

Université de Montréal

Les fonctions perceptives et cognitives dans la maladie de Parkinson

*Par*

Romain Hassan Omar

École d'optométrie, Faculté des études supérieures et postdoctorales

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences en sciences de la  
vision option Sciences fondamentales, appliquées et cliniques

Août 2023

© Romain Hassan Omar, 2023

Université de Montréal

*Cette thèse intitulée*

**Les fonctions perceptives et cognitives dans la maladie de Parkinson**

Présentée par

Romain Hassan Omar

*A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes*

**Elvire Vaucher**

Présidente-rapporteur

**Aarlenne Khan**

Directrice de recherche

**Gregory West**

Codirecteur

**Joseph Desouza**

Membre du jury

## Résumé

En plus de leurs difficultés motrices bien documentées, les personnes atteintes de la maladie de Parkinson présentent un large éventail de symptômes non moteurs. Ces symptômes non moteurs comprennent des difficultés perceptives, telles que la détection du contraste, la perception du mouvement et les réductions du champ visuel, ainsi que des difficultés cognitives, incluant des déficits de l'attention, du traitement visuospatial et de mémoire. Ces symptômes non moteurs demeurent sous-étudiés et peu compris, et ce, malgré le fait qu'ils jouent un grand rôle dans la qualité de vie des personnes avec la maladie de Parkinson ainsi que dans leur profil clinique. Dresser un profil des atteintes visuo-perceptives dès les premiers stades de la maladie est donc d'une grande importance. Pour ce faire, nous avons testé 14 adultes âgés et 10 adultes avec la maladie de Parkinson sur différents tests mesurant la perception et les capacités cognitives. Nous avons obtenu quelques évidences démontrant des atteintes au niveau de la cognition, mais aucune en lien avec la visuo-perception. De plus, nos résultats quelque peu contradictoires ne nous permettent pas d'infirmier ou confirmer la présence d'interactions entre la visuo-perception et la cognition dans les premiers stades de la maladie de Parkinson.

**Mots-clés** : symptômes non moteurs, mouvements oculaires, attention spatiale, mouvement des bras, atteinte, vision, psychophysique.

## **Abstract**

In addition to their well-documented motor difficulties, individuals afflicted with Parkinson's disease manifest a broad spectrum of non-motor symptoms. These non-motor symptoms encompass perceptual challenges, such as contrast detection, motion perception, and reductions in visual field, alongside cognitive impairments, including deficits in attention, visuospatial processing, and memory. Despite playing a significant role in the quality of life and clinical profile of Parkinson's disease patients, these non-motor symptoms remain insufficiently explored and understood, particularly visuo-perceptual impairments. Profiling visuo-perceptual impairments in the early stages of the disease holds considerable importance. To address this, we assessed 14 elderly adults and 10 adults diagnosed with Parkinson's disease using various tests measuring perception and cognitive abilities. While we obtained some evidence indicating cognitive impairments, none were linked to visuo-perception. Moreover, our somewhat contradictory findings do not allow us to definitively confirm or refute the presence of interactions between visuo-perception and cognition in the early stages of Parkinson's disease.

**Keywords** : non-motor symptoms, eye movements, spatial attention, reaching, vision, psychophysics.

# Table des matières

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DE FIGURES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS.....</b>	<b>VII</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1. APERÇU GÉNÉRAL.....	1
1.2. LA MALADIE DE PARKINSON (MP).....	2
1.2.1 Causes et principaux symptômes moteurs.....	2
1.2.2 Symptômes non moteurs.....	4
1.3. MALADIE DE PARKINSON ET VISUO-PERCEPTION.....	5
1.3.1. La perception du mouvement.....	6
1.3.2. La sensibilité au contraste.....	6
1.3.3. L'acuité visuelle.....	7
1.4. FONCTIONS COGNITIVES.....	8
1.4.1. Fonctions exécutives.....	9
1.4.2. Mémoire de travail.....	11
1.4.3. Fonctions visuomotrices.....	12
<b>2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....</b>	<b>14</b>
<b>3. MÉTHODOLOGIE ET MATÉRIEL.....</b>	<b>15</b>
3.1. PARTICIPANTS.....	15
3.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	16
3.3. PROCÉDURE ET STIMULI.....	18
3.3.1 Séquence expérimentale.....	18
3.3.2. Batterie de tests.....	19
3.4 ANALYSE DES DONNÉES.....	32
3.4.1. Tomographie par cohérence optique (OCT).....	33
3.4.2. Tâches de seuil de contraste et de détection du mouvement.....	33
3.4.3. Tâche de pro/anti-saccades intercalées.....	34
3.4.4. Tâche de flexibilité cognitive.....	35
3.4.5. Tâche de présentation sérielle visuelle rapide.....	36
3.4.6. Tâche de mémoire de travail visuo-spatiale.....	37
3.4.7. Tâche du champ de vision utile.....	37
3.4.8. Tâche Trail making B.....	38
3.4.9. Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	38
3.4.10. Corrélations entre les tâches visuo-perceptives et cognitives.....	39

<b>4. RÉSULTATS.....</b>	<b>40</b>
4.1. PARTICIPANTS.....	40
4.2. TÂCHES VISUO-PERCEPTIVES ET COGNITIVES.....	40
4.2.1. <i>Tomographie par cohérence optique</i> .....	40
4.2.2. <i>Tâche de seuil de contraste</i> .....	42
4.2.3. <i>Tâche de seuil de détection du mouvement</i> .....	43
4.2.4. <i>Tâche de pro/anti-saccades intercalées</i> .....	44
4.2.5. <i>Tâche de flexibilité cognitive</i> .....	46
4.2.6. <i>Tâche de présentation sérielle visuelle rapide</i> .....	49
4.2.7. <i>Tâche de mémoire de travail spatiale</i> .....	50
4.2.8. <i>Tâche du champ de vision utile</i> .....	52
4.2.9. <i>Trail making B</i> .....	54
4.2.10. <i>Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir</i> .....	55
4.3. CORRÉLATIONS ENTRE LES TÂCHES VISUO-PERCEPTIVES ET COGNITIVES.....	59
4.3.1. <i>Analyses sur le groupe avec la MP</i> .....	59
4.3.2. <i>Analyses sur le groupe contrôle</i> .....	61
<b>5. DISCUSSION.....</b>	<b>67</b>
5.1. RÉSUMÉ DES RÉSULTATS.....	67
5.2. ATTEINTES DANS LA MP.....	68
5.3. ASPECTS PRÉSERVÉS DANS LA MP.....	69
5.4. CORRÉLATIONS ENTRE LES TÂCHES VISUO-PERCEPTIVES ET COGNITIVES.....	74
5.5. LIMITES.....	75
5.5.1. <i>Le stade de la MP des participants</i> .....	75
5.5.2. <i>La médication chez les participants avec la MP</i> .....	76
5.5.3. <i>Composante motivationnelle</i> .....	76
5.5.4. <i>La petite taille d'échantillon</i> .....	77
5.6. DIRECTIONS FUTURES.....	77
<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>80</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1. Informations sociodémographiques du groupe avec la MP.....	15
Tableau 2. Résumé des tâches de la batterie de tests .....	19

## Liste des figures

Figure 1. Configuration de l'expérimentation.....	17
Figure 2. Positionnement du participant à l'OCT Cirrus.....	20
Figure 3. Charte ETDRS.....	21
Figure 4. Schéma de la tâche de seuil de contraste.....	23
Figure 5. Schéma de la tâche de seuil de détection du mouvement.....	24
Figure 6. Séquence de la tâche pro/anti-saccade.....	25
Figure 7. Séquence de la tâche de flexibilité cognitive.....	27
Figure 8. Séquence de la tâche de présentation sérielle visuelle rapide.....	28
Figure 9. Séquence de la tâche de mémoire de travail spatiale.....	29
Figure 10. Séquence de la tâche du champ de vision utile.....	30
Figure 11. Schéma de la tâche du trail making B.....	31
Figure 12. Séquence de la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	32
Figure 13. Démonstration des essais de la tâche de flexibilité cognitive.....	36
Figure 14. Épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula de l'œil droit.....	41
Figure 15. Épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula de l'œil gauche.....	42
Figure 16. Seuil de contraste.....	42
Figure 17. Seuil de détection du mouvement.....	43
Figure 18. Taux d'erreur à la tâche de pro/anti-saccades intercalées.....	45
Figure 19. Temps de réaction à la tâche de pro/anti-saccades intercalées.....	46
Figure 20. Performance à la tâche de flexibilité cognitive.....	48
Figure 21. Temps de réaction à la tâche de flexibilité cognitive.....	49
Figure 22. Mesure de détection du signal à la tâche de présentation sérielle visuelle rapide.....	50
Figure 23. Temps de réponse moyen à la tâche de présentation sérielle visuelle rapide.....	50
Figure 24. Nombre d'erreurs à la tâche de mémoire de travail visuo-spatial.....	51
Figure 25. Performance au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile.....	53
Figure 26. Performance au niveau de l'identification à la tâche du champ de vision utile.....	54
Figure 27. Temps moyen requis à la tâche de trail making B.....	55
Figure 28. Nombre de mouvement moyen à la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	57
Figure 29. Temps de réaction moyen à la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	58
Figure 30. Temps moyen requis à la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	58
Figure 31. Pourcentage d'erreur de la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.....	59
Figure 32. Corrélations entre le seuil de mouvement et la performance de localisation à la tâche du champ de vision utile pour le groupe avec la MP .....	60

Figure 33. Corrélation entre la performance au niveau de l'identification à la tâche du champ de vision utile et l'épaisseur moyenne centrale pour le groupe contrôle .....	61
Figure 34. Corrélation entre la performance au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile et l'épaisseur moyenne centrale pour le groupe contrôle .....	62
Figure 35. Corrélation entre la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 1 en condition de répétition et le seuil de contraste pour le groupe contrôle .....	63
Figure 36. Corrélation entre le nombre de mouvement total en condition inversée dans la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de contraste .....	63
Figure 37. Corrélation entre le temps total moyen par essai en condition inversée dans la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de contraste.....	64
Figure 38. Corrélation entre le temps total de complétion de l'essai 1 à la tâche de trail making et le seuil de contraste.....	64
Figure 39. Corrélation entre la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 2 en condition de répétition et le seuil de mouvement pour le groupe contrôle .....	65
Figure 40. Corrélation entre le taux d'erreur à la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de mouvement .....	66
Figure 41. Corrélation entre le temps total de complétion de l'essai 1 à la tâche de trail making et le seuil de mouvement .....	66



## **Liste des sigles et abréviations**

MP : Maladie de Parkinson

OCT: Optical coherence tomography

MoCA: Montreal cognitive assessment

CANTAB: Cambridge neuropsychological test automated battery

UFOV: Useful field of view

*À toutes ces personnes fortes et inspirantes dont j'ai eu la chance de rencontrer durant ce projet*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de maîtrise, Aarlenne Khan. Aarlenne, thank you for the valuable lessons and opportunities you've provided me, allowing me to exceed my limits and evolve as an individual. You've not only inspired me as a researcher, but even more so as a human being. Your unwavering support, patience, dedication, and above all your kindness have been truly remarkable. I couldn't have asked for a better supervisor, and I sincerely wish you all the best.

Julie, merci pour tout l'encadrement et le support de ces 2 dernières années. Ce fut un plaisir de partager mon quotidien au laboratoire avec toi. Je te souhaite sincèrement le meilleur pour la suite des choses. Avec la vivacité d'esprit et la résilience que tu as, cette suite des choses s'annonce belle.

Je voudrais ensuite remercier tous les membres du laboratoire VISATTAC ainsi que mes collègues de l'école d'optométrie, ayant contribué de près ou de loin à ce projet. Ce sont 2 années que je n'oublierais pas!

Finalement, à mes parents et mes proches, merci pour cette confiance et ce support inconditionnel. C'est qui m'a permis et ce qui permet d'avancer; la tête haute et le cœur rempli d'amour.



# 1. Introduction

## 1.1. Aperçu général

La maladie de Parkinson (MP) est une maladie neurodégénérative majoritairement définie par des symptômes moteurs, dont la lenteur dans l'exécution des mouvements (bradykinésie), la rigidité musculaire, les tremblements au repos et l'instabilité posturale (Aarsland et al., 2010; Hoehn & Yahr., 1967). Toutefois, la MP comporte également des symptômes non moteurs assez importants avec une progression encore peu comprise (Verbaan et al., 2007). Les symptômes non moteurs de la MP peuvent inclure sans toutefois s'y limiter : des déficiences visuo-perceptives et cognitives, de la dépression, des troubles de l'humeur, des troubles du sommeil, des hallucinations ainsi que des troubles sensoriels (p.ex., vision, olfaction).

L'objectif premier de ce mémoire de maîtrise visait à mieux comprendre les atteintes visuo-perceptives et cognitives dans la MP. Ces atteintes sont largement répandues chez les personnes avec la MP, elles ont un impact à plusieurs niveaux, et ce dès les premiers stades de la maladie (Aarsland et al., 2010; Armstrong., 2017; Broeders et al., 2013). Les déficits de visuo-perception se retrouvent généralement au niveau de l'acuité visuelle, du champ visuel utile, de la sensibilité aux contrastes et de la perception de mouvement (Armstrong., 2017; Weil et al., 2016). Pour ce qui est des atteintes cognitives, elles se retrouvent notamment au niveau des fonctions exécutives, de la mémoire de travail et des capacités visuomotrices (Broeders et al., 2013; Kudlicka et al., 2011; Muslimovic et al., 2005). D'ailleurs, les atteintes cognitives et visuo-perceptives co-existent fréquemment ensemble et jouent un grand rôle dans la qualité de vie des personnes avec la MP (Chaudhuri et al., 2006; Weil et al., 2016).

L'objectif de ce projet est d'étudier les capacités visuo-perceptives et cognitives chez les personnes avec la MP afin de déterminer la présence et la façon dont ces symptômes non moteurs co-existent. Dans les lignes qui suivront, il sera question de définir les différentes atteintes perceptives et cognitives dans la MP. La méthodologie ainsi que nos hypothèses et objectifs de recherches seront ensuite présentés.

