; Westerhausen et al., 2011). D'un autre côté, l'idée que le processus permettant d'ignorer les distracteurs dans les tâches attentionnelles relève d'un mécanisme d'inhibition découlant d'un processus top-down est contestée (Chelazzi et al., 2019 ; Geng et al., 2019 ; Noonan et al., 2018). Ainsi, ce qui est précédemment identifié comme la capacité à inhiber les distracteurs lors des tâches d'attention visuelle pourrait renvoyer à un processus de facilitation des cibles (Chelazzi et al., 2019; Geng et al., 2019; Noonan et al., 2018; van Moorselaar & Slagter, 2020). En effet, la représentation des cibles en mémoire de travail engendrerait un biais attentionnel qui faciliterait le traitement des informations congruentes (Olivers et al., 2011; van Moorselaar et al., 2014; van Moorselaar & Slagter, 2020). Or, dans cet ordre d'idée, l'absence de différence entre les joueurs professionnels et amateurs sur la mesure d'inhibition telle que mesuré par le Stroop demeure cohérente avec l'hypothèse d'un meilleur contrôle attentionnel chez les joueurs professionnels.

La mesure de flexibilité cognitive n'est pas statistiquement différente entre les groupes. Une différence était attendue sur cette mesure, notamment en raison de la sollicitation de la flexibilité cognitive pour s'engager et de désengager de différentes sources d'information. Cependant, tel que soulevé par certaines études, les bénéfices observés auprès des joueurs de jeux vidéo d'action pour la flexibilité cognitive semblent limités aux situations impliquant d'activement mettre à jour les informations en MDT pour anticiper les changements (Green et al., 2012 ; Strobach et al., 2012 ; Strobach & Schubert, 2021) alors que cet effet s'estomperait lors que les changements de règles sont aléatoires et imprévisibles (Boot et al., 2008 ; Oei & Patterson, 2013). Dans la cadre de la tâche utilisée, les changements de règles étaient prévisibles, mais n'impliquaient pas la MDT pour prévoir les changements, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence entre les groupes.

En résumé, les joueurs professionnels se démarquent par leur attention sélective, leurs MCT, leur MDT, leur résolution temporelle de l'attention, leur capacité à diviser leur attention entre plusieurs cibles et à suivre celles-ci dans des scènes visuelles complexes en trois dimensions impliquant des occlusions et des interactions. Les résultats obtenus permettent d'appuyer l'hypothèse actuellement évoquée dans la littérature voulant que les joueurs de jeux vidéo d'action se démarquent par leur meilleur contrôle attentionnel (Bavelier & Green, 2019). Le contrôle attentionnel étant essentiel dans l'articulation de plusieurs fonctions cognitives, cette hypothèse permettrait d'expliquer la grande portée des effets observés dans la littérature pour les études transversales ainsi que le transfert des effets aux modalités auditives (Franceschini et al., 2013).

5.3 L'existence d'un profil cognitif associé à l'expertise en jeux vidéo d'action : Les implications

À la lumière des résultats présentés dans le cadre de cette thèse, il est maintenant possible d'établir l'existence d'un profil cognitif lié à l'expertise en jeu vidéo d'action. Bien que la méthodologie utilisée dans le cadre de ce travail ne permette pas d'établir la causalité de cette association, le simple fait de constater des différences cognitives entre les groupes de joueurs amateurs et professionnels, alors que ces deux groupes consacrent plusieurs heures par semaine au perfectionnement de leurs compétences de joueurs, met en lumière une lacune méthodologique dans l'opérationnalisation des groupes de joueurs de jeu vidéo dans la littérature existante. En effet, cette thèse soutient l'argument de Latham, Patston et Tippett (2013) indiquant que les individus pratiquant plus de six heures de jeux vidéo par semaine ne constituent pas un groupe homogène.

Bien qu'il soit possible de créer un plus grand nombre de catégories des joueurs basés sur le temps de jeu afin de tenir compte de la diversité de ce groupe (p. ex., les individus jouant entre 0 et 6 heures par semaine, entre 6 et 12 heures par semaine, 12 à 24 heures par semaine et 24 heures et plus), l'utilisation d'un critère de performance est préférable comme il se veut plus représentatif de l'expertise réelle développée par les individus (Chi et al., 2014 ; Latham et al., 2013).

Rappelons que la définition même d'expertise renvoie à la capacité des individus à fournir des performances supérieures de façon constante (Chi et al., 2014). Dans cette optique, le temps de jeu ne se veut pas forcément garant de l'expertise ; certains peuvent consacrer plusieurs

heures par semaine, voire plusieurs heures par jour à la pratique d'une activité sans pour autant atteindre des niveaux de performances exceptionnels. Par conséquent, l'opérationnalisation de l'expertise est mieux représentée par la performance des individus que par le temps dédié à une activité. De plus, l'utilisation d'un critère de performance s'avère être une mesure plus robuste et objective alors que les mesures auto rapportées du temps de jeu sont considérées comme étant peu fiables (Kahn et al., 2014 ; Rowlison et al., 2020).

Avec le développement du *esport* au niveau compétitif, la classification des niveaux de performances devient de plus en plus gradée et similaire aux classements observés en contexte sportif (p. ex., récréatif, universitaire, semi-professionnel, professionnel). Sans forcément s'intéresser à l'expertise comme telle, la classification des joueurs en fonction des niveaux de performance est également applicable aux joueurs amateurs dans la mesure où la quasi-totalité des jeux d'action possède un système de classement des performances par catégorie ou par point. Ainsi, sur le plan méthodologique, au lieu de comparer des joueurs ayant joué plus de six heures par semaine à ceux ayant joué moins de six heures par semaine depuis les six derniers mois, il serait préférable de cibler les jeux et les niveaux de performances d'intérêt pour le design méthodologique développé. Par exemple, si une étude s'intéresse aux jeux de type FPS, les critères de sélection des joueurs devraient cibler les individus jouant à *Overwatch* de catégories *Bronze*, *Silver* ou *Gold*, et les comparer à ceux de catégorie *Platinum*, *Diamond*, *Master* ou *Grandmaster*.

D'autre part, en plus de distinguer les experts en jeux vidéo d'action comme étant une population différente des joueurs amateurs, il importe de souligner que le bassin de joueurs expert n'est probablement pas homogène lui-même. Ce point est notamment appuyé par les

divergences à l'intérieur même du groupe de professionnels observées sur la mesure ATT-3. En effet, de façon similaire à l'expertise dans le domaine du sport, les joueurs professionnels en jeux vidéo d'action développent une expertise dans un poste spécifique alors que chaque poste nécessite des compétences particulières. Par exemple, au soccer, le rôle d'un attaquant implique de manier le ballon de façon à libérer de l'espace en direction du but et de décocher un tir précis et rapide. Ce rôle est très différent de celui d'un défenseur qui doit davantage anticiper les mouvements de l'adversaire et utiliser son physique pour arrêter la progression de celui-ci. Le même comparatif peut être fait avec le football américain ; les compétences recherchées chez un bloqueur de ligne défensive sont significativement différentes de celles qui sont attendues chez un attaquant sur le plan de la vitesse, de la tactique, de la lecture du jeu et du temps de réaction. L'idée est identique avec les jeux vidéo d'action ; les positions occupées par les différents joueurs vont nécessiter des capacités cognitives différentes.

Dans le jeu *Overwatch* par exemple, les héros Tanks ont comme rôle d'encaisser les dégâts et de créer l'espace pour que les autres joueurs puissent avancer. Ce sont également ces joueurs qui mènent la charge, ouvrent la voie vers l'objectif de la mission et doivent coordonner les actions de l'équipe pour atteindre l'objectif. Cela demande une bonne planification, de l'attention divisée pour surveiller sur le progrès de leur coéquipier et de bien mettre à jour l'information en mémoire de travail pour assurer que la progression effectuée mène toujours vers l'objectif désiré. D'un autre côté, les héros Dégât (*Damages*) sont des joueurs responsables d'attaquer les ennemis avec leurs outils. Cette position nécessite beaucoup de déplacement, d'être rapide et de se coordonner avec les héros Tanks pour leur offrir de la protection. Ces joueurs doivent donc repérer et réagir rapidement aux informations (attention sélective et vitesse de traitement), se déplacer rapidement dans l'espace (cognition spatiale),

repérer les ennemis dans le jeu et concentrer leurs ressources attentionnelles sur celui-ci pour l'attaquer tout en surveillant le Tank, ce qui implique le dynamisme attentionnel et la mise à jour des informations en MDT. Finalement, les héros de Soutient protègent et renforcent leurs alliés en les soignants, en leur procurant des boucliers, en augmentant leur capacité de dégâts ou en augmentant leur vitesse. Cependant, puisque ces héros ne possèdent pas beaucoup de force d'attaque, ils doivent être prudents pour ne pas se faire attaquer par l'adversaire. Les joueurs à cette position doivent donc être attentifs aux actions des autres joueurs pour leur venir en aide si nécessaire, tout en repérant les ennemis pour ne pas se faire attaquer (attention divisée, flexibilité cognitive).