## **1.2 La maladie de Parkinson (MP)**

### ***1.2.1 Causes et principaux symptômes moteurs***

**1.2.1.1. Étiologie.** Plusieurs éléments caractérisant la MP ont été identifiés (Balestrino et al.,2020). En effet, la MP est définie par une destruction sélective et progressive des cellules dopaminergiques contenues dans la substance noire, une région des ganglions de la base impliquée notamment dans les mouvements volontaires et le circuit de la récompense (Betchen & Kaplitt, 2003). En parallèle de la neurodégénérescence des cellules dopaminergiques, des protéines intracellulaires nommées les corps de Lewy s'accumulent dans les cellules survivantes de la substance noire (p. ex. Gibb et Lees, 1988). Ces corps de Lewy deviennent alors des marqueurs d'une protéine mal repliée, l'alpha-synucléine, qui présente une toxicité neuronale favorisant également la neurodégénération (Olanow et Brundin, 2013). Bien que ni la perte de neurones dopaminergiques dans la substance noire ni l'apparition de corps de Lewy ne soient spécifiques à la MP, ces deux neuropathologies majeures sont spécifiques à un diagnostic définitif de MP idiopathique lorsqu'elles sont appliquées conjointement (Balestrino et al.,2020).

**1.2.1.2. Facteurs de risques.** La MP est un désordre neurodégénératif affectant 0.3% de la population générale et cette prévalence augmente jusqu'à 3% pour les personnes âgées de 80 ans et plus (Balestrino & Schapira., 2020). Cette prévalence ne cesse d'augmenter notamment en raison

d'un vieillissement de la population générale combiné à une amélioration continue des soins de santé (Dorsey et al., 2007; Poewe et al., 2017). De plus, la MP est une maladie qui se manifeste davantage chez les hommes, avec un ratio de deux hommes atteints pour une femme (Miller et Cronin-Golomb, 2010). L'âge et le sexe sont donc les deux principaux facteurs de risque dans la MP. Malgré l'identification de facteurs de risques, l'étiologie de la MP demeure pour l'instant inconnue. Auparavant, il fut avancé que la MP était principalement causée par des facteurs environnementaux (Przedborski.,2017). Toutefois, des recherches révèlent que la MP se développe à partir de facteurs environnementaux (p. ex. une exposition à certains pesticides), des facteurs génétiques (p. ex. PRKN, PINK1) et d'une interaction complexe entre la génétique et des facteurs environnementaux (p. ex. Ascherio et al., 2006; Gorell,et al., 1998; Nussbaum & Polymeropoulos., 1997; Satake et al., 2009).

**1.2.1.3. Symptômes moteurs.** D'un point de vue clinique, la MP est définie principalement par les quatre symptômes moteurs : les tremblements unilatéraux des extrémités du corps qui progresseront ultimement en tremblements bilatéraux (Hoehn et Yahr, 1967), de l'hypokinésie, soit une rigidité dans l'initiation du mouvement (p. ex. Van Hilten et al., 1995), de la bradykinésie, ou une lenteur dans l'initiation du mouvement (p. ex. Berardelli, Rothwell, Thompson et Hallett, 2001), et une instabilité posturale qui affecte progressivement les facultés de marche (p. ex. Bloem, 1992). Les objectifs de ce mémoire ne concerneront que la MP de type idiopathique, c'est-à-dire, sans cause apparente. En effet, la MP de type idiopathique est caractérisée par le fait que les antécédents des patients n'ont pas révélé de processus pathologique pouvant être considéré comme étiologique dans la production de leur symptôme (Poewe et al., 2017). Le diagnostic de la MP idiopathique nécessite la présence de bradykinésie et d'au moins une autre caractéristique motrice cardinale (hypokinésie et/ou tremblement au repos), ainsi que l'exclusion des autres formes de

parkinsonisme durant l'évaluation par le professionnel (Bloem et al.,2021). En raison de la nature neurodégénérative de la maladie, ces troubles moteurs ont un impact croissant sur la fonctionnalité des patients, pouvant conduire à une immobilisation complète (Hoehn et Yahr, 1967).

L'apparition de ces symptômes moteurs dans la MP est le résultat de la dégradation des connexions dopaminergiques établies entre les ganglions de la base et le striatum (Obeso et al., 2000). La substance noire fait partie des ganglions de la base, un regroupement de noyaux sous-corticaux qui contrôlent les actions volontaires (Graybiel., 2000). En effet, ces mouvements volontaires sont contrôlés par le biais de trois voies (directe, indirecte et hyperdirecte), qui sont structurellement et fonctionnellement liées (Smith et al., 1998). Ces voies relient les ganglions de la base aux zones motrices telles que les cortex pré-moteur et moteur. Ces voies sont impliquées dans la production ou l'inhibition d'un mouvement. Dans le contexte de la MP toute cette dynamique d'activation et d'inhibition dans les deux voies va être impactée de sorte que le déficit en dopamine, chez les personnes avec la MP, va se traduire par un frein moteur excessif sur les cortex pré-moteur et moteur (Przedborski., 2017). Ce frein moteur excessif sur les cortex pré-moteur et moteur va alors engendrer les différents symptômes moteurs caractéristiques de la MP.

### ***1.2.2. Symptômes non moteurs***

Bien que la MP fut historiquement définie comme un trouble du mouvement, il existe un éventail de symptômes non moteurs qui jouent un rôle important dans le profil clinique des personnes avec la MP. Ces symptômes non moteurs englobent un large éventail de manifestations allant de la dysphagie aux troubles autonomes, gastro-intestinaux, du sommeil, sensoriels, cognitifs et neuropsychiatriques (Pfeiffer & Bodis-Wollner., 2005). Les symptômes non moteurs ont tendance à être sous-estimés par les personnes avec la MP et sous-investigués par les médecins (Pfeiffer & Bodis-Wollner., 2005). Ce n'est que relativement récemment que l'attention s'est

recentrée sur les symptômes non moteurs (Chaudhuri et al., 2006). De nombreuses études ont démontré non seulement leur grande prévalence et leur impact majeur sur la qualité de vie des personnes avec la MP, mais également le rôle dominant qu'ils peuvent jouer dans le profil clinique des personnes avec la MP (Pfeiffer & Bodis-Wollner., 2005). Dans les prochains paragraphes nous aborderons en détail certains symptômes visuo-perceptifs et cognitifs pouvant être présent dans la MP.

### **1.3. Maladie de parkinson et visuo-perception**

Au-delà des atteintes sur les voies directe et indirecte, la dopamine est également importante dans d'autres zones sensorielles et dans la rétine (Weil., 2016). En effet, dans la rétine, la dopamine joue un rôle dans l'organisation des champs réceptifs des cellules ganglionnaires et des cellules bipolaires. Elle peut également influencer l'activité des photorécepteurs et le couplage du système latéral horizontal (Archibald et al., 2009 ; Pfeiffer & Bodis-Wollner., 2005). De plus, il a été avancé que certains récepteurs dopaminergiques joueraient un rôle dans la médiation du contrôle des signaux corticaux visuels par le cortex préfrontal et suggèrent que le traitement dans les zones sensorielles pourrait être altéré dans des troubles impliquant la dopamine préfrontale (Noudoost & Moore., 2011). Ainsi un déficit de dopamine dans la MP a un impact sur la visuo-perception et de nombreuses atteintes concernant ont été rapportées. En effet, certaines études employant des questionnaires rapportaient que jusqu'à 78% des participants avec la MP faisaient état d'au moins un symptôme visuel (Davidsdottir et al., 2005). Ces atteintes peuvent notamment se retrouver dans le traitement visuel de haut niveau telles que la perception du mouvement ou la sensibilité au contraste. Elles peuvent se retrouver également au niveau de la discrimination sensorielle de bas niveau, comme l'acuité visuelle (Armstrong., 2017; Silva et al., 2005; Weil., 2016). Il existe d'autres atteintes visuo-perceptives dans la MP (p. ex. perception des couleurs, perception de la



profondeur) (Armstrong., 2017). Pourtant au sein de la littérature, ces atteintes sont très peu abordées, contrairement à d'autres aspects (p. ex. symptômes moteurs) (Weil et al., 2016). Le présent mémoire se concentrera sur l'élaboration d'un portrait des habiletés visuo-perceptives dans la MP.

### ***1.3.1. La perception du mouvement***

La perception du mouvement est une capacité centrale chez les êtres humains qui nous permet d'interagir avec notre environnement dynamique en percevant les changements dans une scène visuelle. Par exemple, c'est ce qui nous permet de traverser une rue très passante au bon moment ou simplement de nous servir un verre d'eau (Goldstein., 2002). Les personnes avec la MP éprouvent davantage de difficultés à ce niveau. Des expériences ont par exemple démontré une difficulté à détecter un stimulus en mouvement versus un stimulus statique, de même que des seuils plus élevés que les contrôles sains pour percevoir la direction du mouvement (Mestre et al., 1990 ; Haug et al., 1994 ; Trick et al., 1994). Le mécanisme par lequel cela se produit n'est pas clair dans la littérature, toutefois les hypothèses semblent suggérer un rôle conjoint d'atteintes rétiniennes et corticales (Archibald et al., 2009; Weil et al., 2016).

### ***1.3.2. La sensibilité au contraste***

La sensibilité au contraste est la capacité à détecter des différences subtiles dans la luminosité et les motifs. Elle est importante lorsque les contours des objets ne sont pas clairs et/ou pour distinguer des objets de leur arrière-plan (ex. des marches recouvertes d'un tapis à motifs). Cette capacité est affectée par des lésions de l'œil (y compris la rétine) ainsi que par des lésions thalamiques ou corticales (Weil et al., 2016). Les personnes avec la MP peuvent présenter une perte de la sensibilité au contraste autant au niveau de la fovéa (vision centrale) que de la vision périphérique (Armstrong., 2017 ; Silva et al., 2005). Dans la littérature, il n'est toutefois pas encore

possible de déterminer si cette perte découle d'anomalies situées au niveau de la rétine, d'anomalies dans le cortex visuel ou encore des deux (Bodis-Wollner et al., 2013).

### ***1.3.3. L'acuité visuelle***

Finalement, l'acuité visuelle se réfère au pouvoir de discrimination le plus fin au contraste maximal entre un test et son fond. Cette capacité est affectée par des facteurs ophtalmiques, notamment les déficits rétiniens, plutôt que par des atteintes corticales. Chez les personnes avec la MP, des études ont observé un amincissement au niveau de la couche interne de la rétine dû à la détérioration des cellules ganglionnaires, ainsi qu'une innervation dopaminergique réduite autour de la fovéa (Armstrong., 2017 ; Ahn et al., 2018 ; Hajee et al., 2009). Dans la MP, l'acuité peut donc être affectée considérant la présence de voies dopaminergiques au niveau des cellules amacrines dans la rétine. En effet, dans la rétine, la dopamine joue un rôle dans l'organisation des champs réceptifs des cellules ganglionnaires et des cellules bipolaires. Elle peut également influencer l'activité des photorécepteurs et le couplage du système latéral horizontal (Archibald et al., 2009 ; Pfeiffer & Bodis-Wollner., 2005).

Les mécanismes sous-jacents à l'ensemble de ces atteintes visuo-perceptives ne sont pas encore bien compris, malgré de nombreuses hypothèses en lien avec la dopamine proposées. La littérature démontre toutefois que ces atteintes co-existent très fréquemment avec des troubles cognitifs (Weil et al., 2016). Afin de mieux comprendre les problèmes visuo-perceptifs et d'améliorer notre capacité de prise en charge des personnes avec la MP, il est donc important de multiplier les recherches à ce sujet.

#### **1.4. Fonctions cognitives**

Environ 55% des personnes avec la MP éprouvent des troubles cognitifs (Janvin et al., 2003) et ceux-ci apparaissent dès les premiers stades de la maladie (Aarsland et al., 2010). En effet, elles présentent des performances altérées dans un large éventail de tests neuropsychologiques standardisés (Muslimovic et al., 2005). Les déficits dans les domaines des fonctions cognitives de haut niveau, de l'attention et de la mémoire constituent les principales atteintes (Muslimovic et al., 2005). Néanmoins, il est important de mentionner que l'éventail des déficits cognitifs dans la MP est complexe et très hétérogène (Watson & Leverenz., 2010). En fait, certaines personnes avec la MP présentent des troubles relativement isolés de la mémoire, tandis que d'autres présentent des troubles des fonctions frontales-exécutives ou visuo-spatiales (Janvin et al., 2006).

Les causes sous-jacentes aux différentes atteintes cognitives dans la MP sont peu comprises (Barone et al., 2011). Tout d'abord, les voies dopaminergiques impliquent plusieurs zones préfrontales qui jouent un rôle dans différents processus cognitifs (Dubois & Pillon., 1996). Une perte de dopamine peut donc engendrer des atteintes au niveau cognitif (Dubois & Pillon., 1996). En particulier, la perturbation des circuits neuronaux impliquant le noyau caudé et le cortex préfrontal, furent associées à des troubles au niveau des fonctions cognitives (Barone et al., 2011). Cependant, d'autres études suggèrent que la neurodégénérescence engendrée par les corps de Lewy dans les structures corticales et sous-corticales contribue et corrèle avec l'ampleur des atteintes cognitives (Chaudhuri et al., 2006). Certains systèmes de neurotransmetteurs non dopaminergiques (p.ex. cholinergiques et noradrénergiques) ont également été mentionnés comme étant susceptibles de jouer un rôle au niveau des déficits cognitifs (Cooper et al., 1991; De Leonibus et al., 2009; Meyer et al., 2009).

Il semble donc y avoir une grande variabilité et complexité autant au niveau du profil des atteintes cognitives que dans les causes derrière celle-ci. L'évaluation et la prise en considération de ces symptômes sont d'une grande importance puisqu'ils ont un impact majeur dans la vie quotidienne des personnes avec la MP ainsi que pour le personnel soignant (Schrag et al., 2006; Weintraub et al., 2004). Dans les prochains paragraphes, nous aborderons en détail ces principaux déficits cognitifs, ainsi que d'autres capacités également affectées, telles que le champ de vision utile et les capacités visuo-motrices.

#### ***1.4.1. Fonctions exécutives***

Les fonctions exécutives se retrouvent parmi les atteintes cognitives les plus fréquemment observées chez les personnes avec la MP. Dans la littérature, il n'y a pas de consensus sur la définition exacte de « fonctions exécutives » et cette notion est utilisée comme un terme parapluie englobant plusieurs fonctions cognitives (Kudlicka et al., 2011). Une classification assez populaire des fonctions exécutives est celle de Smith & Jonides 1999, qui propose cinq composantes : l'attention et l'inhibition, la gestion des tâches, la planification, le suivi et le codage. Parmi les fonctions exécutives, l'attention et l'inhibition occupent un rôle central dans notre fonctionnement global. Elles permettent le contrôle et la sélection de l'information dans notre environnement ainsi que dans notre scène visuelle (Allport, 1989). En effet, nos ressources cognitives ne sont pas en mesure de traiter l'ensemble de l'information visuelle disponible dans notre champ visuel (Allport, 1989). Ces deux mécanismes nous permettent donc de discriminer et de sélectionner les informations que nous désirons traiter plus en profondeur (James, 1890).

Chez les personnes avec la MP, l'attention et l'inhibition sont les déficiences cognitives le plus fréquemment rapportées (Broeders et al., 2013; Cameron et al., 2010; Muslimovic et al., 2005; Ouerfelli et al., 2018; Woodward et al., 2002). Une étude longitudinale a d'ailleurs démontré que

ces atteintes étaient déjà présentes au moment du diagnostic de la MP (Muslimovic et al., 2005). De plus, ces atteintes augmentaient plus rapidement sur une période de cinq ans, en comparaison à un groupe contrôle apparié avec l'âge (Muslimovic et al., 2005, 2009). Ces atteintes impliquent également une réduction de la vitesse de traitement et de l'attention visuelle, ce qui exacerberait les difficultés au niveau de la marche de même que les risques de chutes ou d'accidents chez les personnes avec la MP (Merims et al., 2008). Il fut suggéré qu'un déficit au niveau des capacités d'inhibition constituerait une des causes sous-jacentes aux atteintes cognitives (Cameron et al., 2010). Les prochains paragraphes aborderont des aspects plus spécifiques de l'attention et de l'inhibition.

L'attention visuospatiale est un aspect pouvant être affecté dans la MP (Kerai et al., 2012). Ce type d'attention réfère à la capacité d'une personne à percevoir et à traiter les stimuli dans l'espace qui l'entoure (Posner et Petersen, 1990). Dans la MP plusieurs études ont observé une réduction au niveau du champ de vision (*useful field of view* en anglais) utile de l'attention visuospatiale. Ce concept réfère à la zone visuelle à partir de laquelle les informations peuvent être extraites sans mouvement des yeux ou de la tête (Sekuler et al., 2000). La taille du champ de vision utile diminue généralement avec l'âge, très probablement en raison de la diminution de la vitesse de traitement visuel, de la réduction de la perception et de la sensibilité accrue aux distractions (Owsley et al., 1991; Sekuler et al., 2000). Dans la MP, des atteintes ont également été observées à l'aide du test UFOV (*useful field of view*), conçu pour évaluer le champ de vision utile, et ce même en début de maladie (Archibald et al., 2009; Uc et al., 2005). Une réduction du champ de vision utile dans la MP peut engendrer un bon nombre de problèmes dans la vie courante, par exemple pour la conduite automobile, la navigation ainsi que la lecture (Uc et al., 2005, 2009).

Le contrôle cognitif est également un aspect pouvant être affecté dans la MP (Obeso et al., 2011). Cette notion fait référence à la capacité à inhiber ou à contrôler une réponse impulsive (ou automatique) à un stimulus (Obeso et al., 2011). Cette capacité d'inhibition peut être mesurée par des tests non standardisés utilisant le système oculomoteur, offrant ainsi une alternative plus rapide et plus simple aux tests standardisés (Hutton et Ettinger, 2006 ; Ouerfelli-Ethier et al., 2018). La tâche de pro/anti-saccades intercalées en est un bon exemple. Dans cette tâche, les participants doivent alterner entre deux types de mouvements oculaires rapides : les pro-saccades et les anti-saccades (Hallett., 1978). Les pro-saccades sont un type de mouvement oculaire automatique dans lequel le regard est orienté vers une cible visuelle. À l'inverse, les anti-saccades reposent sur deux sous-processus : a) l'inhibition d'un type de mouvement oculaire automatique vers un stimulus visuel, et b) la génération d'un mouvement volontaire dans la direction exactement opposée au stimulus visuel, soit à une localisation qui ne contient aucun stimulus visuel. La tâche intercalée de pro- et d'anti-saccades exige des participants qu'ils alternent entre des comportements automatiques (pro-saccades) et volontaires (anti-saccades), ce qui nécessite notamment un contrôle de l'inhibition. Dans la MP, des taux d'erreurs et des latences significativement plus élevées au niveau des anti-saccades ont été observés (Ouerfelli-Ethier et al., 2018; Waldthaler et al., 2021).

#### ***1.4.2. Mémoire de travail***

La mémoire de travail, définie comme un système temporaire qui stocke et traite des informations en temps réel, est également affectée dans la MP. En effet, plusieurs plaintes ont été rapportées en lien avec la mémoire de travail chez les personnes avec la MP et ce, dès les premiers stades de la maladie (Aarsland et al., 2010; Lewis et al., 2005). D'une part, des plaintes en lien avec la mémoire de travail tel que : planifier des activités complexes, à trouver des solutions à un problème et à prendre des décisions (Lewis et al., 2005). D'autre part, certains aspects de la

mémoire de travail seraient, par ailleurs, plus affectés, et ce à des stades plus précoces de la MP que d'autres. Par exemple, les atteintes au niveau de la modalité visuo-spatiale seraient sévères (Broeders et al.,2013; LeBras et al.,1998; Lewis et al., 2005). La mémoire de travail visuospatiale fait référence à la capacité de stocker et à récupérer des informations liées à la planification d'un itinéraire et/ou à se souvenir de l'emplacement d'un objet (Burgess & Bisby, 2021). Par exemple, des déficits de la mémoire de travail visuospatial se caractérisent par des problèmes d'orientation dans l'espace (Owen et al., 1997). En somme, plusieurs aspects de la mémoire de travail seraient affectés dans la MP, avec une prépondérance particulière pour la mémoire de travail visuospatiale.

### ***1.4.3. Fonctions visuomotrices***

La transformation de l'information visuelle en action motrice requiert plusieurs processus différents pour effectuer des mouvements oculaires vers des cibles visuelles ou atteindre ces cibles visuelles. Pour ce faire, les fonctions exécutives appropriées planifient une séquence de mouvements. Ensuite, les mouvements sont convertis en fonction des informations visuelles (p. ex. trajectoire ou position changeante de la cible recherchée) dans la scène visuelle. Finalement, le mouvement pertinent est exécuté ce qui requiert des processus moteurs. Être en mesure de convertir de l'information visuelle en action est donc un processus complexe nécessitant non seulement des fonctions cognitives normales, mais également une capacité de planification et des compétences d'exécution motrice.

Dans la MP, les fonctions visuomotrices sont altérées (Inzelberg et al., 2008; Muslimovic et al., 2005, 2009). Plus précisément, les personnes avec la MP présentent des difficultés au niveau de la planification du mouvement ainsi qu'au niveau de leur vitesse psychomotrice, et ce davantage dans des situations complexes (Gilbert et al.,2005 Broeders et al., 2013; Muslimovic et al., 2005, 2009). La vitesse psychomotrice réfère à la capacité d'un individu à détecter et à répondre à des

changements rapides dans l'environnement (Strauss et al.,2006). Des difficultés à ce niveau peuvent se traduire par des difficultés à effectuer des mouvements dans le but d'atteindre quelque chose (p. ex. pointer quelque chose avec sa main). Il est proposé que ces atteintes soient davantage liées à une modification du contrôle cognitif et exécutif dans la MP qu'à une réduction des capacités motrices. En effet tel que suggéré par l'étude de Inzelberg et collègue (2008), ces atteintes seraient une défaillance multisystémique, dominée par un déclin cognitif.



## **2. Objectifs et hypothèses**

L'objectif de ce projet de maîtrise est d'étudier les capacités visuo-perceptives et cognitives chez les personnes avec la MP afin de déterminer la présence et la façon dont ces symptômes non moteurs co-existent. Il est important d'étudier les problèmes visuo-perceptifs et cognitifs dans la MP, car ils sont fortement sous-estimés et tendent à devenir de plus en plus prévalents au cours de la maladie. Avec ce projet, nous avons l'intention d'approfondir nos connaissances sur l'ampleur de ces atteintes. Nous formulons l'hypothèse que les participants atteints de la MP présenteront des déficiences visuo-perceptives et cognitives plus prononcées que celles observées chez le groupe contrôle d'adultes en bonne santé, appariés en âge. Nous formulons également l'hypothèse qu'il y aura plusieurs interactions entre les déficiences cognitives et visuo-perceptives, étant donné que de nombreuses tâches cognitives reposent sur des processus visuo-perceptifs. Ainsi, nous anticipons que les participants atteints de la MP présenteront des déficits à la fois dans les domaines cognitifs et visuo-perceptifs, ce qui souligne l'interdépendance de ces processus.

### 3. Méthodologie et matériel

#### 3.1 Participants

Nous avons recruté un total de 24 participants via le réseau Parkinson Québec (Montréal, QC) et dans la communauté. Il y avait 10 adultes avec la MP idiopathique de stade précoce ( $M = 64.5$  ans,  $SD = 5.9$  ans, tranche d'âge : 56-72 ans ; stades 1 et 2 selon l'échelle de Hoehn et Yahr, 1967 et 14 participants contrôle âgé et en bonne santé ( $M = 65$  ans,  $SD = 6.4$  ans, tranche d'âge : 56-75). Un test- $t$  pour échantillon apparié non significatif nous a confirmé que nos deux groupes étaient appariés au niveau de l'âge,  $t(22) = 0.539$ ,  $p = 0.471$ . Le **tableau 1** ci-dessous rapporte la médication et les données sociodémographiques du groupe avec la MP.

Tableau 1.

*Informations sociodémographiques du groupe avec la MP*

Participants	Sexe	Age (A)	Éducation (A)	H&Y	Médications
1	M	70	11	2	L
2	F	64	18	1	L
3	M	56	13	1	L
4	M	72	16	2	L, R
5	M	58	12	2	L
6	F	56	18	1	L
7	F	68	16	2	L, R
8	F	65	18	2	L
9	F	69	18	2	L, R, S
10	M	67	16	2	L, R

*Note.* A, Années; H&Y, Échelle de Hoehn et Yahr; L, Levodopa/carbidopa/entacapone; R, Rasagiline; S, Stavelo.

La présence de troubles cognitifs légers ou modérés ainsi que de démence a été dépistée dans les deux groupes à l'aide du Montreal Cognitive Assessment (MoCA; Nasreddine et al., 2005).

Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée à la normale. L'acuité visuelle fut

mesurée à l'aide de la charte ETDERS à 4 mètres. Dans le contexte où le participant avait besoin d'une correction visuelle, l'acuité fut évaluée avec celle-ci. La grande majorité des participants avait une acuité visuelle de 4/4. Les participants ont également rempli un questionnaire sur leur état de santé général et aucun d'eux ne présentait de troubles neurologiques comorbides ou psychiatriques. La prise et le dosage des médicaments des patients n'ont pas été contrôlés pour des raisons éthiques. Le plan expérimental a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche clinique (CERC) de l'Université de Montréal. Le consentement écrit et éclairé de tous les participants fut obtenu avant le début de l'expérience et ils ont reçu une compensation financière pour leur participation à la fin de l'étude.

### **3.2. Dispositif expérimental**

Tous les participants furent invités au laboratoire VISATTAC, un laboratoire dédié à l'étude de l'attention et des mouvements oculaires se situant au deuxième étage de l'école d'optométrie de l'Université de Montréal, pour faire deux séances d'environ 1h30 chacune. Sur ces deux visites, ils devaient compléter une batterie de tests comportant 12 tâches mesurant différentes fonctions visuo-perceptives et cognitives.

Ces tâches ont eu lieu dans une pièce où les participants étaient confortablement assis dans le noir, leurs yeux à une distance de 57 cm d'un écran d'ordinateur VIEWpixx (VPixx Technologies, Montréal, Canada ; 52x29 cm, 1920\*1080 pixels, 120 Hz) (**figure 1**). Leurs mouvements oculaires étaient enregistrés à 1 000 Hz avec un oculomètre (*eye-tracker* en anglais) EyeLink 1000 Plus (SR Research Ltd., Kanata, Ontario, Canada) monté en tour. Pour limiter les mouvements de la tête lors de l'enregistrement, le front et le menton des participants étaient stabilisés sur des appuis. Pour certaines tâches, les réponses des participants étaient enregistrées

par appui-boutons à l'aide d'un boîtier de réponse RESPONSEPixx (VPixx Technologies, Montréal, Canada). Dans la batterie de tests effectués par les participants, trois des tâches employées (anti-saccade, sensibilité au contraste, détection du mouvement) furent conçues et implémentées à l'aide de MatLab R2016b (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, États-Unis) avec la « *Psychophysics Toolbox* » (Brainard, 1997). Une quatrième tâche (tâche du champ de vision utile) fut conçue et mise en œuvre avec le programme Experiment Builder (SR Research Ltd., Kanata, Ontario, Canada).

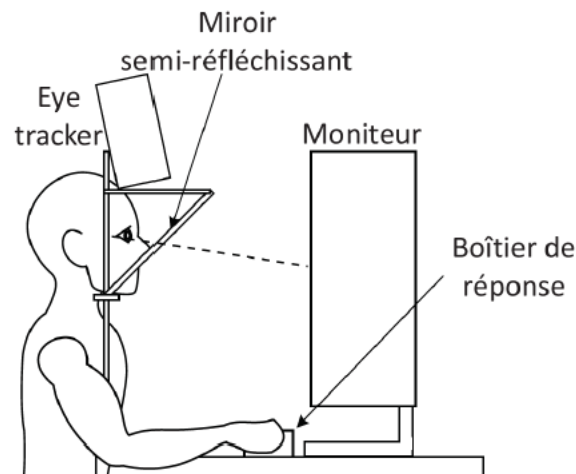


Figure 1. – Configuration de l'expérimentation. Ce montage inclut un écran VIEWpixx , un eye-tracker EyeLink 1000 Plus, monté en tour binoculaire (SR Research, Mississauga, ON, Canada). Un boîtier de réponse RESPONSEPixx (VPixx Technologies, Montréal, Canada) était employé par les participants.

Les cinq autres tâches de la batterie de tests (tâche de flexibilité cognitive, tâche de présentation sérielle visuelle rapide, tâche de mémoire de travail spatiale, trail making B et tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir) ont été faites sur une autre installation, également dans le laboratoire, assis devant un écran d'ordinateur et donnaient leurs réponses avec l'aide d'un clavier et d'une souris sur une table en face d'eux. Une partie de ces tâches ont été développées à l'aide de

PsychoPy et hébergées par la plateforme Pavlovia (Pierce et al., 2022) et l'autre partie par le biais de la *Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery* (CANTAB., 2016).

Finalement, deux tests optométriques (tomographie par cohérence optique et évaluation de l'acuité visuelle avec la charte ETDRS) furent réalisés à la Clinique Universitaire de la Vision de l'École d'optométrie de l'Université de Montréal. Pour ce qui est de la tomographie par cohérence optique, les participants étaient assis dans une salle sans lumière avec leur tête reposant sur l'appuiement de l'appareil OCT Cirrus (Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, Calif). L'évaluation de l'acuité visuelle se faisait dans une salle avec un éclairage optimal, les participants étaient installés dans une chaise qui faisait face à une charte ETDRS rétroéclairée à 4 mètres.