Un parallèle similaire pourrait également être fait avec les joueurs amateurs. Puisque l'identité même du jeu vidéo réside dans l'interaction entre les jeux et les joueurs, différents individus peuvent avoir des expériences de jeu totalement différentes en fonction des personnages qu'ils décident d'incarner ou du style de jeu qu'ils adoptent. Certains joueurs peuvent aller au combat et utiliser des armes de proximité pour attaquer l'adversaire, sollicitant donc la rapidité et la concentration des ressources attentionnelles. En revanche, d'autres peuvent opter pour un style de jeu plus prudent en cachant dans les buissons et en utilisant une arme à longue portée, sollicitant les fonctions perceptuelles et l'attention sélective pour repérer les cibles. De ce fait, les différents rôles et les différentes façons de jouer sont susceptibles d'agir à titre de variable modératrice ou médiatrice de l'impact des jeux vidéo d'action sur la cognition. Il serait possible de spéculer que le contrôle attentionnel serait plus sollicité dans un style de jeu offensif où le dynamisme attentionnel serait davantage impliqué et les contraintes temporelles seraient susceptibles d'être plus grandes sur l'individu.

5.4 L'expertise en jeux vidéo d'action, expertise sportive et expertise aux échecs

De façon similaire à ce qui a été observé dans le domaine sportif (Chi et al., 2014 ; Voss et al., 2010), les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse démontrent que l'expertise-élite en jeux vidéo d'action est caractérisée par des déterminants cognitifs. En effet, lorsqu'évalués dans un environnement expérimental dénué du contexte des jeux vidéo d'action, les joueurs professionnels performant mieux que les amateurs sur plusieurs mesures attentionnelles (résolution temporelle, attention sélective, attention soutenue, attention divisée), de mémoire de travail, de mémoire à court terme visuelle et de vitesse de traitement. Les joueurs professionnels réussissent également mieux que les amateurs dans une tâche perceptivo-cognitive.

Le contrôle attentionnel est également identifié comme étant un élément central de la performance des experts-élites en contexte sportif en permettant l'allocation de ressources cognitives aux représentations internes et aux stimuli externes pour permettre l'atteinte d'un objectif (Furley & Wood, 2016 ; Pashler et al., 2001). Si plusieurs actions sont automatisées dans le contexte de l'expertise (p. ex., le dribble est automatisé pour un joueur de basketball), d'autres actions nécessitent la MDT pour évaluer les possibilités et faire des représentations mentales (Evans & Stanovich, 2013). Ainsi, le contrôle attentionnel est identifié comme étant un élément central de la performance sportive des athlètes de haut niveau (Furley & Wood, 2016). Or, tel que discuté précédemment, le contrôle attentionnel semble également se positionner comme un élément central de l'expertise-élite en contexte de jeux vidéo d'action.

D'autre part, le résultat obtenu au 3D-MOT indique que les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action performant mieux que les amateurs sur la tâche, reproduisant les résultats obtenus auprès des athlètes de divers sports (Faubert, 2013). Ce résultat suggère que les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action se démarquent par leur capacité perceptivo-cognitive lorsqu'ils doivent traiter des scènes dynamiques et complexes en trois dimensions sollicitant le contrôle attentionnel. En revanche, la courbe d'apprentissage lors de cette tâche ne semble pas être caractéristique de l'expertise en jeux vidéo d'action, contrairement à ce qui a été observé dans la littérature pour l'expertise sportive (Faubert, 2013).

De façon intéressante, certaines études ont également mis en lumière des caractéristiques cognitives chez les joueurs experts aux échecs. Les échecs sont un jeu de logique et de stratégie reconnu pour être exigeant sur le plan cognitif, et ce, bien qu'ils ne soient pas soumis aux mêmes contraintes temporelles que le sport ou les jeux vidéo d'action (Majid & Vahid, 2012). Malgré cette différence, il y aurait une association positive entre l'habileté des joueurs aux échecs et leur raisonnement fluide, les capacités en mémoire à court terme et la vitesse de traitement de l'information. (Burgoyne et al., 2016). De façon similaire à ce qui est observé en médecine, l'expertise aux échecs serait marquée par des mouvements oculaires plus efficaces, qui seraient à l'origine des capacités d'encodage extraordinaire des experts pour les informations reliées à la discipline (Reingold & Sheridan, 2011).

En somme, les résultats de cette thèse soutiennent le rapprochement entre l'expertise en contexte sportif et l'expertise en contexte de jeux vidéo d'action ainsi que la contribution du contrôle attentionnel aux performances de haut niveau des individus.

5.5 Les limites de la thèse

Il existe plusieurs limitations inhérentes aux choix méthodologiques présentées dans cette thèse qui doivent être considérées dans l'interprétation et la portée des résultats. Parmi ces limites, nous relevons la caractérisation de l'échantillon, les conditions d'évaluation, le taille de l'échantillon, le choix des évaluations neuropsychologiques et le devis transversal à deux groupes.

Premièrement, la constitution des groupes diverge quant au genre des individus alors que le groupe de joueurs professionnel est uniquement constitué d'hommes et que les groupes d'amateurs contiennent quatre femmes. Néanmoins, soulignons que qualitativement, les résultats obtenus par les femmes aux différentes mesures cognitives étaient similaires à ceux obtenus par les hommes. Le groupe d'amateurs est également constitué de joueurs jouant à des jeux différents, alors que les professionnels jouaient tous au même jeu (Overwatch). Bien que tous les jeux étaient des jeux d'action de tirs à la première personne, une certaine variabilité existe tout de même entre ceux-ci.

Une seconde différence entre les groupes relève des conditions d'évaluation. Pour le groupe de joueurs professionnels, les rencontres d'évaluation se sont déroulées dans leur centre d'entraînement à Frisco et à Los Angeles. En revanche, pour faciliter le recrutement des joueurs amateurs, ceux-ci ont été évalués à domicile, engendrant une certaine variabilité dans les environnements d'évaluation pour ce groupe. Néanmoins, lors de mesures, des précautions étaient prises afin d'assurer que le tout se déroule dans un endroit calme et dépourvu au maximum de distractions. D'autre part, le groupe de joueurs professionnels a complété toutes

les rencontres expérimentales à l'intérieur de leurs journées habituelles d'entraînement, soit entre 10 heures et 18 heures. En revanche, pour les joueurs amateurs, certaines rencontres ont dû se dérouler à l'extérieur des heures habituelles de travail, soit avant ou après, à la convenance des participants. Soulignons que malgré la flexibilité d'horaire offerte aux participants, toutes les évaluations neuropsychologiques se sont déroulées entre 9 heures et 16 heures.

Ensuite, un effet plafond est rencontré aux mesures de MCTv et de MDTv. Puisque la majorité des tests neuropsychologiques utilisés dans la batterie d'évaluation sont des tests cliniquement conçus pour déceler des difficultés auprès des individus, ceux-ci sont moins adaptés pour discriminer vers le haut. De ce fait, certains joueurs professionnels ont terminé l'épreuve de l'Empan spatial sans atteindre le critère d'arrêt des tests ; ils auraient donc été en mesure de poursuivre l'épreuve au-delà du seuil de difficulté maximal proposé. Cette limitation peut avoir terni certains effets et contribué au fait que certaines mesures n'atteignent pas le seuil de significativité, mais s'en approche. L'identification de cette limite est importante à considérer dans l'élaboration de futures batteries d'évaluation neuropsychologique visant à mesurer la cognition des populations qui sont susceptibles d'obtenir des résultats supérieurs à ces tests. Un effet plafond est également observé à la tâche ATT-1. La raison exacte expliquant cet effet plafond demeure à élucider. Il est possible que la complétion de la tâche dans un dispositif de réalité virtuelle ait été contributif puisque la même tâche complétée sur un écran d'ordinateur n'a pas observé cet effet (Roudaia & Faubert, 2017).

D'autre part, certains des outils utilisés dans cette thèse n'ont pas été validés sur le plan psychométrique. En effet, bien que les tâches de 3D-MOT et de poursuite attentionnelle (ATT1

et ATT3) ait été utilisé dans d'autres études pour évaluer l'attention (Parsons et al., 2016; Roudaia & Faubert, 2017) et l'apprentissage (Faubert, 2013), ces tâches n'ont pas été soumises à un processus de validation. Malgré cette lacune, les outils ont été sélectionnés par défaut puisqu'à notre connaissance, aucune autre tâche validée ne permettait d'évaluer ces aspects du fonctionnement cognitif.