### **3.3. Procédure et stimuli**

#### ***3.3.1 Séquence expérimentale***

La première visite débutait par la passation du test MoCA, l'évaluation de l'acuité visuelle avec la charte ETDRS à 4 mètres ainsi que de la tomographie par cohérence optique au niveau de la macula. Elle était ensuite suivie de quatre tâches administrées dans un ordre aléatoire: tâche pro/anti-saccades intercalées, tâche de détection du contraste, tâche détection du mouvement et tâche du champ de vision utile. La première visite se terminait avec la complétion d'un questionnaire sociodémographique.

La deuxième visite était composée de cinq tâches également administrées dans un ordre aléatoire : tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir, trail making B, tâche de mémoire de travail spatial, tâche de présentation sérielle visuelle rapide et la tâche de flexibilité cognitive. La procédure expérimentale était la même pour les deux groupes (contrôle et parkinson) et des pauses étaient encouragées afin de prévenir la fatigue tout au long des deux visites.

### 3.3.2. Batterie de tests

La batterie de tests était composée de deux tests optométriques ainsi que de 10 tâches visuo-perceptives et cognitives (voir Tableau 2 pour la liste des tâches). Ces tâches seront abordées en détail dans les prochains paragraphes.

Tableau 2.

#### Résumé des tâches de la batterie de test

Tests :	Aptitude/Domaine mesuré :	Durée :	Moment de la passation :
OCT scan	Épaisseur de la rétine	5 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Acuité ETDRS	Acuité visuelle	5 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
MOCA	Évaluation cognitive	10-15 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Seuil de contraste	La sensibilité au contraste	10 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Seuil de détection du mouvement	Détection du mouvement	10 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Tâche pro/anti-saccades intercalées	Capacité d'inhibition	5 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Tâche du champ de vision utile	Distribution spatiale d'attention	15 minutes	1 <sup>ère</sup> visite
Tâche de flexibilité cognitive	Flexibilité mentale	5 minutes	2 <sup>ième</sup> visite
Tâche de présentation sérielle visuelle rapide	Attention soutenue	7 minutes	2 <sup>ième</sup> visite
Tâche de mémoire de travail spatiale	Mémoire de travail visuospatiale	4 minutes	2 <sup>ième</sup> visite
Trail making B	Fonctions exécutives, vitesse psychomotrice et planification spatial	5 minutes	2 <sup>ième</sup> visite
Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir	Capacités visuomotrices	5 minutes	2 <sup>ième</sup> visite

**3.3.2.1. Tomographie par cohérence optique (OCT).** L'OCT (optical coherence tomography) est un appareil qui permet d'imager les différentes couches de la rétine, de calculer l'épaisseur totale de la rétine ainsi que l'épaisseur des couches de fibres nerveuses. Dans le cadre de ce projet, le but était de vérifier la présence ou non d'un amincissement de la rétine chez les

personnes avec la MP. Depuis quelques années, l'OCT fait partie intégrale d'un examen de la vision et dans le dépistage de maladies rétiniennes, du nerf optique ou neurologique. Dans cette étude, des images centrées sur la macula et sur le nerf optique ont été prises avec l'OCT Cirrus (Carl Zeiss Meditec, Inc., Dublin, Calif) (**figure 2**). La prise d'images durait de 2-5 minutes au total pour les deux yeux.



Figure 2. Positionnement du patient à l'OCT Cirrus

**3.3.2.2. ETDRS.** L'acuité visuelle est le test standard pour mesurer la mesure de la capacité à discriminer deux stimuli séparés dans l'espace avec un contraste élevé par rapport à l'arrière-plan (Kniestedt & Stamper., 2003). La charte ETDRS (**figure 3**) est l'échelle d'acuité visuelle la plus précise et la plus utilisée en recherche (Kaiser., 2009). Elle permet d'obtenir une mesure d'acuité visuelle sous forme de nombre de lettres lues. Les participants étaient assis à 4 mètres d'une charte et devaient lire les lettres une ligne à la fois sur la charte jusqu'à ce qu'ils ne les voient plus. La mesure débutait avec un œil à la fois et terminait avec les deux yeux ensemble. Dans la condition avec un seul œil, les participants avaient pour instruction de cacher l'œil non testé avec une de leur main.

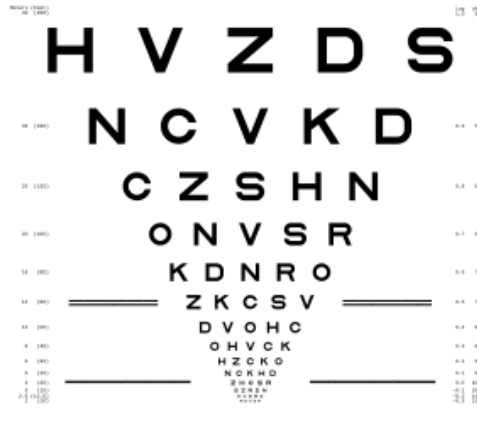


Figure 3. Charte ETDRS pour la prise d'acuité visuelle qui était rétroéclairée et placée à 4 mètres du participant.

**3.3.2.3. MoCA.** Le Montreal Cognitive Assessment ou MoCA est un test de dépistage cognitif conçu pour aider les professionnels de la santé à détecter les troubles cognitifs légers (Nasreddine et al., 2005). Tel que mentionné précédemment, la MP, s'accompagne typiquement d'un déclin ou d'un ralentissement cognitif (Aarsland et al., 2010), un test sensible au trouble cognitif léger comme le MoCA est donc un bon outil de dépistage. Le MoCA est un test cognitif administré par un expérimentateur qui évalue plusieurs sphères cognitives: mémoire à court terme, habiletés visuospatiales, fonctions exécutives, attention, concentration, mémoire de travail, langage et orientation dans le temps et l'espace. Pour ce faire les participants étaient installés devant une feuille de test et devaient compléter des tâches (p.ex. recopier une image, dessiner un objet, mémoriser certains mots, etc.) à l'aide d'un crayon et en donnant des réponses à l'oral. Les participants ont passé le test MoCA avec un expérimentateur ayant été formé par la compagnie MoCA cognition à administrer cette tâche.



**3.3.2.4. Tâche de seuil de contraste.** Cette tâche visuoperceptive permet de mesurer le seuil de sensibilité au contraste pour chaque participant. Le principe de cette tâche est de présenter un filtre de gabor dans le champ de vision centrale des participants et de leur demander de discriminer la direction des lignes (verticale ou horizontale) du filtre de Gabor (**figure 4**). Un filtre de Gabor est un stimulus visuel souvent utilisé en vision car ses caractéristiques correspondent aux propriétés du champ réceptif des neurones du cortex visuel primaire. Dans la MP plusieurs études ont observé une perte de la sensibilité au contraste au tant en vision centrale que périphérique avec ce genre de tâche. Il est bien connu que la sensibilité au contraste n'est pas uniforme dans le champ visuel et qu'elle diminue avec l'excentricité (Anderson et al., 1991). Dans le cadre de ce projet, nous souhaitons mesurer les seuils de contraste en vision périphérique afin de déterminer s'il existait un lien avec nos mesures cognitives telles que l'attention périphérique dans la tâche du UFOV plutôt que les seuils de contraste en vision centrale. Chaque essai commençait par l'affichage d'un point de fixation noir (1° de diamètre) pour une durée de 1000ms. Le filtre de Gabor apparaissait ensuite pour une durée de 250ms. Nous avons choisi cette durée pour garantir que le filtre de Gabor était toujours vu dans la périphérie. Si les participants décidaient de regarder le filtre de gabor, la durée de sa présentation est inférieure à la latence d'une saccade, normalement autour de 250 ms. Ainsi, s'ils tentaient de regarder le filtre patch, il ne serait plus visible lorsque leurs yeux arrivaient à cet endroit. De plus, les temps de présentation sont cohérents avec des études antérieures (Gao et al., 2019). Finalement, le participant devait indiquer sa réponse à l'aide d'un boîtier de réponse pour passer à l'essai suivant. Les participants avaient la consigne de presser aléatoirement l'un des deux boutons lorsque le filtre de Gabor n'était pas perçu. Le contraste du filtre de Gabor était modifié à chaque essai et sa position variait de façon randomisée entre huit positions différentes étant toutes à une distance de 5° d'excentricité du point de fixation se trouvant au centre de l'écran. L'orientation du filtre de Gabor (verticale ou horizontale) était randomisée de

façon équivalente à travers chaque bloc d'essai. Pour déterminer le seuil de contraste (contraste minimal des stimuli pour percevoir correctement l'orientation des lignes), nous avons utilisé une méthode psychophysique en escalier, en utilisant QUEST (Watson & Pelli., 1983). Lors du premier essai, le contraste débutait à 50% d'intensité puis variait en fonction des réponses. Une bonne réponse diminuait le contraste de l'essai suivant tandis qu'une erreur l'augmentait. Cette tâche était composée de trois blocs de 30 essais.

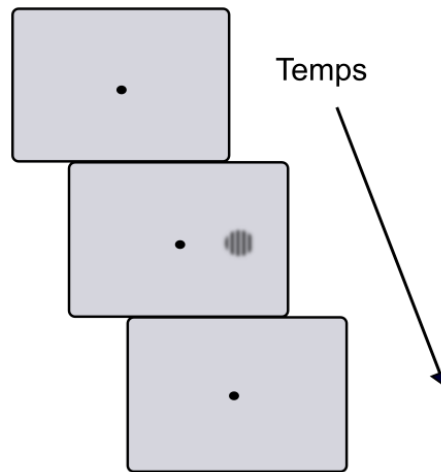


Figure 4. Illustration de la séquence pour la tâche du seuil de contraste. Le participant devait préserver son regard en tout temps sur le point de fixation noir durant la présentation du filtre de gabor. Une fois celui-ci disparu le participant pouvait donner sa réponse à l'aide d'un boîtier de réponse.

**3.3.2.5. Tâche de seuil de détection du mouvement.** Avec cette tâche visuoceptive, nous avons mesuré la vitesse à laquelle la direction du mouvement est perçue. En effet, plusieurs études rapportent des seuils plus élevés pour percevoir la direction du mouvement dans la MP (Trick et al., 1994). La tâche de seuil de détection du mouvement permet de déterminer jusqu'à quelle vitesse une personne est en mesure de percevoir la direction du mouvement. Les participants avaient donc pour instruction de déterminer si le mouvement des lignes horizontales dans un filtre de Gabor était ascendant ou descendant et de donner leurs réponses en appuyant sur un des deux boutons du boîtier

de réponse. Ils devaient en tout temps garder leur regard sur un point de fixation se situant dans le milieu de l'écran. Le filtre de Gabor avait une valeur de contraste fixe de 50% et se trouvait à 5° d'excentricité du point de fixation (**figure 5**). Chaque essai débutait de la même façon que dans la tâche de détection du contraste. Pour déterminer le seuil de mouvement, soit la durée minimale des stimuli pour percevoir correctement le mouvement vers le haut ou vers le bas, nous avons utilisé une méthode psychophysique en escalier avec QUEST (Watson & Pelli., 1983). Pour le premier essai, le filtre de Gabor était présenté pendant 500 ms et ce temps variait ensuite en fonction des réponses du participant : augmentant si le participant répondait de manière incorrecte à la direction et en diminuant s'il répondait correctement. Cette tâche était composée de trois blocs de 30 essais.

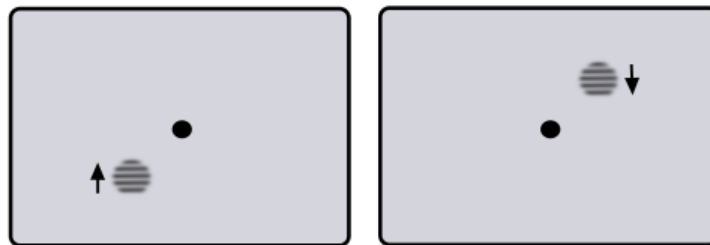


Figure 5. Tâche de détection du mouvement. Cette figure représente 2 essais différents. Le participant devait réserver son regard en tout temps sur le point de fixation noir durant la présentation du filtre de gabor. Une fois celui-ci disparu le participant pouvait donner sa réponse à l'aide d'un boîtier de réponse. La flèche dans les deux images n'apparait pas dans la vraie tâche et est simplement là à titre d'exemple pour indiquer si les lignes horizontales ont un mouvement ascendant ou descendant.

**3.3.2.6. Tâche de pro/anti-saccades intercalées.** La tâche de pro/anti-saccades intercalées permet de mesurer la capacité d'inhibition des participants. En effet, elle requiert des capacités de flexibilité cognitive ainsi que d'inhibition et peut, par conséquent, mesurer le contrôle cognitif dans diverses populations cliniques, notamment dans la MP (Cameron et al., 2012). Cette tâche nécessite que les participants alternent entre deux types de mouvements oculaires rapides les pro-saccades et les anti-saccades. Les participants avaient pour instruction d'effectuer des anti ou pro-saccades

en réponse à des indices présentés à l'écran (**figure 6**). Pour l'essai de pro-saccade, l'indice était vert et indiquait aux participants de faire une saccade vers la cible. Dans la condition d'anti-saccade, l'indice était rouge et il était demandé aux participants d'inhiber une saccade vers la cible et de faire une saccade à 180° de celle-ci à la place L'indice restait à l'écran pour une durée de 3000 ms, la cible apparaissait ensuite pour 1000 ms. Dans cette tâche, nous avons fixé un intervalle inter-essai de 2500 ms. Les délais étaient déterminés de façon à permettre aux patients atteints de la MP et présentant une bradykinésie (c'est-à-dire des mouvements lents) d'accomplir la tâche. Les participants étaient familiarisés avec la tâche par un bloc d'entraînement de 10 essais avant de commencer l'expérience qui comprend trois blocs de 40 essais chacun. Dans chaque bloc, 20 essais de pro- et anti-saccades étaient intercalés.

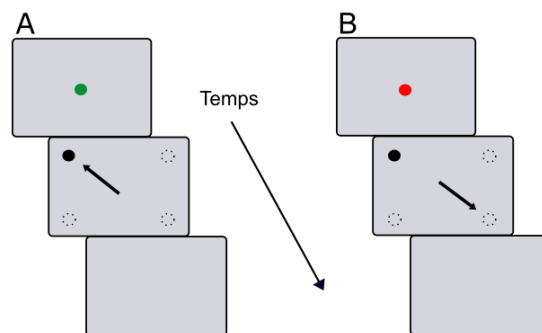


Figure 6. Séquence de la tâche pro/anti-saccade. Dans cette figure, la séquence de pro-saccade est illustré en A et la séquence d'anti-saccade est illustré en B. Pour les deux types d'essais, les saccades correctes en fonction de l'indice sont illustrées par une flèche, tandis que les lignes en pointillé représentent les emplacements possibles de l'indice. Les lignes pointillées représentent les emplacements possibles de l'indice.