La taille restreinte des échantillons constitue également une limite de la présente thèse. En effet, l'accessibilité aux joueurs professionnels de jeux vidéo d'action représente un défi de taille dans le recrutement. D'une part, relativement peu de gens jouent à un niveau professionnel, et donc peuvent être considérés comme des experts-élites. D'autre part, les ententes de confidentialité ont empêché le recrutement dans différents clubs professionnels pour une même étude.

La puissance statistique revoit à la probabilité de détecter un effet significatif qui existe réellement et de rejeter correctement l'hypothèse nulle (Button et al., 2013). Or, plus un effet est petit, plus l'échantillon nécessaire pour détecter cet effet devra être grand. Donc, des effets significatifs pourraient être non-détectés si l'échantillon est trop petit (faux négatif). En contrepartie, advenant qu'un effet soit significatif avec un petit échantillon, celui-ci a une grande probabilité d'être lié à des erreurs d'échantillonnage plutôt qu'à un réel effet, c'est-à-dire un faux positif. En plus d'influencer la probabilité de trouver un effet significatif, les petits échantillons peuvent surestimer les tailles d'effets (Kühberger, Fritz & Scherndl, 2014). La taille d'effet mesure la force de l'association entre deux variables (Kühberger, Fritz & Scherndl, 2014). En somme, la taille restreinte des échantillons dans la présente thèse nous amène à soulever des précautions envers les résultats significatifs obtenus et la force des

associations identifiées. D'autres études avec des tailles d'échantillons supérieurs seront nécessaires pour confirmer les résultats obtenus. La taille de l'échantillon des articles de cette thèse représente donc une des limites les plus importantes puisqu'elle affecte directement la puissance statistique (Button et al., 2013). Soulignons que de façon générale, la littérature du jeu vidéo est lacunaire en ce qui concerne la puissance statistique, avec des groupes composés de 13 à 45 joueurs pour la plupart des études, ce qui indique que la plupart des études à ce jour ont un manque de puissance (Bediou et al., 2018).

Ensuite, l'absence de corrections pour comparaison multiple sur les analyses de Welch et sur les corrélations de Spearman représente une limite dans l'article 1. Bien qu'aucune correction n'eût été réalisée initialement considérant la nature exploratoire de l'étude, il est important de reconnaître celle-ci, et ce, particulièrement à la lumière des éléments discutés précédemment concernant les limites statistiques découlant des petits échantillons. Les corrections ont été réalisées suivant la publication de l'article et ont été annexées à la thèse (voir annexe 2).

Finalement, les études se heurtent aux limites inhérentes au devis transversal utilisé. En effet, bien que la méthode utilisée permette de mettre en relief les différences entre les groupes de joueurs, la causalité de cette relation ne peut être établie. Ce devis ne permet donc pas de déterminer la direction de la relation ; est-ce que la pratique de jeux vidéo d'action à un niveau professionnel mène à une amélioration du fonctionnement cognitif ? Ou est-ce que les capacités cognitives innées des individus permettent de hauts niveaux de performances, ce qui en retour les motive à pratiquer cette activité ? Ainsi, bien que le devis transversal permette de vérifier des associations et de générer des hypothèses sur la nature de celles-ci, cette méthode

ne permet pas de trancher sur la question de l'inné versus l'acquis qui demeure une question centrale dans l'étude du lien entre les jeux vidéo d'action et la cognition. Cette question est également essentielle à la conception d'intervention cognitive basée sur les jeux vidéo d'action. D'autres études avec des devis longitudinaux seront nécessaires pour suivre l'évolution et le développement des compétences.

Ensuite, la méthodologie utilisée comparait deux groupes de joueurs de jeux vidéo d'action ; ceux jouant de façon récréative et ceux jouant à un niveau professionnel. Une première différence à souligner est la plus grande homogénéité des participants composant le groupe de joueurs professionnel en comparaison aux amateurs sur le type de jeux jouer. En effet, les professionnels jouaient quasi-exclusivement à Overwatch, alors que les jeux des joueurs des amateurs étaient plus diversifié (voir tableau 4). Néanmoins, les critères de sélections des joueurs amateurs ciblaient spécifiquement les jeux de tirs à la première personne dans le but de diminuer au maximum la variance attribuable au jeu.

Il aurait pu être intéressant d'intégrer un troisième groupe d'individus qui ne joue aucunement aux jeux vidéo à titre de contrôle. Mentionnons néanmoins que la constitution d'un tel groupe pourrait être difficile alors que les jeux vidéo sont omniprésents dans la culture populaire. Avant les années 2000, il était possible de trouver des individus qui n'avaient jamais joué au jeu vidéo. Actuellement, les jeux vidéo sont si facilement accessibles (consoles, tablettes, téléphones intelligents), ce qui peut constituer un défi pour la formation d'un tel groupe. De plus, un individu qui rapporte ne pas avoir joué aux jeux vidéo dans la dernière année est néanmoins susceptible d'avoir déjà joué aux vidéos à un certain moment de sa vie (Dale et al., 2020).

5.6 Les perspectives pour les recherches futures

Les jeux vidéo se voient être une avenue prometteuse d'intervention pour plusieurs populations et pour adresser plusieurs thématiques ; pour prévenir le déclin l'isolement (Chen & Schulz, 2016; Wollersheim et al., 2010) et le déclin cognitif auprès des personnes âgées (Guarino et al., 2020 ; McCord et al., 2020), pour aider les enfants dyslexiques à développer leurs habiletés de lecture (Franceschini et al., 2013) ou pour aider les personnes atteintes d'un trouble du déficit de l'attention (Canady, 2020 ; Penuelas-Calvo et al., 2020). Bref, la portée de ces interventions est multiple et l'engouement scientifique est réel. Néanmoins, un nombre important d'avenues demeure à explorer pour bien saisir l'impact de la pratique de jeux vidéo d'action sur la cognition.

Une question essentielle à élucider pour notre compréhension du phénomène demeure la question de la causalité. Seuls les devis expérimentaux d'intervention seront capables de trancher cette question. De plus, les études expérimentales réalisées jusqu'à maintenant ont une faible puissance statistique alors que la taille des échantillons varie généralement entre 13 et 45 participants (Bediou et al., 2018). Il y a donc un besoin pour des études expérimentales avec de plus grands groupes. Dans une telle perspective, il serait également intéressant de s'inspirer des devis méthodologiques utilisés par la recherche clinique en utilisant des groupes de contrôles actifs et de placebo afin de contrôler certains biais. D'autre part, il serait intéressant d'évaluer les bénéfices cognitifs de la pratique de jeux vidéo d'action non seulement en fonction d'un plan d'entraînement prédéterminé en termes d'heures jouées, mais également en termes de niveau de performance et d'objectifs atteints. Cela permettrait d'explorer les impacts potentiellement différents de la pratique de jeux vidéo d'action et de la

performance en jeux vidéo d'action. Une autre avenue intéressante serait d'éclaircir le développement des capacités cognitives en lien avec la pratique de jeux vidéo d'action en utilisant un devis longitudinal pour suivre le développement des joueurs.

Ensuite, advenant l'établissement d'un lien causal, la seconde question à élucider serait celle du transfert aux autres contextes. Bien que certaines études démontrent que les bénéfices attentionnels se transfèrent aux tâches près du contexte de jeux vidéo (*near transfert*) (West et al., 2008), il sera essentiel de faire une démonstration rigoureuse du transfert des bénéfices aux tâches plus éloignées (*far transfert*) avant d'utiliser les jeux vidéo d'action à des fins d'intervention, et ce particulièrement auprès des populations cliniques. Selon Bavelier et Green (2018), les jeux vidéo d'action ont un haut potentiel de généralisation puisque le contrôle attentionnel est un élément clé de l'apprentissage, ce qui permettrait d'apprendre plus rapidement de nouvelles tâches (*learning to learn*), renvoyant à une forme de généralisation et de transfert. Cependant, des preuves empiriques seront nécessaires pour appuyer cette théorie et puis établir les paramètres de qui, quand et comment les individus pourraient bénéficier de telles interventions (Smid et al., 2020).

Ensuite, l'identification des variables médiatrices et/ou modératrices de l'impact des jeux vidéo d'action sur la cognition sera un point à élucider afin de bien comprendre les mécanismes sous-jacents. La compréhension des différences individuelles qui pourraient avoir un impact sur la pratique de jeux vidéo d'action serait un élément pertinent à approfondir afin de cibler les populations cliniques qui seraient susceptibles de bénéficier de telles interventions. Par exemple, puisque la majorité des études ont des échantillons de jeunes adultes majoritairement composés d'hommes, il serait intéressant d'explorer les différences entre les groupes d'âge

(enfants, adolescents, adulte et personnes âgées) et entre les sexes. D'autres variables telles que le potentiel intellectuel global, les motivations qui incitent les individus à jouer (à des fins sociales ou compétitives) et le contexte dans lequel les individus jouent (en ligne, individuellement ou en groupe) seraient des variables à explorer (Westwood & Griffiths, 2010).

Afin d'approfondir notre compréhension de l'expertise de jeux vidéo d'action, il serait intéressant d'explorer les mouvements oculaires des joueurs. En effet, plusieurs études liées à l'expertise indiquent que les mouvements oculaires des experts sont hautement efficaces, leur permettant de repérer rapidement des informations nécessaires à la prise de décision et de fournir une réponse précise rapidement (Reingold & Sheridan, 2011). Il serait donc intéressant de vérifier si l'expertise en jeu vidéo est également caractérisée par une capacité à repérer efficacement l'information en situation de jeux et si cette capacité se transfère à d'autres types de tâches alors que certains auteurs ont suggéré que les bénéfices observés en vitesse de traitement pourraient découler de la capacité des joueurs de récupérer efficacement l'information (Dye et al., 2009).

Finalement, les jeux vidéo d'action se consomment de plus en plus en ligne, via internet. Cette nouvelle façon d'accéder aux jeux ouvre la porte à un immense bassin de données variées sur les joueurs et leur statistique de jeux. Il devient alors possible de récolter rapidement des centaines de données sur les habitudes de jeux des joueurs et sur les paramètres de jeux. Ces données pourraient être d'une grande utilité pour des études corrélationnelles en partenariat avec l'industrie, pour suivre l'évolution des joueurs dans le temps ou simplement pour obtenir un portrait des joueurs.

Chapitre 6 – Conclusions

La présente thèse visait à dresser le profil cognitif des joueurs professionnels en jeux vidéo d'action afin de permettre une meilleure compréhension du lien qui unit la pratique de ces jeux et la cognition, ainsi que de soulever certains défis méthodologiques dans les études actuelles.

Nous avons démontré que les joueurs professionnels de jeux vidéo d'action se démarquent des joueurs amateurs sur les mesures de vitesse de traitement, d'attention sélective, d'attention soutenue, de MCTv et MDT lors de l'évaluation neuropsychologique. Les professionnels réussissent également mieux une tâche de poursuite d'objet multiple, et ce malgré une courbe d'apprentissage similaire entre les groupes.

Ensuite, l'utilisation de deux tâches attentionnelles a démontré que les joueurs professionnels se démarquent par leur résolution temporelle de l'attention et leur capacité à diviser leur ressource attentionnelle sur plusieurs cibles. La distribution des résultats suggère que l'attention divisée permet de mieux expliquer la performance des professionnels aux tâches de poursuite d'objets multiples et met en lumière des différences à l'intérieur même du groupe de joueurs professionnels.

L'ensemble des résultats obtenus aux différentes mesures attentionnelles et cognitives sont cohérents avec l'hypothèse voulant que les performances des joueurs de jeux vidéo d'action découlent d'un meilleur contrôle attentionnel. De plus, l'identification de différences entre les deux groupes supporte l'idée que les joueurs de jeux vidéo ont donc un groupe hétérogène et que la méthodologie utilisée pour étudier cette population doit s'adapter pour rendre compte de ces

différences en termes de temps de jeux, de niveau de performance et de type de jeux par exemple. La considération de ces éléments serait susceptible de contribuer au développement des connaissances théorique et empirique de ce domaine.

Références bibliographiques

- Allain, P., Nicoleau, S., Pinon, K., Etcharry-Bouyx, F., Barré, J., Berrut, G., Dubas, F., & Le Gall, D. (2005). Executive functioning in normal aging : A study of action planning using the Zoo Map Test. *Brain and cognition*, 57(1), 4-7.
- Allen, R., McGeorge, P., Pearson, D. G., & Milne, A. (2006). Multiple-target tracking : A role for working memory? *Quarterly journal of experimental psychology*, 59(6), 1101-1116.
- Allen, R., McGeorge, P., Pearson, D., & Milne, A. B. (2004). Attention and expertise in multiple target tracking. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 18(3), 337-347.
- Alvarez, G. A., & Franconeri, S. L. (2007). How many objects can you track? : Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *Journal of vision*, 7(13), 14-14.
- Alvarez, G. A., Horowitz, T. S., Arsenio, H. C., DiMase, J. S., & Wolfe, J. M. (2005). Do multielement visual tracking and visual search draw continuously on the same visual attention resources? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(4), 643.
- Alves, H., Voss, M., Boot, W. R., Deslandes, A., Cossich, V., Inacio Salles, J., & Kramer, A. F. (2013). Perceptual-cognitive expertise in elite volleyball players. *Frontiers in psychology*, 4, 36.
- Anderson, P. J. (2008). Towards a developmental model of executive function. *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective*, 3, 21.
- Andrews, G., & Murphy, K. (2006). *Does video game playing improve executive functioning?*
- Appelbaum, L. G., & Erickson, G. (2018). Sports vision training : A review of the state-of-the-art in digital training techniques. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 11(1), 160-189.
- Astle, D. E., Nobre, A. C., & Scerif, G. (2012). Attentional control constrains visual short-term

- memory : Insights from developmental and individual differences. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(2), 277-294.
- Augustinova, M., & Ferrand, L. (2007). Influence de la présentation bicolore des mots sur l'effet Stroop. *L'Année psychologique*, 107(2), 163-179.
- Azémar, G., Stein, J.-F., & Ripoll, H. (2008). Effets de la dominance oculaire sur la coordination oeil-main dans les duels sportifs. *Science & sports*, 23(6), 263-277.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer : A new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory : Looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2006). Working memory : An overview. *Working memory and education*, 1-31.
- Baddeley, A. (2013). *Essentials of human memory (classic edition)*. Psychology Press.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2019). From short-term store to multicomponent working memory : The role of the modal model. *Memory & cognition*, 47(4), 575-588.
- Bates, M. E., & Lemay, E. P. (2004). The d2 Test of attention : Construct validity and extensions in scoring techniques. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(3), 392-400.
- Bavelier, D., Achtman, R. L., Mani, M., & Föcker, J. (2012). Neural bases of selective attention in action video game players. *Vision research*, 61, 132-143.
- Bavelier, D., & Green, C. S. (2019). Enhancing attentional control : Lessons from action video games. *Neuron*, 104(1), 147-163.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). *Beck depression inventory (BDI-II)* (Vol. 10). Pearson.
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills.

Psychological bulletin, 144(1), 77.

- Bejjanki, V. R., Zhang, R., Li, R., Pouget, A., Green, C. S., Lu, Z.-L., & Bavelier, D. (2014). Action video game play facilitates the development of better perceptual templates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(47), 16961-16966. <https://doi.org/10.1073/pnas.1417056111>
- Benady-Chorney, J., Yau, Y., Zeighami, Y., Bohbot, V. D., & West, G. L. (2018). Habitual action video game players display increased cortical thickness in the dorsal anterior cingulate cortex. *NeuroReport*, 29(5), 393-396.
- Benoit, J. J., Roudaia, E., Johnson, T., Love, T., & Faubert, J. (2020). The neuropsychological profile of professional action video game players. *PeerJ*, 8, e10211.
- Berry, L. (2006). Mosby's Dictionary of Medicine, Nursing & Health Professions—. *Nursing Standard*, 20(22), 36-37.
- Blacker, K. J., & Curby, K. M. (2013). Enhanced visual short-term memory in action video game players. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(6), 1128-1136.
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta psychologica*, 129(3), 387-398.
- Brickenkamp, R., & Zillmer, E. (1998). *D2 Test of attention* (A Hogrefe Compagny).
- Buckley, D., Codina, C., Bhardwaj, P., & Pascalis, O. (2010). Action video game players and deaf observers have larger Goldmann visual fields. *Vision research*, 50(5), 548-556.
- Button, K. S., Ioannidis, J., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature reviews neuroscience*, 14(5), 365-376.
- Cain, M. S., Prinzmatal, W., Shimamura, A. P., & Landau, A. N. (2014). Improved control of exogenous attention in action video game players. *Frontiers in psychology*, 5, 69.
- Canady, V. A. (2020). FDA approves first video game Rx treatment for children with ADHD. *Mental Health Weekly*, 30(26), 1-7.