**3.3.2.7. Tâche de flexibilité cognitive.** Cette tâche est utilisée pour évaluer la capacité flexibilité cognitive, l'inhibition (Mayr & Keele, 2000) et la mémoire de travail (Rogers & Monsell, 1995). Sur le plan cognitif, c'est une tâche pouvant être assez complexe puisqu'elle demande d'alterner entre deux types de réponses dans le même essai. Cela nécessite donc de pouvoir : garder

en mémoire de travail les 2 règles, être en mesure d'alterner entre plusieurs types de réponses et finalement la capacité d'inhibition pour donner la réponse adéquate. De nombreuses tâches nécessitant une bonne flexibilité cognitive comme celle-ci, mais également des tâches comme celle d'anti-saccade (Cameron et al.,2010), ont démontré qu'il existait des atteintes dans la MP. Dans cette tâche, les participants devaient donc répondre à une série de stimuli en fonction de deux règles différentes (**figure 7**). Les stimuli apparaissaient dans une grille de 2 x 2 dans le sens des aiguilles d'une montre, en commençant par la cellule supérieure gauche. Dans le bloc 1 (bloc unique), le participant devait répondre à la forme des stimuli, quel que soit le nombre de points à l'intérieur de la forme. Les stimuli apparaissaient uniquement dans la rangée du haut. Un losange nécessitait une réponse de type "x" et un carré une réponse de type "n" sur le clavier. Dans le bloc 2 (bloc de répétition), le participant devait répondre au nombre de points dans les stimuli, indépendamment de leur forme. Les stimuli apparaissaient uniquement dans la rangée du bas. Deux points nécessitaient une réponse avec la touche "x", tandis que trois points nécessitaient une réponse avec la touche "n". Ensuite, les participants ont été invités à compléter un troisième et dernier bloc (bloc de changement) qui combinait les règles des deux premiers blocs dans une séquence d'essais alternés. Les participants devaient répondre le plus rapidement possible et recevaient une rétroaction en cas de réponse correcte ou incorrecte. Cette rétroaction se présentait sous la forme d'un changement de couleur de la grille : lorsqu'une réponse était correcte, la couleur de la grille passait au vert, tandis qu'une réponse incorrecte faisait passer la couleur de la grille au rouge. Dans les blocs 1 et 2, après une réponse incorrecte, un écran de rappel contenant les instructions pour le bloc correspondant était présenté. Les blocs 1 et 2 comprenaient chacun 12 essais, tandis que le bloc 3 comprenait 50 essais pour un total de 74 essais.

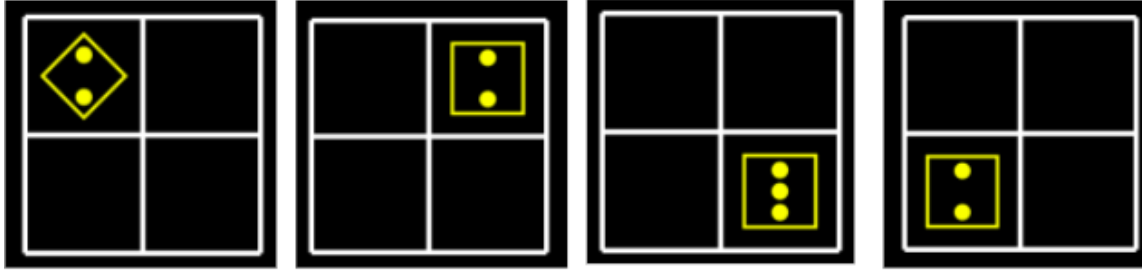


Figure 7. Exemples d'essais auxquels le participant pouvait faire face dans la tâche de flexibilité cognitive. Au total, quatre variantes de stimuli pouvaient être présentées à chaque essai : un losange avec deux ou trois points à l'intérieur de la forme, et un carré avec deux ou trois points à l'intérieur de la forme. Les taux d'apparition de chacun des quatre stimuli étaient aléatoires tout au long de la tâche. Les participants utilisaient les touches "x" et "n" pour répondre aux deux types de réponses (en fonction de la forme ou en fonction des points) dans chaque bloc.

**3.3.2.8. Tâche de présentation sérielle visuelle rapide.** Ce test mesure l'attention soutenue ainsi que la vitesse de réaction. Il existe plusieurs versions de tâches d'attention soutenue visuelle comme celle-ci qui se basent sur le même principe : le maintien de l'attention sur une série de chiffre décollant en continu durant une longue période de temps et d'être en mesure d'identifier le plus rapidement possible une séquence cible. Dans la MP, ce genre de tâche a révélé des atteintes au niveau de l'attention soutenue (Meppelink et al., 2008). Pour cette tâche, les participants étaient installés devant un ordinateur et avaient comme instruction d'identifier une séquence de 3 chiffres. Les participants voyaient des chiffres défiler rapidement, un à la fois, et devaient détecter la séquence spécifique (voir **figure 8**). Les chiffres apparaissaient à un rythme de 100 par minute et la tâche durait 6 minutes. Lorsque les participants détectaient la séquence cible, ils devaient appuyer le plus rapidement possible sur le bouton en dessous de la case dans laquelle les chiffres défilent à l'écran.

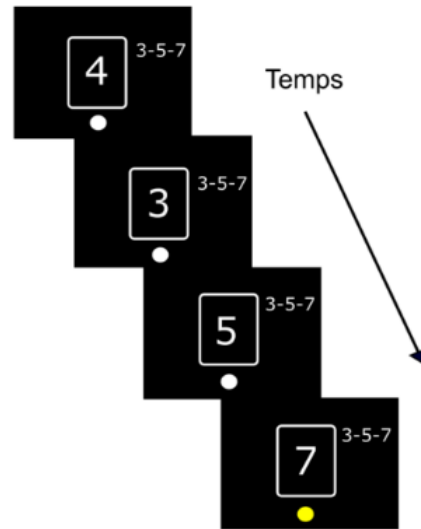


Figure 8. Exemple de la tâche. Chaque écran représente un nouveau chiffre apparaissant, le rythme d'apparition était de 100 chiffres par minute. Le participant devait garder son attention sur les chiffres apparaissant et détecter une séquence de 3 chiffres. Une fois la séquence détectée, le participant devait cliquer avec l'aide d'une souris le plus rapidement possible. Le point jaune représente le moment où le participant doit indiquer qu'il a vu la suite dont il est chargé d'identifier (3-5-7).

**3.3.2.9. Tâche de mémoire de travail spatiale.** Ce test est conçu pour évaluer la mémoire de travail visuo-spatiale (CANTAB., 2016). En effet, il nécessite la rétention et la manipulation d'informations visuospatiales. Il présente des exigences notables en matière de fonctions exécutives et fournit une mesure de la stratégie ainsi que des erreurs de mémoire de travail. C'est un test qui est recommandé pour évaluer la mémoire de travail dans la MP (CANTAB., 2016). Chaque essai débutait par l'affichage de plusieurs boîtes de couleurs à l'écran, les participants devaient alors les sélectionner pour trouver des 'pièces' jaunes. Ils devaient respecter un processus d'élimination puisqu'un jeton était présenté qu'une seule fois par boîte. Les participants devaient donc se souvenir de l'emplacement de chaque boîte ayant déjà découvert un jeton jaune et éviter de les revisiter (**figure 9**). Cette tâche comporte 7 essais, entre chaque essai le nombre de boîtes augmentait graduellement le premier essai débutait avec 3 boîtes alors que le dernier essai en avait 12. L'emplacement des boîtes changeait entre chaque essai.

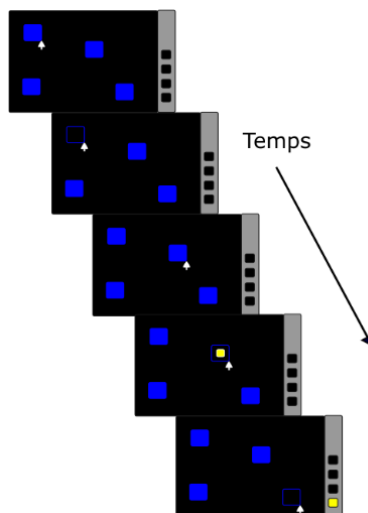


Figure 9. Schéma de la tâche. Le participant devait trouver un certain nombre de carrés jaunes cachés derrière les carrés bleus. Il le faisait en cliquant sur un carré bleu. Une fois un carré jaune trouvé, celui-ci se retrouvait dans la banque de carrés jaunes affiché à la droite de l'écran et le carré bleu redevenait alors opaque.

**3.3.2.10. Tâche du champ de vision utile (UFOV).** La tâche du champ de vision utile évalue la distribution spatiale de l'attention. La tâche du champ de vision utile est une tâche qui a beaucoup été utilisée dans la MP notamment dans un objectif d'évaluation des capacités à la conduite automobile (Uc et al., 2005). Dans la MP, des atteintes au niveau du champ de vision utile ont été observées à l'aide du test UFOV et ce même en début de maladie (Archibald et al., 2009; Uc et al., 2005). Dans cette tâche les participants avaient pour instruction de constamment fixer le centre de l'écran et suite à la présentation de la séquence illustrée dans la **figure 10** et de choisir parmi les emplacements possibles la localisation de la forme cible en périphérie et d'indiquer si celle-ci est identique ou différente de celle au centre. La séquence débutait tout d'abord par un point de fixation de couleur rouge sur un fond noir. Suite à cela, le participant apercevait une image, durant 150ms, composée d'une forme cible en son centre (carré ou triangle variant selon les essais). En plus de la forme cible au centre, 47 distracteurs se trouvant à 3 excentricités différentes (6 °, 9 ° et 12 °) ainsi qu'une autre forme cible (carré ou triangle) se trouvant parmi les distracteurs apparaissaient. L'image était donc composée de 2 formes cibles (une au centre et une en périphérie)



et de 47 distracteurs. La position de la forme cible de la périphérie variait pour chaque essai. Un masque apparaissait ensuite durant 67ms et suite à ce masque le participant devait indiquer à l'aide d'une souris d'ordinateur l'emplacement de la forme en périphérie et ensuite si cette forme en périphérie était la même ou était différente de celle présentée au centre de l'écran. La tâche comportait deux blocs ayant chacun 48 essais.

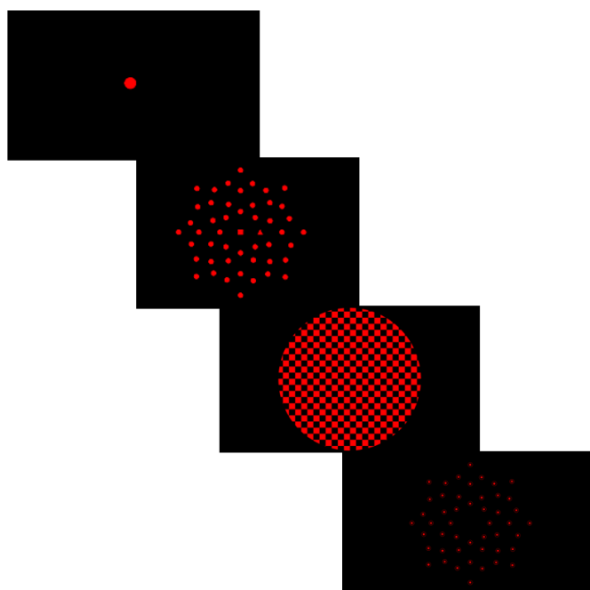


Figure 10. Illustration de la séquence de la tâche du champ de vision utile.

**3.3.2.11. Trail making B.** Cette tâche mesure la vitesse de traitement, la flexibilité cognitive et les capacités visuo-motrices (Bowie & Harvey., 2006). Le trail making est un instrument neuropsychologique populaire utilisés dans le dépistage pour de maladies neurologiques et qui est très sensible à la présence d'altérations neuropsychologiques. Plusieurs études rapportent que la performance à cette tâche corrèle avec nombreuses mesures globales d'intelligence et de processus cognitif de haut niveau (Bowie & Harvey., 2006). Dans cette tâche,

les participants étaient devant un ordinateur ou un ensemble de 25 cercles contenant des chiffres allant de 1 à 13 et des lettres allant de «A» jusqu'à «L» apparaissaient dans des positions aléatoires (**figure 11**). Les participants devaient relier les cercles à l'aide de leur souris de façon ascendante tout en alternant entre les chiffres et les lettres (par exemple, 1-A-2-B-3-C, etc.). Les participants avaient deux essais différents à faire. La performance à cette tâche a été évaluée par le temps nécessaire aux participants pour la compléter.

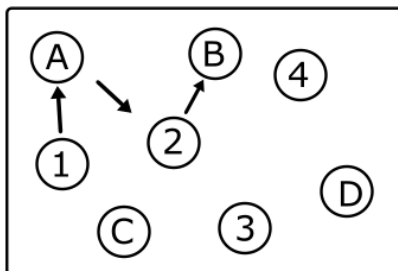


Figure 11. Schéma de la tâche du trail making B. Le participant devait tracer une ligne en alternant entre un chiffre et une lettre tout en respectant un ordre alphabétique et croissant. Les flèches représentent la direction des traits que le participant devait effectuer, le participant devait toutefois poursuivre ses traits et finir avec la lettre D.

**3.3.2.12. Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.** La tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir est une tâche visuomotrice évaluant la capacité d'effectuer une action dans laquelle l'information visuelle directrice est dissociée de l'action motrice requise (Granek et al., 2010). Il est rapporté que ce genre de tâche nécessite des transformations visuomotrices non standard pouvant être relativement facile pour l'adulte en bonne santé. Toutefois, la capacité à contrôler ces types de compétences non standard n'est pas innée et peut se détériorer en cas de population clinique (Granek et al., 2010). Les participants étaient installés devant un ordinateur et avaient pour instruction d'amener leur curseur dans un cercle vert apparaissant de manière aléatoire aux quatre points cardinaux de même excentricité (se trouvant à mi-chemin entre le centre de l'écran et son extrémité) et d'ensuite ramener le curseur au centre de l'écran (**figure 12**). Il y avait

tout d'abord un bloc de pratique comportant quatre essais avant le début du premier bloc pour se familiariser avec la tâche. Dans le premier bloc d'évaluation (32 essais), leurs mouvements étaient normaux. Dans un second bloc (32 essais), les participants devaient de nouveau orienter la souris vers les quatre cibles, mais le curseur se déplaçait en sens inverse des mouvements de la souris (ex. si le mouvement de la souris est vers la gauche, le curseur se déplace vers la droite). Le taux d'erreurs, ainsi que le temps et le nombre de mouvements nécessaires pour compléter chaque essai étaient évalués dans cette tâche

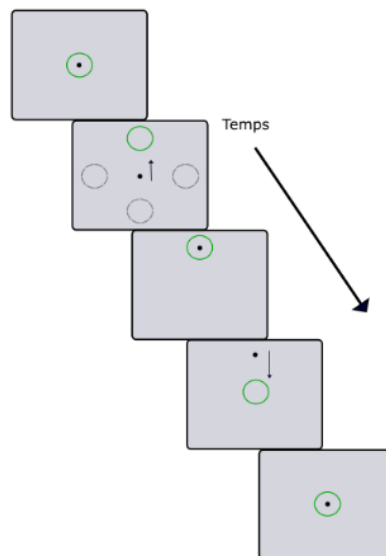


Figure 12. Schéma de la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir. Ce schéma représente un exemple de la tâche en condition normale. La flèche noire représente la direction dans laquelle la souris doit aller pour être en mesure de réussir un essai. Le cercle vert est la cible où le curseur doit se retrouver et les autres cercles pointillés représentent les positions possibles où le cercle vert peut apparaître.