- Caplovitz, G. P., & Kastner, S. (2009). Carrot sticks or joysticks : Video games improve vision. *Nature neuroscience*, 12(5), 527-528.
- Casanova, F., Oliveira, J., Williams, M., & Garganta, J. (2009). Expertise and perceptual-cognitive performance in soccer : A review. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 9(1), 115-122.
- Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta psychologica*, 119(2), 217-230.
- Cavanagh, P., & Vanrullen, R. (2007). LA RÉOLUTION DE L'ATTENTION : LE GRAIN SPATIAL ET TEMPOREL DE LA CONSCIENCE VISUELLE. *Les dimensions de l'attention visuelle*.
- Charness, N., & Tuffiash, M. (2008). The role of expertise research and human factors in capturing, explaining, and producing superior performance. *Human factors*, 50(3), 427-432.
- Chelazzi, L., Marini, F., Pascucci, D., & Turatto, M. (2019). Getting rid of visual distractors : The why, when, how, and where. *Current opinion in psychology*, 29, 135-147.
- Chen, Y.-R. R., & Schulz, P. J. (2016). The effect of information communication technology interventions on reducing social isolation in the elderly : A systematic review. *Journal of medical Internet research*, 18(1), e4596.
- Chi, M. T., Glaser, R., & Farr, M. J. (2014). *The nature of expertise*. Psychology Press.
- Chiaravalloti, N. D., Christodoulou, C., Demaree, H. A., & DeLuca, J. (2003). Differentiating simple versus complex processing speed : Influence on new learning and memory performance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(4), 489-501.
- Chisholm, J. D., Hickey, C., Theeuwes, J., & Kingstone, A. (2010). Reduced attentional capture in action video game players. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 667-671.
- Chisholm, J. D., & Kingstone, A. (2012). Improved top-down control reduces oculomotor capture : The case of action video game players. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(2), 257-262.
- Colzato, L. S., van den Wildenberg, W. P., Zmigrod, S., & Hommel, B. (2013). Action video

gaming and cognitive control: Playing first person shooter games is associated with improvement in working memory but not action inhibition. *Psychological research*, 77(2), 234-239.

Colzato, L. S., Van Leeuwen, P. J., Van Den Wildenberg, W., & Hommel, B. (2010). DOOM'd to switch: Superior cognitive flexibility in players of first person shooter games. *Frontiers in psychology*, 1, 8.

Dakin, S., & Frith, U. (2005). Vagaries of visual perception in autism. *Neuron*, 48(3), 497-507.

Dale, G., Joessel, A., Bavelier, D., & Green, C. S. (2020). A new look at the cognitive neuroscience of video game play. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 192-203.

Del Giudice, E., Grossi, D., Angelini, R., Crisanti, A. F., Latte, F., Fragassi, N. A., & Trojano, L. (2000). Spatial cognition in children. I. Development of drawing-related (visuospatial and constructional) abilities in preschool and early school years. *Brain and development*, 22(6), 362-367.

Dikmen, S. S., Heaton, R. K., Grant, I., & Temkin, N. R. (1999). Test-retest reliability and practice effects of expanded Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 5(4), 346-356.

Donohue, S. E., Woldorff, M. G., & Mitroff, S. R. (2010). Video game players show more precise multisensory temporal processing abilities. *Attention, perception, & psychophysics*, 72(4), 1120-1129.

Drew, B., & Waters, J. (1986). Video games: Utilization of a novel strategy to improve perceptual motor skills and cognitive functioning in the non-institutionalized elderly. *Cognitive Rehabilitation*.

Dufour, A., Lithfous, S., & Després, O. (2018). *Le vieillissement neurodégénératif: Méthodes de diagnostic différentiel: Cognition et orientation spatiales-avec programmes interactifs d'évaluation*. Elsevier Health Sciences.

Dye, M. W., Green, C. S., & Bavelier, D. (2009). Increasing speed of processing with action video games. *Current directions in psychological science*, 18(6), 321-326.

- Eimer, M. (2014). The neural basis of attentional control in visual search. *Trends in cognitive sciences*, 18(10), 526-535.
- Ericsson, K. A., Hoffman, R. R., Kozbelt, A., & Williams, A. M. (2018). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*. Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, 100(3), 363.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise : Prospects and limits*. Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Towne, T. J. (2013). *Experts and their superior performance*.
- Esposito, N. (2005). *A short and simple definition of what a videogame is*.
- Evans, J. S. B., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-process theories of higher cognition : Advancing the debate. *Perspectives on psychological science*, 8(3), 223-241.
- Farrington-Darby, T., & Wilson, J. R. (2006). The nature of expertise : A review. *Applied ergonomics*, 37(1), 17-32.
- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific reports*, 3(1), 1-3.
- Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). *Studies of expertise from psychological perspectives*.
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), 850-855.
- Flanagan, D. P., & Alfonso, V. C. (2017). *Essentials of WISC-V assessment*. John Wiley & Sons.
- Flombaum, J. I., Scholl, B. J., & Pylyshyn, Z. W. (2008). Attentional resources in visual tracking through occlusion : The high-beams effect. *Cognition*, 107(3), 904-931.
- Föcker, J., Cole, D., Beer, A. L., & Bavelier, D. (2018). Neural bases of enhanced attentional control : Lessons from action video game players. *Brain and Behavior*, 8(7), e01019.
- Föcker, J., Mortazavi, M., Khoe, W., Hillyard, S. A., & Bavelier, D. (2019). Neural correlates of

enhanced visual attentional control in action video game players : An event-related potential study. *Journal of cognitive neuroscience*, 31(3), 377-389.

Fodor, J. A., Pylyshyn, Z. W., Scholl, B., Hollinsworth, H., Brodeur, D. A., Goodale, M., Wolf, M., Bickle Jr, J. W., Wright, R. D., & Jefferies, L. N. (2009). *Computation, cognition, and Pylyshyn*. Mit Press.

Fougnie, D., & Marois, R. (2006). Distinct capacity limits for attention and working memory : Evidence from attentive tracking and visual working memory paradigms. *Psychological Science*, 17(6), 526-534.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Viola, S., Molteni, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current Biology*, 23(6), 462-466.

Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2009). Human variation in overriding attentional capture. *Journal of Neuroscience*, 29(27), 8726-8733.

Furley, P., & Wood, G. (2016). Working memory, attentional control, and expertise in sports : A review of current literature and directions for future research. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 415-425.

Geng, J. J., Won, B.-Y., & Carlisle, N. B. (2019). Distractor ignoring : Strategies, learning, and passive filtering. *Current Directions in Psychological Science*, 28(6), 600-606.

Glass, B. D., Maddox, W. T., & Love, B. C. (2013). Real-time strategy game training : Emergence of a cognitive flexibility trait. *PloS one*, 8(8), e70350.

Gobet, F., & Charness, N. (2018). *Expertise in chess*.

Gotlib, I. H., & Joormann, J. (2010). Cognition and depression : Current status and future directions. *Annual review of clinical psychology*, 6, 285-312.

Grahek, I., Shenhav, A., Musslick, S., Krebs, R. M., & Koster, E. H. (2019). Motivation and cognitive control in depression. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 102, 371-381.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2006a). Effect of action video games on the spatial distribution of

visuospatial attention. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 32(6), 1465.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2006b). Enumeration versus multiple object tracking : The case of action video game players. *Cognition*, 101(1), 217-245.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Action-video-game experience alters the spatial resolution of vision. *Psychological science*, 18(1), 88-94.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current biology*, 22(6), R197-R206.

Green, C. S., Pouget, A., & Bavelier, D. (2010). Improved probabilistic inference as a general learning mechanism with action video games. *Current biology*, 20(17), 1573-1579.

Green, C. S., Sugarman, M. A., Medford, K., Klobusicky, E., & Bavelier, D. (2012). The effect of action video game experience on task-switching. *Computers in human behavior*, 28(3), 984-994.

Greenfield, P. M., DeWinstanley, P., Kilpatrick, H., & Kaye, D. (1994). Action video games and informal education : Effects on strategies for dividing visual attention. *Journal of applied developmental psychology*, 15(1), 105-123.

Griffith, J. L., Voloschin, P., Gibb, G. D., & Bailey, J. R. (1983). Differences in eye-hand motor coordination of video-game users and non-users. *Perceptual and motor skills*, 57(1), 155-158.

Grimshaw, M. (2007). *Sound and immersion in the first-person shooter*.

Grimshaw, M., Charlton, J., & Jagger, R. (2011). First-person shooters : Immersion and attention. *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*, 5(1), 29-44.

Guarino, A., Forte, G., Giovannoli, J., & Casagrande, M. (2020). Executive functions in the elderly with mild cognitive impairment : A systematic review on motor and cognitive inhibition, conflict control and cognitive flexibility. *Aging & mental health*, 24(7), 1028-1045.

Halpern, D. F. (2000). *Sex differences in cognitive abilities*. Psychology press.

Harris, D. J., Wilson, M. R., Crowe, E. M., & Vine, S. J. (2020). Examining the roles of working memory and visual attention in multiple object tracking expertise. *Cognitive processing*, 21(2),

209-222.

Harris, K. D., & Thiele, A. (2011). Cortical state and attention. *Nature reviews neuroscience*, *12*(9), 509-523.

Hecksteden, A., Kellner, R., & Donath, L. (2021). Dealing with small samples in football research. *Science and Medicine in Football*, 1-9.

Hemphill, D. (2005). Cybersport. *Journal of the Philosophy of Sport*, *32*(2), 195-207.

Holcombe, A. O., & Chen, W.-Y. (2012). Exhausting attentional tracking resources with a single fast-moving object. *Cognition*, *123*(2), 218-228.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.10.003>

Holcombe, A. O., & Chen, W.-Y. (2013). Splitting attention reduces temporal resolution from 7 Hz for tracking one object to < 3 Hz when tracking three. *Journal of vision*, *13*(1), 12-12.

Homack, S., Lee, D., & Riccio, C. A. (2005). Test review : Delis-Kaplan executive function system. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, *27*(5), 599-609.

Howard, C. J., Bashir, N., Chechlacz, M., & Humphreys, G. W. (2015). Neural mechanisms of temporal resolution of attention. *Cerebral Cortex*, *26*(7), 2952-2969.

Hubert-Wallander, B., Green, C. S., Sugarman, M., & Bavelier, D. (2011). Changes in search rate but not in the dynamics of exogenous attention in action videogame players. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *73*(8), 2399-2412.

Intriligator, J., & Cavanagh, P. (2001). The spatial resolution of visual attention. *Cognitive psychology*, *43*(3), 171-216.

Irons, J. L., Remington, R. W., & McLean, J. P. (2011). Not so fast : Rethinking the effects of action video games on attentional capacity. *Australian Journal of Psychology*, *63*(4), 224-231.

Jonasson, K., & Thiborg, J. (2010). Electronic sport and its impact on future sport. *Sport in society*, *13*(2), 287-299.

Kahn, A. S., Ratan, R., & Williams, D. (2014). Why we distort in self-report : Predictors of self-report errors in video game play. *Journal of Computer-Mediated Communication*, *19*(4), 1010-1023.

- Karle, J. W., Watter, S., & Shedden, J. M. (2010). Task switching in video game players : Benefits of selective attention but not resistance to proactive interference. *Acta psychologica, 134*(1), 70-78.
- Kuo, B.-C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of cognitive neuroscience, 24*(1), 51-60.
- Kühberger, A., Fritz, A., & Scherndl, T. (2014). Publication bias in psychology: A diagnosis based on the correlation between effect size and sample size. *PloS one, 9*(9), e105825.
- Larochette, A.-C., Benn, K., & Harrison, A. G. (2009). Executive functioning : A comparison of the Tower of LondonDX and the D-KEFS Tower Test. *Applied Neuropsychology, 16*(4), 275-280.
- Latham, A. J., Patston, L. L., & Tippett, L. J. (2013). Just how expert are “expert” video-game players? Assessing the experience and expertise of video-game players across “action” video-game genres. *Frontiers in Psychology, 4*, 941.
- Lehmann, A. C., Gruber, H., & Kopiez, R. (2018). *Expertise in music*.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *The Journal of the Acoustical society of America, 49*(2B), 467-477.
- Lewis-Peacock, J. A., Kessler, Y., & Oberauer, K. (2018). The removal of information from working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1424*(1), 33-44.
- Li, R., Polat, U., Makous, W., & Bavelier, D. (2009). Enhancing the contrast sensitivity function through action video game training. *Nature neuroscience, 12*(5), 549-551.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability : A meta-analysis. *Child development, 1479-1498*.
- Lordo, J. (2021). The Development of Music Expertise : Applications of the Theories of Deliberate Practice and Deliberate Play. *Update: Applications of Research in Music Education, 39*(3), 56-66.
- Loton, D., Borkoles, E., Lubman, D., & Polman, R. (2016). Video game addiction, engagement and symptoms of stress, depression and anxiety : The mediating role of coping. *International*

Journal of Mental Health and Addiction, 14(4), 565-578.

- Lowe, C., & Rabbitt, P. (2004). Cognitive models of ageing and frontal lobe deficits. Dans *Methodology of frontal and executive function* (p. 46-66). Routledge.
- Lowery, B. R., & Knirk, F. G. (1982). Micro-computer video games and spatial visualization acquisition. *Journal of Educational Technology Systems, 11(2), 155-166.*
- Luck, S. J. (2008). Visual short-term memory. *Visual memory, 43-85.*
- Mack, D. J., Wiesmann, H., & Ilg, U. J. (2016). Video game players show higher performance but no difference in speed of attention shifts. *Acta psychologica, 169, 11-19.*
- MacLeod, C. M. (2007). *The concept of inhibition in cognition.*
- Majid, N., & Vahid, N. (2012). Frontal lobe function in chess players.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport : A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 29(4), 457-478.*
- McCord, A., Cocks, B., Barreiros, A. R., & Bizo, L. A. (2020). Short video game play improves executive function in the oldest old living in residential care. *Computers in Human Behavior, 108, 106337.*
- McDermott, A. F., Bavelier, D., & Green, C. S. (2014). Memory abilities in action video game players. *Computers in Human Behavior, 34, 69-78.*
- Miyake, A., Emerson, M. J., & Friedman, N. P. (2000). Assessment of executive functions in clinical settings : Problems and recommendations. *Seminars in speech and language, 21(02), 0169-0183.*
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & 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.*
- Moisala, M., Salmela, V., Hietajärvi, L., Carlson, S., Vuontela, V., Lonka, K., Hakkarainen, K., Salmela-Aro, K., & Alho, K. (2017). Gaming is related to enhanced working memory performance and task-related cortical activity. *Brain Research, 1655, 204-215.*

- Morin-Moncet, O., Therrien-Blanchet, J.-M., Ferland, M. C., Théoret, H., & West, G. L. (2016). Action video game playing is reflected in enhanced visuomotor performance and increased corticospinal excitability. *PLoS One*, *11*(12), e0169013.
- Murphy, K., & Spencer, A. (2009). Playing video games does not make for better visual attention skills. *Journal of Articles in Support of the Null Hypothesis*, *6*(1).
- Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006). An integrated model of top-down and bottom-up attention for optimizing detection speed. *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)*, *2*, 2049-2056.
- Nebel, K., Wiese, H., Stude, P., De Greiff, A., Diener, H.-C., & Keidel, M. (2005). On the neural basis of focused and divided attention. *Cognitive Brain Research*, *25*(3), 760-776.
- Newzoo. (2016). *Global market report: Trends, insights & projections toward 2019*. https://newzoo.com/wp-content/uploads/2016/01/Newzoo_2016_Global_Games_Market_Report_Dummy.pdf
- Nobre, A. C., Griffin, I. C., & Rao, A. (2008). Spatial attention can bias search in visual short-term memory. *Frontiers in human neuroscience*, *2*, 4.
- Noguchi, K., Gel, Y. R., Brunner, E., & Konietzschke, F. (2012). nparLD: An R software package for the nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments. *Journal of Statistical software*, *50*(12).
- Noonan, M. P., Crittenden, B. M., Jensen, O., & Stokes, M. G. (2018). Selective inhibition of distracting input. *Behavioural brain research*, *355*, 36-47.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. Dans *Consciousness and self-regulation* (p. 1-18). Springer.
- Oberauer, K. (2019). Working memory and attention—A conceptual analysis and review. *Journal of cognition*, *2*(1).
- Oei, A. C., & Patterson, M. D. (2013). Enhancing cognition with video games: A multiple game training study. *PLoS One*, *8*(3), e58546.
- Okagaki, L., & Frensch, P. A. (1994). Effects of video game playing on measures of spatial

- performance: Gender effects in late adolescence. *Journal of applied developmental psychology*, 15(1), 33-58.
- Olivers, C. N., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory : When it guides attention and when it does not. *Trends in cognitive sciences*, 15(7), 327-334.
- Packwood, S., Hodgetts, H. M., & Tremblay, S. (2011). A multiperspective approach to the conceptualization of executive functions. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 33(4), 456-470.
- Parong, J., Holman, C. M. B., Cunningham, E., Green, S., & Bavelier, D. (2021). Video games and higher cognition. *Using cognitive and affective metrics in educational simulations and games*, 3-30.
- Parsons, B. (2016). The neuroscience of cognitive enhancement: enhanced attention, working memory and visual information processing speed using 3D-MOT.
- Pashler, H., Johnston, J. C., & Ruthruff, E. (2001). Attention and performance. *Annual review of psychology*, 52(1), 629-651.
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385-413.
- Penuelas-Calvo, I., Jiang-Lin, L. K., Girela-Serrano, B., Delgado-Gomez, D., Navarro-Jimenez, R., Baca-Garcia, E., & Porrás-Segovia, A. (2020). Video games for the assessment and treatment of attention-deficit/hyperactivity disorder : A systematic review. *European child & adolescent psychiatry*, 1-16.
- Posner, M. I. (2016). Orienting of attention : Then and now. *Quarterly journal of experimental psychology*, 69(10), 1864-1875.
- Postle, B. R., D'Esposito, M., & Corkin, S. (2005). Effects of verbal and nonverbal interference on spatial and object visual working memory. *Memory & cognition*, 33(2), 203-212.
- Powers, K. L., & Brooks, P. J. (2014). Evaluating the specificity of effects of video game training. *Learning by playing: Video gaming in education*, 302.