### 3.4 Analyse des données

Les variables de l'ensemble des tâches ont été analysées à l'aide du logiciel JASP 0.16.3.0 (JASP Team, 2023). La méthode d'analyse de chaque tâche ainsi que leurs mesures respectives sont décrites ci-dessous. Tous les tests statistiques ont été fixés à un niveau alpha de 0.05.

### ***3.4.1. Tomographie par cohérence optique (OCT)***

Pour cette tâche, nous avons collecté les données de 19 participants. 5 des participants (2 participants contrôles et 3 participants avec la MP) n'ont pas pu effectuer la tomographie par cohérence optique, car la taille de leur pupille était trop petite. La diminution de la taille de la pupille est normale avec l'âge (Birren et al.,1950); les optométristes procèdent à une dilatation pupillaire pour effectuer l'OCT dans cette situation. Puisque nous n'avions pas fait de demande concernant cette manipulation durant notre soumission au comité d'éthique et que la dilatation n'aurait pas permis la passation expérimentale subséquente, il n'était pas possible de le faire dans le cadre de ce projet.

À la suite de ce scan, nous avons pu analyser l'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula pour chacun des yeux des participants. Nous avons comparé à l'aide d'un test-*t* pour échantillons appariés l'épaisseur moyenne centrale entre les deux groupes (parkinson et contrôle).

### ***3.4.2. Tâches de seuil de contraste et de détection du mouvement***

Pour ces deux tâches, nous avons ajusté les réponses de chaque participant à une fonction psychométrique. Nous avons procédé de la sorte afin d'estimer le seuil de contraste et le seuil de durée pour la tâche de mouvement. Les fonctions psychométriques utilisaient la fonction sigmoïde gaussienne. Aucune limite n'a été imposée pour la moyenne ou la pente de la fonction. Les limites des seuils supérieur et inférieur ont été fixées à 0.1 pour tenir compte des erreurs. Nous avons estimé le taux de performance de 82% pour les estimations de seuil, séparément pour chacune des tâches. Le seuil de 82% a été déterminé en nous basant sur l'étude faite par Cameron et al., (2002). Pour la tâche de détection de contraste, il s'agissait du seuil de contraste du filtre de Gabor, alors que pour les tâches de mouvement, il s'agissait du seuil de la durée du mouvement.

Pour la tâche de seuil du contraste, nous avons enregistré un total de 2310 essais, dont nous avons retiré les essais dans lesquels les participants avaient une position de départ n'étant pas sur le point de fixation se trouvant au centre de l'écran ou les essais dans lesquels les participants effectuaient un mouvement oculaire durant la présentation du stimulus (391 essais, 17 % du total des essais)

Pour la tâche de seuil de détection du mouvement, nous avons enregistré 2550 essais, dont nous avons retiré les essais dans lesquels les participants avaient une position de départ n'étant pas sur le point de fixation se trouvant au centre de l'écran ou les essais dans lesquels les participants effectuaient un mouvement oculaire durant la présentation du stimulus (540 essais, 21% du total des essais)

Des tests-*t* pour échantillons appariés ont été effectués pour comparer les seuils de contraste ainsi que de mouvement entre les deux groupes (parkinson et contrôle).

### ***3.4.3. Tâche de pro/anti-saccades intercalées***

Nous avons enregistré 2800 essais, dont nous avons d'abord retiré les essais où il n'y avait pas eu de trace oculaire ou durant lesquels les participants avaient cligné de l'œil durant la présentation du stimulus visuel (33 essais, 1.18% du total des essais). Ensuite, nous avons retiré les essais où les temps de réaction des saccades étaient inférieurs à 100 ms ou supérieurs à 1 000 ms (10 essais, 0.36% du total des essais). Nous avons également normalisé tous les points de départ et d'arrivée des saccades pour chacun des blocs en décalant tous les points par les positions x et y moyennes de départ du même bloc. Ensuite, nous avons supprimé les essais dans lesquels les saccades avaient une position de départ supérieure à 2 degrés d'angle visuel par rapport au centre de l'écran (57 essais, 2.04% du total des essais). Nous avons également supprimé les valeurs aberrantes en termes d'amplitude, définies comme des essais où les saccades étaient inférieures à

3° ou supérieures à 30° (47 essais, 1.68% du nombre total d'essais). Il restait 2653 essais (94.75% du nombre total d'essais).

Nous avons effectué nos analyses statistiques sur les taux d'erreur et les temps de réaction pour les essais pro- et anti-saccades. Pour les taux d'erreurs, nous avons défini les pro-saccades incorrectes comme des saccades dirigées vers les autres positions possibles (y compris la position cible de l'anti-saccade), tandis que les anti-saccades incorrectes étaient des saccades dirigées vers la cible. Nous avons ensuite divisé le nombre d'essais incorrects par le nombre total d'essais par participant, séparément pour les pro- et les anti-saccades. Les taux d'erreurs ont été calculés uniquement après les analyses préliminaires, en prenant le temps de réaction moyen des saccades pour chaque participant, pour chaque condition (pro- et anti-saccade).

Des ANOVAs à mesures répétées ont été effectuées pour comparer les temps de réaction et les taux d'erreurs avec les deux types de saccades (pro et anti-saccades) comme facteur intrasujet et le groupe du participant comme facteur intersujet.

#### ***3.4.4. Tâche de flexibilité cognitive***

Pour cette tâche, nous avons enregistré un total de 1776 essais. Tous les participants ont été en mesure d'effectuer cette tâche et aucun essai n'a été perdu ou retiré. Les variables mesurées dans cette expérience étaient le temps de réaction et la proportion de réponses correctes et incorrectes dans les 3 différents blocs. Le premier et le deuxième bloc avaient qu'une seule règle et étaient donc composés d'essais appelés : essai unique. Les participants devaient uniquement suivre une seule règle : répondre soit en fonction des points ou en fonction de la forme. Dans le bloc 3 exclusivement, les temps de réaction et les proportions de réponses correctes et incorrectes ont été enregistrés pour les essais de répétition et de changement. Les essais répétés sont définis comme des essais où la position du stimulus passe d'une cellule gauche à une cellule droite, ou

d'une cellule droite à une cellule gauche de la grille (ce qui indique qu'il n'y a pas de changement de tâche). Dans les essais de répétition, le participant continue de répondre sur la base de la tâche de l'essai précédent (par exemple, forme>forme ou remplissage>remplissage). Les essais de changement sont définis comme des essais qui se produisent après le déplacement de la position du stimulus (forme avec des points à l'intérieur) de la rangée supérieure à la rangée inférieure, ou de la rangée inférieure à la rangée supérieure, ce qui indique un changement de tâche. Dans les essais de changement, le participant doit changer son type de réponse et donc répondre en fonction de la forme s'il répondait en fonction des points ou vis-versa (**figure 13**).

Le temps de réaction est défini par le temps de réponse des participants en appuyant sur un bouton du clavier, soustrait du temps d'apparition des stimuli à l'écran. Deux ANOVAS à mesures répétées avec le groupe comme facteur intersujet ont été utilisées pour comparer les performances et les temps de réaction entre les types d'essais (uniques, les essais de répétition et de changement).

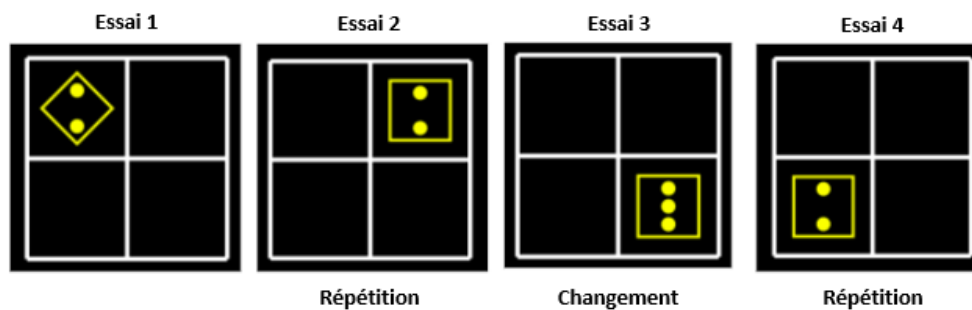


Figure 13. Démonstration des essais de répétition et de changement. Un essai de répétition reste dans une rangée donnée et conserve la même tâche que l'essai précédent. Un essai de changement se déplace d'une rangée à l'autre et change les tâches de l'essai précédent.

### 3.4.5. Tâche de présentation sérielle visuelle rapide

Pour cette tâche, nous avons enregistré un total de 23 blocs. Un seul participant n'a pas été en mesure d'effectuer cette tâche pour des raisons de temps, pour les autres participants aucun essai n'a été perdu ou retiré. Les variables analysées dans cette tâche étaient le temps de réponse moyen

des essais où le participant avait une bonne réponse, le nombre total de séquence cible manquée (moment où la séquence cible est apparue, mais le participant ne l'a pas signalé), le nombre total de fausses alarmes (moment où la séquence cible n'est pas apparue, mais le participant a indiqué qu'il a vu la séquence) et une mesure de détection du signal. La mesure de détection du signal correspond à la sensibilité d'un participant à la séquence cible, et ce indépendamment de la tendance de la réponse. Cette mesure permet d'évaluer la capacité du participant à détecter les séquences cibles, son score va de 0 (incorrect) à 1 (correct). Des tests-*t* pour échantillons appariés ont été effectués pour comparer le temps de réponse des essais réussis ainsi que la mesure de détection du signal entre les deux groupes.

#### ***3.4.6. Tâche de mémoire de travail visuo-spatiale***

Pour cette tâche, nous avons enregistré un total de 161 essais. Un seul participant n'a pas été en mesure d'effectuer cette tâche, pour les autres participants aucun essai n'a été perdu ou retiré. Les variables analysées dans cette tâche étaient : le nombre total d'erreurs (nombre total de fois où une boîte est sélectionnée alors qu'il est certain qu'elle ne contient pas de jeton et qu'elle n'aurait donc pas dû être visitée par le participant), le nombre d'erreurs entre chaque recherche (nombre de fois où le participant clique sur une boîte dans laquelle un jeton a déjà été trouvé) et le nombre d'erreurs dans une même recherche (le nombre de fois qu'un participant revient sur une boîte qui s'est déjà révélée vide au cours de la même recherche). À l'aide de test-*t* pour échantillons appariés, nous avons comparé les différents types d'erreurs entre les deux groupes (contrôle et MP).

#### ***3.4.7. Tâche du champ de vision utile***

Pour la tâche du champ de vision utile, nous avons enregistré 2208 essais, dont nous avons retiré les essais durant lesquels la position du regard des yeux était supérieure à 3° du point de fixation au centre de l'écran ou les essais dans lesquels les participants effectuaient un mouvement



oculaire durant la présentation du stimulus (253 essais, 11 % du total des essais). Nous avons effectué nos analyses statistiques sur le taux d'erreurs des participants pour l'identification de l'objet cible et le taux d'erreurs pour la localisation de l'objet cible. Ces taux d'erreurs étaient également mesurés en fonction des trois différentes excentricités auxquelles l'objet cible apparaissait (6°, 9° et 12°). Des ANOVAs à mesures répétées avec la performance au niveau de l'identification et la localisation des différentes excentricités comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet ont été effectuées.

#### ***3.4.8. Tâche Trail making B***

Pour cette tâche, nous avons enregistré un total de 46 essais. Un seul participant n'a pas été en mesure d'effectuer cette tâche pour des raisons de temps, pour les autres participants aucun essai n'a été perdu ou retiré. La variable analysée dans cette tâche était le temps de complétion des participants pour chaque essai. Une ANOVA à mesures répétées a été utilisée pour comparer le temps de complétion des deux essais avec le groupe (contrôle et MP) comme facteur intersujet.

#### ***3.4.9. Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir***

Pour cette tâche, nous avons enregistré un total de 1408 essais. Deux participants n'ont pas complété cette tâche pour des raisons de temps, pour les autres participants aucun essai n'a été perdu ou retiré. Les variables analysées dans cette tâche étaient : le nombre de mouvements moyens nécessaires pour compléter un essai, le temps de réaction moyen du premier mouvement pour chaque essai et le temps de complétion total moyen d'un essai. Ces trois variables étaient évaluées dans les deux conditions de la tâche: mouvements normaux et mouvements inversés. Nous avons effectué 3 ANOVAs à mesures répétées avec 1) le nombre total de mouvements, 2) le temps de complétion total moyen et 3) le temps de réaction des différents types d'essais comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet. Finalement nous avons effectué un test-*t* pour

échantillons appariés pour comparer le taux d'erreurs entre le groupe contrôle et le groupe avec la MP.

#### ***3.4.10. Corrélations entre les tâches visuo-perceptives et cognitives***

Des corrélations de Pearson ont été faites entre les différentes mesures des tâches visuo-perceptives et cognitives pour les deux groupes. Ces corrélations de Pearson ont été faites de façon séparée pour chacun des groupes.

## 4. Résultats

### 4.1. Participants

Les résultats de cette étude sont basés sur les données des participants collectées entre l'automne 2022 et l'été 2023. Au total nous avons collecté les données de 24 participants, cependant certains participants n'ont pas été en mesure de compléter toutes les tâches. De plus, certains essais ont été retirés en fonction des critères de sélection spécifiques de chaque tâche, ces critères ont été abordés de façon détaillée dans la section analyses des données. Nous avons comparé les scores de performance au test MoCA entre le groupe avec la MP et le groupe contrôle. Un test-t a révélé une différence significative entre la performance des deux groupes,  $t(22) = -3.735, p = 0.001, d = 1.55$ . En effet, le groupe avec la MP avait un score plus élevé ( $M = 28.8, SD = 1.23$ ) que le groupe contrôle ( $M = 26.64, SD = 1.50$ ).

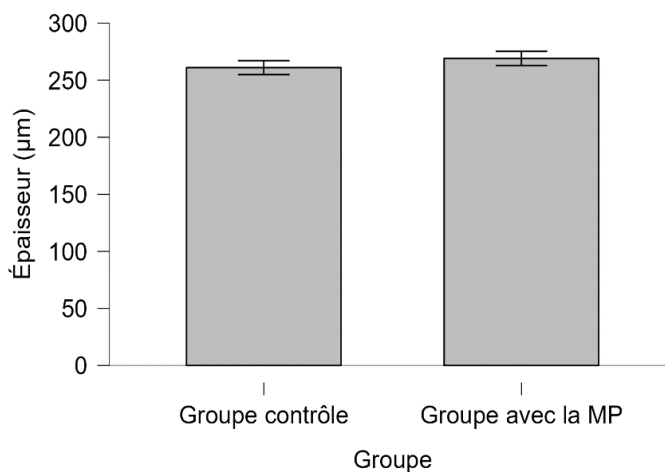
Pour nos analyses, nous avons tout d'abord effectué des comparaisons entre le groupe contrôle et le groupe avec la MP aux différentes tâches visuo-perceptives et cognitives. Cela nous a permis d'avoir une vue d'ensemble des performances aux différentes tâches. Nous avons ensuite effectué des analyses des corrélations de façon séparée pour chaque groupe, ce qui nous a permis d'explorer les relations possibles entre les tâches visuo-perceptives et cognitives.

### 4.2. Comparaison des résultats aux tâches visuo-perceptives et cognitives entre le groupe contrôle et avec la MP

#### 4.2.1. Tomographie par cohérence optique

Tel que mentionné précédemment, plusieurs études ont observé un amincissement au niveau de la rétine dans la MP (Armstrong., 2017 ; Ahn et al., 2018 ; Hajee et al., 2009). Nous avons donc comparé l'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula pour chacun des yeux des participants entre le groupe avec la MP et le groupe contrôle (**figure 14 et 15**). Des tests-t ont

révélé qu'il n'y avait aucune différence significative entre les deux groupes pour l'épaisseur moyenne centrale au niveau de l'œil droit,  $t(17) = -0.872$ ,  $p = 0.395$ , ainsi que de l'œil gauche,  $t(16) = -0.385$ ,  $p = 0.705$ . L'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula pour le groupe avec la MP de l'œil droit était de :  $M = 269.14 \mu\text{m}$ ,  $SD = 16.49 \mu\text{m}$ , et pour l'œil gauche :  $M = 266.67 \mu\text{m}$ ,  $SD = 16.27 \mu\text{m}$ , pour le groupe contrôle l'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula était pour l'œil droit de :  $M = 261 \mu\text{m}$ ,  $SD = 21.16 \mu\text{m}$  et pour l'œil gauche :  $M = 263.08 \mu\text{m}$ ,  $SD = 19.60 \mu\text{m}$ . Ces résultats démontrent que l'épaisseur moyenne rétinienne au niveau de la macula ne différait pas pour les deux groupes.



*Figure 14. Épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula de l'œil droit.*  
L'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula a été mesurée pour le groupe avec la MP (droit) ainsi qu'avec le groupe contrôle (gauche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

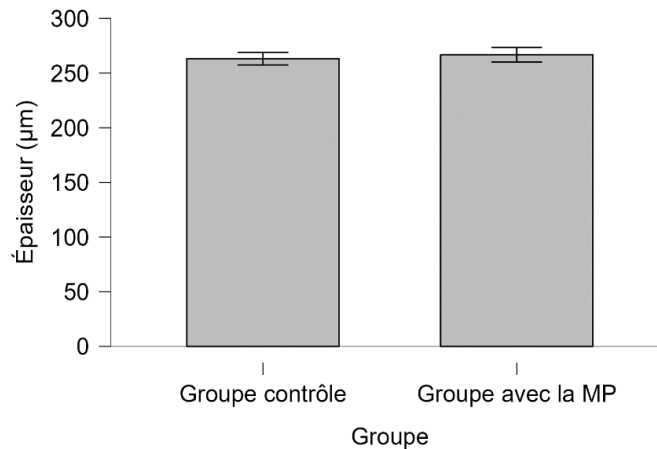


Figure 15. Épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula de l'œil gauche. L'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula a été mesurée pour le groupe avec la MP (droit) ainsi qu'avec le groupe contrôle (gauche). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

#### 4.2.2. Tâche de seuil de contraste

Nous avons ensuite comparé les scores moyens de seuils de contraste entre les deux groupes (figure 16). Un test-t a été effectué pour comparer ces seuils et n'a révélé aucune différence significative entre les deux groupes,  $t(21) = 1.895$ ,  $p = 0.072$ . Le seuil de contraste moyen pour le groupe avec la MP était de :  $M = 9.01\%$ ,  $SD = 4.56\%$  et pour le groupe contrôle :  $M = 20.40\%$ ,  $SD = 17.52\%$ . Ainsi, les deux groupes n'avaient pas des seuils de contraste différents.

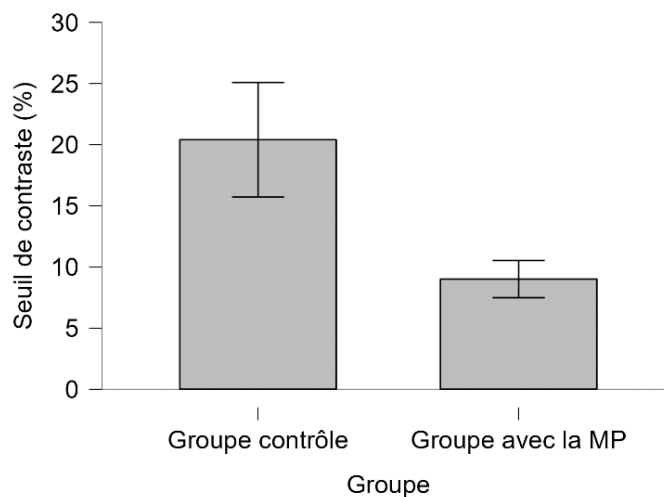


Figure 16. Seuil de contraste. Le seuil de contraste a été mesuré pour le groupe avec la MP ainsi qu'avec le groupe contrôle. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

### 4.2.3. Tâche de seuil de détection du mouvement

Nous avons ensuite comparé les scores moyens de seuils de détection du mouvement entre les deux groupes (voir **figure 17**). Un test-t a été effectué pour comparer ces seuils et n'a révélé aucune différence significative,  $t(20) = -0.747$ ,  $p = 0.464$ . Le seuil de détection du mouvement moyen pour le groupe avec la MP était de :  $M = 238.55$  ms,  $SD = 178.60$  ms et pour le groupe contrôle :  $M = 192.69$  ms,  $SD = 111.25$  ms. Pour nos deux groupes, l'erreur standard de la moyenne est assez élevée, nous expliquons ce résultat par le fait que nous n'ayons pas une grosse taille d'échantillon et que nos participants performaient soit très bien ou très mal à la tâche. Cette grande variabilité de résultats peut arriver avec des populations cliniques comme dans la MP où les atteintes varient beaucoup d'une personne à l'autre. En d'autres mots, le seuil de détection du mouvement ne variait pas en fonction des groupes.

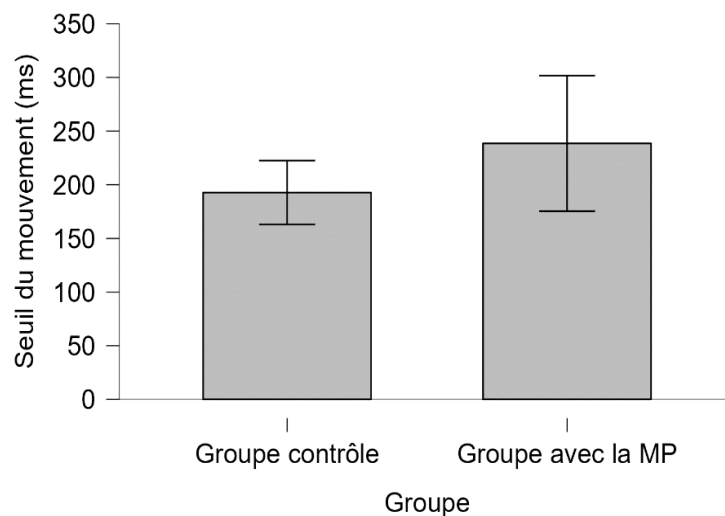


Figure 17. *Seuil de détection du mouvement.* Le seuil de détection du mouvement a été mesuré pour le groupe avec la MP ainsi qu'avec le groupe contrôle. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

#### 4.2.4. Tâche de pro/anti-saccades intercalées

Pour cette tâche, nous avons comparé les taux d'erreurs ainsi que les temps de réaction des pro- et des anti-saccades entre les deux groupes (**figure 18 et 19**). Pour les taux d'erreurs, nous avons effectué une ANOVA à mesure répétée avec le type de saccade (pro-saccades vs. anti-saccades) comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet. Nous avons observé que les taux d'erreurs des pro-saccades ( $M = 3.39\%$ ,  $SD = 5.94\%$ ) étaient significativement plus faibles que ceux des anti-saccades ( $M = 16.55\%$ ,  $SD = 12.83\%$ ),  $F(1, 22) = 16.203$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.42$ . Ce résultat réplique des résultats précédemment rapportés (Munoz et al., 1998) et est donc valable.

Nous avons également observé une différence statistiquement significative entre le groupe avec la MP et le groupe contrôle au niveau des taux d'erreurs,  $F(1, 22) = 8,389$ ,  $p = 0.008$ ,  $\eta_p^2 = 0.28$ . Plus spécifiquement, le taux d'erreur dans le groupe avec la MP pour les pro-saccades était de  $3.03\%$ ,  $SD = 3.36\%$  et pour les anti-saccades de  $9.23\%$ ,  $SD = 7.54\%$ . Pour le groupe contrôle, le taux d'erreur pour les pro-saccades était de  $3.65\%$ ,  $SD = 7.38\%$  et pour les anti-saccades de  $21.79\%$ ,  $SD = 13.45\%$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le type de saccades et le groupe pour les taux d'erreurs,  $F(1, 22) = 3.899$ ,  $p = 0.061$ , mais nous observons tout de même une tendance.

Au niveau des temps de réaction, nous avons également fait une ANOVA à mesure répétée avec le type de saccade (pro-saccades vs. anti-saccades) comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet. L'analyse a révélé que les temps de réaction des pro-saccades ( $M = 208.99$  ms,  $SD = 58.25$  ms) étaient significativement plus courts que les temps de réaction des anti-saccades ( $M = 300.61$  ms,  $SD = 56.66$  ms),  $F(1, 22) = 158.194$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.88$ . Nous avons également remarqué des anti-saccades et pro-saccades légèrement plus longues pour les saccades correctes dans le groupe avec la MP ( $M_{pro} = 229.99$  ms,  $SD = 83.61$  ms,  $M_{anti} = 319.72$  ms,  $SD =$

73.95 ms) que dans le groupe contrôle ( $M_{pro} = 193.99$  ms,  $SD = 24.12$  ms,  $M_{anti} = 286.97$  ms,  $SD = 37.58$  ms), toutefois ce n'était pas significativement différent,  $F(1, 22) = 2.436$ ,  $p = 0.133$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le type de saccades et le groupe pour les temps de réaction,  $F(1, 22) = 0.050$ ,  $p = 0.825$ .

Ces résultats démontrent que pour les deux groupes le taux d'erreurs et le temps de réaction étaient plus courts pour les pro-saccades que pour les anti-saccades et que le groupe avec la MP faisait moins d'erreurs aux anti-saccades que le groupe contrôle.

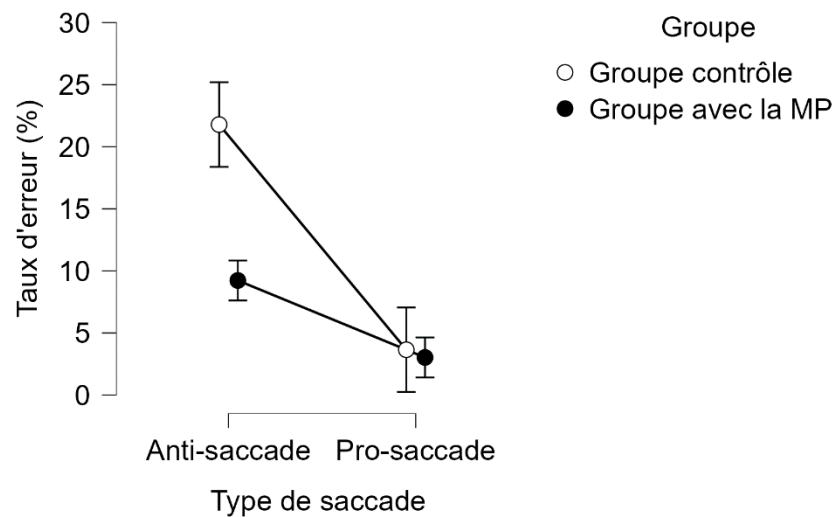


Figure 18. Taux d'erreur à la tâche de pro/anti-saccades intercalées. Les taux d'erreurs ont été mesurés pour les essais pro et anti-saccade de façon séparés. Les points blancs représentent les taux d'erreurs du groupe contrôle et les points noirs, les taux d'erreurs du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Les taux d'erreurs étaient plus élevés dans les anti-saccades que dans les pro-saccades pour les deux groupes. De plus, le groupe avec la MP avait un taux d'erreur significativement plus bas que le groupe contrôle uniquement pour les essais d'anti-saccades.