- Powers, K. L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., Palladino, M. A., & Alfieri, L. (2013). Effects of video-game play on information processing : A meta-analytic investigation. *Psychonomic bulletin & review*, 20(6), 1055-1079.
- Prins, N., & Kingdom, F. A. A. (2009). *Palamedes : Matlab routines for analyzing psychophysical data [Computer software]*.
- Pylyshyn, Z. W., & Storm, R. W. (1988). Tracking multiple independent targets : Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial vision*, 3(3), 179-197.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task : An attentional blink? *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 18(3), 849.
- Reimann, P., & Markauskaite, L. (2018). Expertise. Dans *International handbook of the learning sciences* (p. 54-63). Routledge.
- Reingold, E. M., & Sheridan, H. (2011). *Eye movements and visual expertise in chess and medicine*.
- Reitman, J. G., Anderson-Coto, M. J., Wu, M., Lee, J. S., & Steinkuehler, C. (2020). Esports research : A literature review. *Games and Culture*, 15(1), 32-50.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory : Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5-21.
- Richardson, A. E., Powers, M. E., & Bousquet, L. G. (2011). Video game experience predicts virtual, but not real navigation performance. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 552-560.
- Richardson, J. T. (2007). Measures of short-term memory : A historical review. *Cortex*, 43(5), 635-650.
- Ripoll, T., Albert, M., Abbes, A. B., & Gavault, E. (2008). Divided attention, empirical data, theoretical problems and implications. *Annee Psychologique*, 108(3), 547-584.
- Romeas, T., Guldner, A., & Faubert, J. (2016). 3D-multiple object tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players. *Psychology of Sport and Exercise*, 22, 1-9.

- Rosell Llorens, M. (2017). eSport gaming : The rise of a new sports practice. *Sport, Ethics and Philosophy*, 11(4), 464-476.
- Roudaia, E., & Faubert, J. (2017). Different effects of aging and gender on the temporal resolution in attentional tracking. *Journal of vision*, 17(11), 1-1.
- Rowlison, M., Waite, A., & Blackwell, A. (2020). Quantifying Video Gaming Expertise. *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences, July 16-20, 2020, USA, 1211*, 198.
- Sala, G., Tatlidil, K. S., & Gobet, F. (2018). Video game training does not enhance cognitive ability : A comprehensive meta-analytic investigation. *Psychological bulletin*, 144(2), 111.
- Sarter, M., Givens, B., & Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention : Where top-down meets bottom-up. *Brain research reviews*, 35(2), 146-160.
- Scharfen, H.-E., & Memmert, D. (2019). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes : A meta-analytic review. *Applied Cognitive Psychology*, 33(5), 843-860.
- Scholl, B. J., Pylyshyn, Z. W., & Feldman, J. (2001). What is a visual object? Evidence from target merging in multiple object tracking. *Cognition*, 80(1-2), 159-177.
- Sepúlveda, M. L. A., Alonso, J. L., Guevara, M. A., & González, M. H. (2014). Increased prefrontal-parietal eeg gamma band correlation during motor imagery in expert video game players. *Actualidades en Psicología*, 28(117), 27-36.
- Smid, C. R., Karbach, J., & Steinbeis, N. (2020). Toward a science of effective cognitive training. *Current Directions in Psychological Science*, 29(6), 531-537.
- Spence, I., & Feng, J. (2010). Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology*, 14(2), 92-104.
- Starkes, J. L., & Ericsson, K. A. (2003). *Expert performance in sports : Advances in research on sport expertise*. Human Kinetics.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests : Administration, norms, and commentary*. American chemical society.

- Strobach, T., Frensch, P. A., & Schubert, T. (2012). Video game practice optimizes executive control skills in dual-task and task switching situations. *Acta psychologica, 140*(1), 13-24.
- Strobach, T., Karbach, J., & Strobach. (2016). *Cognitive training*. Springer.
- Strobach, T., & Schubert, T. (2021). Video game training and effects on executive functions. Dans *Cognitive training* (p. 229-241). Springer.
- Subrahmanyam, K., & Greenfield, P. M. (1994). Effect of video game practice on spatial skills in girls and boys. *Journal of applied developmental psychology, 15*(1), 13-32.
- Sungur, H., & Boduroglu, A. (2012). Action video game players form more detailed representation of objects. *Acta psychologica, 139*(2), 327-334.
- Swann, C., Moran, A., & Piggott, D. (2015). Defining elite athletes : Issues in the study of expert performance in sport psychology. *Psychology of Sport and Exercise, 16*, 3-14.
- Tang, J. B., & Giddins, G. (2016). *Why and how to report surgeons' levels of expertise*. SAGE Publications Sage UK: London, England.
- Thornton, I. M., Pinto, J., & Shiffrar, M. (1998). The visual perception of human locomotion. *Cognitive Neuropsychology, 15*(6-8), 535-552.
- Trick, L. M., Jaspers-Fayer, F., & Sethi, N. (2005). Multiple-object tracking in children : The "Catch the Spies" task. *Cognitive Development, 20*(3), 373-387.
- Tullo, D., Faubert, J., & Bertone, A. (2018). The characterization of attention resource capacity and its relationship with fluid reasoning intelligence : A multiple object tracking study. *Intelligence, 69*, 158-168.
- Twick, M., & Levy, D. A. (2021). Fractionating the episodic buffer. *Brain and Cognition, 154*, 105800.
- Van Der Maas, H. L., & Wagenmakers, E.-J. (2005). A psychometric analysis of chess expertise. *The American journal of psychology, 29*-60.
- Van der Stigchel, S., Belopolsky, A. V., Peters, J. C., Wijnen, J. G., Meeter, M., & Theeuwes, J. (2009). The limits of top-down control of visual attention. *Acta psychologica, 132*(3), 201-212.

- van Moorselaar, D., & Slagter, H. A. (2020). Inhibition in selective attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464(1), 204-221.
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. (2014). In competition for the attentional template: Can multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1450.
- Vasilyeva, M., & Lourenco, S. F. (2012). Development of spatial cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3(3), 349-362.
- Verstraten, F. A., Cavanagh, P., & Labianca, A. T. (2000). Limits of attentive tracking reveal temporal properties of attention. *Vision research*, 40(26), 3651-3664.
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes 'expert' in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 812-826.
- Wang, H. R., Cho, H., & Kim, D.-J. (2018). Prevalence and correlates of comorbid depression in a nonclinical online sample with DSM-5 internet gaming disorder. *Journal of affective disorders*, 226, 1-5.
- Wang, P., Liu, H.-H., Zhu, X.-T., Meng, T., Li, H.-J., & Zuo, X.-N. (2016). Action video game training for healthy adults: A meta-analytic study. *Frontiers in psychology*, 7, 907.
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler adult intelligence scale—Fourth edition: Canadian*. Pearson.
- Weiss, L. G., Saklofske, D. H., Coalson, D., & Raiford, S. E. (2010). *WAIS-IV clinical use and interpretation: Scientist-practitioner perspectives*. Academic Press.
- West, G. L., Drisdelle, B. L., Konishi, K., Jackson, J., Jolicoeur, P., & 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.
- West, G. L., Konishi, K., Diarra, M., Benady-Chorney, J., Drisdelle, B. L., Dahmani, L., Sodums, D. J., Lepore, F., Jolicoeur, P., & Bohbot, V. D. (2018). Impact of video games on plasticity of the hippocampus. *Molecular psychiatry*, 23(7), 1566-1574.
- West, G., Stevens, S., Pun, C., & Pratt, J. (2008). Video game playing enhances practical attentional

- skills. *Journal of Vision*, 8(6), 471-471.
- Westerhausen, R., Kompus, K., & Hugdahl, K. (2011). Impaired cognitive inhibition in schizophrenia: A meta-analysis of the Stroop interference effect. *Schizophrenia research*, 133(1-3), 172-181.
- Westwood, D., & Griffiths, M. D. (2010). The role of structural characteristics in video-game play motivation: A Q-methodology study. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(5), 581-585.
- Williams, A. M., & Ericsson, K. A. (2005). Perceptual-cognitive expertise in sport: Some considerations when applying the expert performance approach. *Human movement science*, 24(3), 283-307.
- Williams, A. M., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2011). Perceptual-cognitive expertise in sport and its acquisition: Implications for applied cognitive psychology. *Applied Cognitive Psychology*, 25(3), 432-442.
- Wilms, I. L., Petersen, A., & Vangkilde, S. (2013). Intensive video gaming improves encoding speed to visual short-term memory in young male adults. *Acta psychologica*, 142(1), 108-118.
- Wollersheim, D., Merkes, M., Shields, N., Liamputtong, P., Wallis, L., Reynolds, F., & Koh, L. (2010). Physical and psychosocial effects of Wii video game use among older women. *International Journal of Emerging Technologies and Society*, 8(2), 85-98.
- Woods, D. L., Kishiyama, M. M., Yund, E. W., Herron, T. J., Edwards, B., Poliva, O., Hink, R. F., & Reed, B. (2011). Improving digit span assessment of short-term verbal memory. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 33(1), 101-111.
- Wu, S., Cheng, C. K., Feng, J., D'Angelo, L., Alain, C., & Spence, I. (2012). Playing a first-person shooter video game induces neuroplastic change. *Journal of cognitive neuroscience*, 24(6), 1286-1293.
- Wu, S., & Spence, I. (2013). Playing shooter and driving videogames improves top-down guidance in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(4), 673-686.

Annexe 1 – Questionnaire socio-démographique

Participant identification form:

ID: _____

Date: _____

First name, Last name (printed): _____

Date of birth: _____

Gender: Male • Female •

Phone number: _____

Email : _____

Dominant hand: Right • Left • Ambidextrous •

Dominant eye : Right • Left •

When did you start playing video games (age): _____

How many hours a week do you play : _____

We are interested in the amount of time you spend playing video games as well as the types of games that you play. This will allow us to see the way each one contributes to the development of visual attention.

Please write down six games that you have played more frequently in the last year. We would like to know the name of the game, the typical amount of time you spend per gaming session, the number of sessions a month and on which device. Only write down the games you have played within the last year.

ID : _____

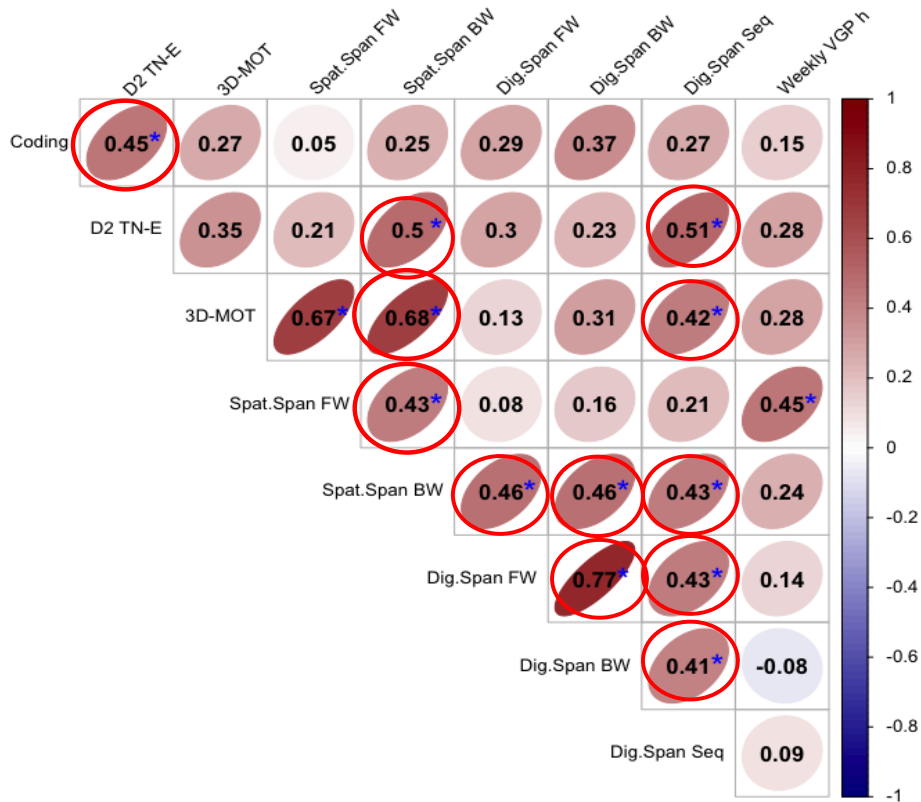
	Game	Ranking	Hours per session	Sessions by month	Device
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Annexe 2 – Résultats de analyses statistique avec corrections de Bonferroni.

Measure	Professionals (n=14) M (SD)	Amateurs (n=16) M (SD)	Difference Δ [95% CI]	Welch t-test t(df)	p	Effect size Hedges' g [95% CI]
D2 Test of Attention						
– TN	546.29 (56.14)	493.56 (63.49)	52.73 [7.98, 97.47]	t(28) = 2.41	0.02	0.85 [0.09, 1.61]
– E%	4.41 (2.98)	3.66 (2.91)	0.75 [-1.46, 2.96]	t(27.3) = 0.7	0.49	0.25 [-0.48, 0.98]
– TN-E	521.86 (52.48)	474.94 (59.31)	46.92 [5.11, 88.73]	t(28) = 2.3	0.03	0.81 [0.05, 1.57]
– CP	208.79 (31.62)	194.38 (28.41)	14.41 [-8.26, 37.08]	t(26.4) = 1.31	0.20	0.47 [-0.27, 1.21]
– FR	11 (3.21)	13.75 (3.84)	-2.75 [-5.39, -0.11]	t(28) = -2.14	0.04	-0.75 [-1.51, .0]
WAIS-IV Coding						
	77.5 (12.25)	71.0 (10.61)	6.5 [-2.16, 15.16]	t(26) = 1.54	0.14	0.55 [-0.19, 1.3]
WMS-III Spatial Span						
– Total	23 (2.94)	19.5 (2.45)	3.5 [1.45, 5.55]	t(25.5) = 3.52	0.002	1.27 [0.47, 2.07]
– Forward	12.43 (1.5)	10.19 (1.68)	2.24 [1.05, 3.43]	t(28) = 3.85	0.001	1.36 [0.55, 2.17]
– Backward	10.57 (1.99)	9.31 (1.54)	1.26 [-0.09, 2.61]	t(24.4) = 1.92	0.07	0.7 [-0.06, 1.45]
WAIS-IV Digit Span ^a						
– Total	32.75 (5.5)	28.25 (5.17)	4.5 [0.27, 8.73]	t(23) = 2.2	0.04	0.82 [0.03, 1.62]
– Forward	11.67 (2.46)	9.75 (2.52)	1.92 [-0.04, 3.88]	t(24.1) = 2.02	0.06	0.75 [-0.04, 1.53]
– Backward	10.25 (2.7)	8.69 (2.09)	1.56 [-0.39, 3.52]	t(20.1) = 1.67	0.11	0.64 [-0.14, 1.42]
– Sequencing	10.83 (1.8)	9.81 (1.56)	1.02 [-0.33, 2.37]	t(21.8) = 1.57	0.13	0.6 [-0.18, 1.37]
WAIS-IV Visual Puzzles						
	18.5 (3.88)	19.5 (3.01)	-1.00 [-3.64, 1.64]	t(24.4) = -0.78	0.44	-0.28 [-1.02, 0.45]
D-KEFS Towers ^b						
– Total	20.15 (4.32)	18.44 (4.32)	1.71 [-1.6, 5.03]	t(25.8) = 1.06	0.30	0.39 [-0.37, 1.14]
– Accuracy Ratio	1.49 (0.29)	2 (1.04)	-0.51 [-1.08, 0.06]	t(17.9) = -1.86	0.08	-0.62 [-1.38, 0.15]
D-KEFS Color-Word						
– Inhibition	43.67 (5.58)	45.94 (7.35)	-2.27 [-7.3, 2.75]	t(26) = -0.93	0.36	-0.33 [-1.1, 0.44]
– Flexibility	51.42 (6.97)	52.25 (5.7)	-0.83 [-5.96, 4.3]	t(20.9) = -0.34	0.74	-0.13 [-0.89, 0.63]
Grooved Pegboard						
– DH	69.73 (11.26)	64.1 (10.68)	5.63 [-2.62, 13.89]	t(27) = 1.4	0.17	0.5 [-0.24, 1.24]
– NDH	71.58 (13.95)	66.12 (9.65)	5.46 [-3.73, 14.66]	t(22.7) = 1.23	0.23	0.45 [-0.29, 1.19]

Avec correction de Bonferroni du 20 comparaisons, l'alpha ajusté devient de 0.002. Les résultats significatifs à la suite de la correction sont indiqués en rouge.

Annexe 3 – Résultats aux corrélations de Spearman avec corrections de Benjamini-Hochberg.



Les résultats indiqués encadrés en rouge sont significatifs avec la correction de Benjamini-Hochberg