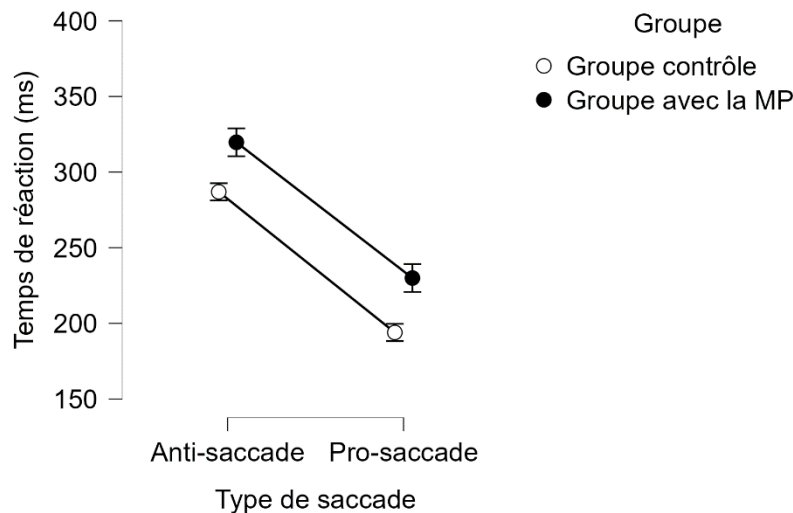


Figure 19. Temps de réaction à la tâche de pro/anti-saccades intercalées. Les temps de réaction ont été mesurés pour les essais pro et anti-saccade de façon séparé. Les points blancs représentent les taux d’erreurs du groupe contrôle et les points noirs, les taux d’erreurs du groupe avec la MP. Les barres d’erreur représentent l’erreur standard de la moyenne. Les temps de réaction étaient significativement plus bas dans les essais de pro-saccades pour les deux groupes. Le groupe avec la MP avait des temps de réaction plus longs que le groupe contrôle pour les deux conditions.

#### 4.2.5. Tâche de flexibilité cognitive

Pour cette tâche, nous avons comparé les taux d’erreurs et les temps de réaction entre les différentes conditions de la tâche (unique, répétition et changement) (**figure 20 et 21**). Pour les taux d’erreurs, une ANOVA à mesure répétée avec la condition comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a révélé une différence significative entre les performances des différentes conditions,  $F(1.23, 27.13) = 10.192, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.32$ . Une analyse post hoc avec correction de Holm a démontré que la performance de la condition unique ( $M = 95.5\%, SD = 7.89\%$ ) était significativement plus grande que pour la condition de changement ( $M = 84.29\%, SD = 17.41\%$ ),  $t = 4.365, p < .001, d = 0.26$ . De plus, la performance de la condition de répétition ( $M = 92.25\%, SD = 10.93\%$ ) était également significativement plus grande que pour la condition de changement,  $t = 3.181, p = .005, d = 0.96$ . Il n’y avait aucune différence significative entre les performances de la condition unique et de la condition de répétition,  $t = 1.184, p = 0.243$ .

Le facteur de groupe n'a pas atteint le seuil significatif, montrant une absence de différence entre la MP ( $M_{unique} = 93.38\%$ ,  $SD = 4.84\%$ ;  $M_{répétition} = 89.97\%$ ,  $SD = 15.01\%$ ;  $M_{changement} = 78.79\%$ ,  $SD = 15.50\%$ ) et le groupe contrôle ( $M_{unique} = 96.73\%$ ,  $SD = 3.67\%$ ;  $M_{répétition} = 93.88\%$ ,  $SD = 6.82\%$ ;  $M_{changement} = 88.22\%$ ,  $SD = 16.01\%$ ) sur l'ensemble des performances aux différentes conditions,  $F(1, 22) = 2.019$ ,  $p = 0.169$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le type de condition et le groupe pour les performances aux différentes conditions,  $F(1.23, 27.13) = 0.808$ ,  $p = 0.401$ .

Pour les temps de réaction, une ANOVA à mesure répétée avec la condition comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a révélé une différence significative entre les temps de réaction des différentes conditions,  $F(1.48, 32.55) = 25.707$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.54$ . Une analyse post hoc avec correction de holm a démontré des temps de réaction plus courts pour la condition unique ( $M = 1.31$  s,  $SD = 0.54$  s) que pour celle de changement ( $M = 1.88$  s,  $SD = 0.65$  s),  $t = -6.91$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.04$  et des temps de réaction plus courts pour la condition de répétition ( $M = 1.45$  s,  $SD = 0.51$  s) que pour celle de changement,  $t = -5.11$ ,  $p < .001$ ,  $d = 0.77$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative entre le temps de réaction de la condition unique et de la condition de répétition,  $t = -1.8$ ,  $p = 0.079$ . De plus, nous avons observé une tendance au niveau du temps de réaction; il était plus court dans l'ensemble des conditions du groupe avec la MP ( $M_{unique} = 1.07$  s,  $SD = 0.28$  s;  $M_{répétition} = 1.25$  s,  $SD = 0.31$  s;  $M_{changement} = 1.64$  s,  $SD = 0.36$  s) en comparaison avec le groupe contrôle ( $M_{unique} = 1.48$  s,  $SD = 0.63$  s;  $M_{répétition} = 1.59$  s,  $SD = 0.59$  s;  $M_{changement} = 2.04$  s,  $SD = 0.76$  s),  $F(1, 22) = 3.434$ ,  $p = 0.077$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le type de condition et le groupe pour les temps de réaction,  $F(1.48, 32.55) = 0.103$ ,  $p = 0.844$ .

Ces résultats démontrent que les deux groupes faisaient plus d'erreurs et prenaient plus de temps à répondre pour les conditions de répétition et de changement, mais qu'il n'y avait pas de différence significative entre les groupes pour les différentes conditions.

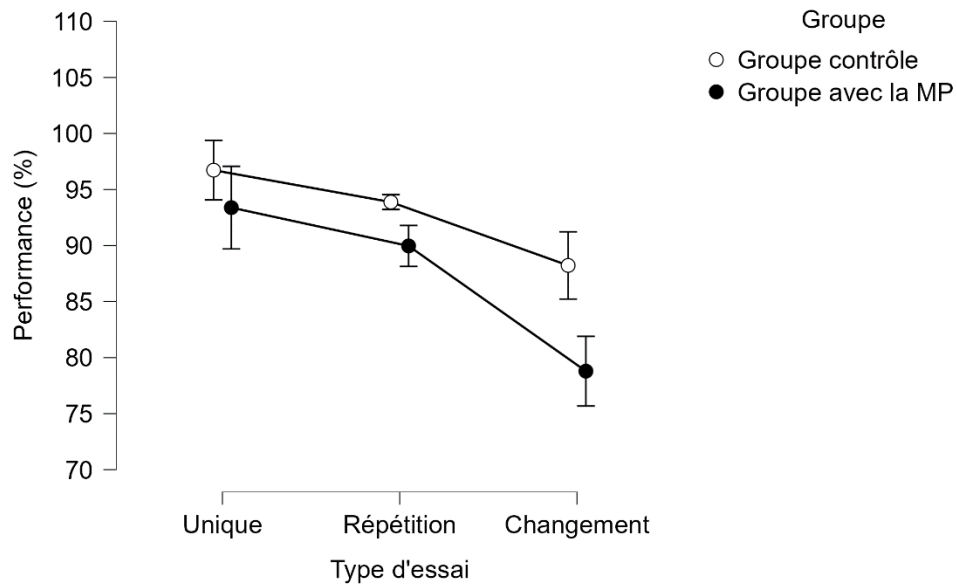


Figure 20. Performance à la tâche de flexibilité cognitive selon les différents types d'essais. Les performances ont été mesurées pour les 3 différents types d'essais de façon séparés. Les points blancs représentent les taux d'erreurs du groupe contrôle et les points noirs, les taux d'erreurs du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Les performances dans les conditions unique et de répétition étaient significativement plus haute que dans la condition de changement pour les deux groupes. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes pour l'ensemble des conditions.

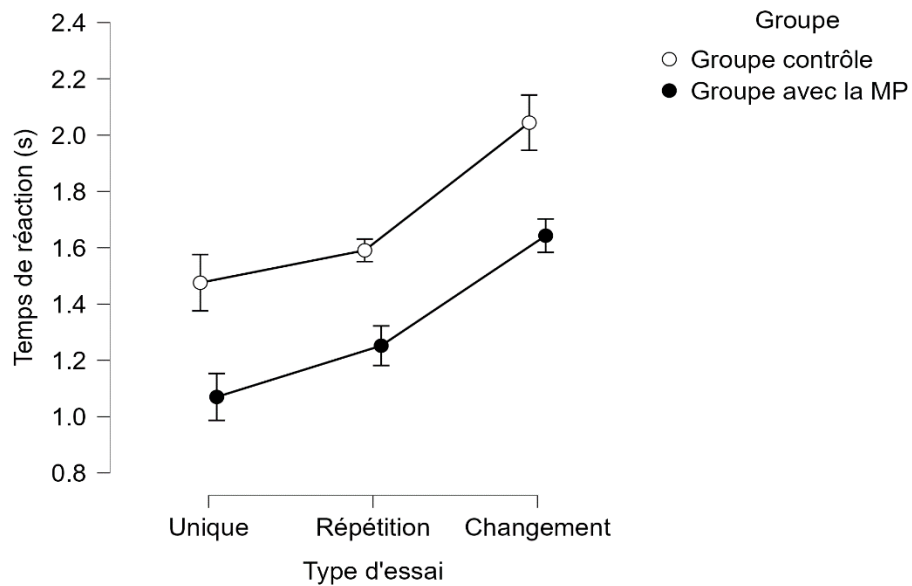


Figure 21. Temps de réaction à la tâche de flexibilité cognitive selon les différents types d'essais. Les temps de réaction ont été mesurés pour les 3 différents types d'essais de façon séparés. Les points blancs représentent les taux d'erreurs du groupe contrôle et les points noirs, les taux d'erreurs du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Les temps de réaction étaient significativement plus bas pour les conditions unique et de répétition que pour la condition de changement. Sur l'ensemble des conditions, le groupe avec la MP avait des temps de réaction significativement plus bas que le groupe contrôle.

#### 4.2.6. Tâche de présentation sérielle visuelle rapide

Nous avons comparé avec des tests-*t* pour échantillons appariés la mesure de détection du signal ainsi que les temps de réponse entre les deux groupes (voir **figure 22** et **figure 23**). Nos analyses ont montré qu'il n'existait pas de différence significative entre le groupe avec la MP ( $M = 0.993$ ,  $SD = 0.006$ ) et le groupe contrôle ( $M = 0.986$ ,  $SD = 0.02$ ) sur la mesure de détection du signal,  $t(21) = -1.086$ ,  $p = 0.290$ . Toutefois, nous avons observé que le groupe avec la MP ( $M = 446.32$  ms,  $SD = 47.29$  ms) avait des temps de réponse significativement plus longs que le groupe contrôle ( $M = 403.36$  ms,  $SD = 43.25$  ms),  $t(21) = -2.268$ ,  $p = 0.034$ ,  $d = 0.95$ .

Ces résultats démontrent que les deux groupes avaient une performance similaire à cette tâche, toutefois le groupe avec la MP prenait plus de temps que le groupe contrôle à répondre.

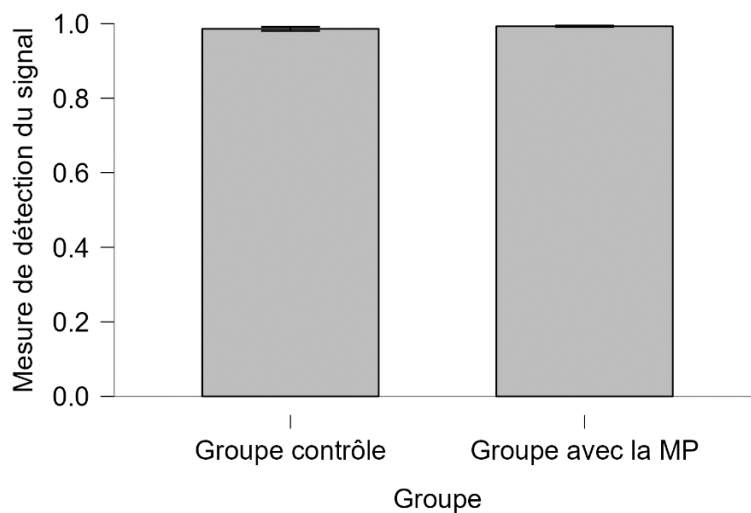


Figure 22. Mesure de détection du signal à la tâche de présentation sérielle visuelle rapide. Les scores de détection du signal ont été mesurés pour les deux groupes de façon séparée. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

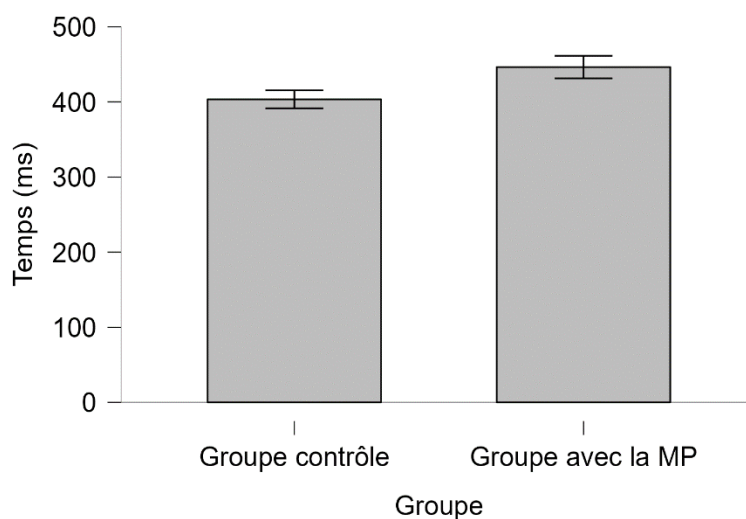


Figure 23. Temps de réponse moyen à la tâche de présentation sérielle visuelle rapide. Les temps de réponse ont été mesurés pour les deux groupes de façon séparée. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Le temps de réponse pour le groupe avec la MP était significativement plus long que pour le groupe contrôle.

#### 4.2.7. Tâche de mémoire de travail spatiale

Pour cette tâche nous avons comparé les deux types d'erreurs faites par les participants durant la tâche (voir **figure 24**) : soit le nombre d'erreurs entre les recherches et le nombre d'erreurs

dans une même recherche. Ces deux types d'erreurs reflètent les capacités au niveau de la mémoire de travail. Une ANOVA à mesure répétée avec le type d'erreurs comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré un nombre significativement plus élevé d'erreurs entre les recherches ( $M = 12.35, SD = 8.47$ ) que d'erreurs dans une même recherche ( $M = 1.3, SD = 1.89$ ),  $F(1,21) = 40.610, p < .001, \eta_p^2 = 0.66$ . L'effet principal de groupe n'était pas significatif entre le groupe avec la MP ( $M_{entre} = 13.2, SD = 8.65, M_{même} = 2, SD = 2.40$ ) et le groupe contrôle ( $M_{entre} = 11.69, SD = 8.62, M_{même} = 0.77, SD = 1.24$ ),  $F(1,21) = 0.484, p = 0.494$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le type d'erreur,  $F(1,21) = 0.006, p = 0.937$ . Ces résultats démontrent que les deux groupes faisaient plus d'erreurs entre les recherches que dans une même recherche et qu'il n'y avait pas de différence entre les groupes pour les deux types d'erreurs.

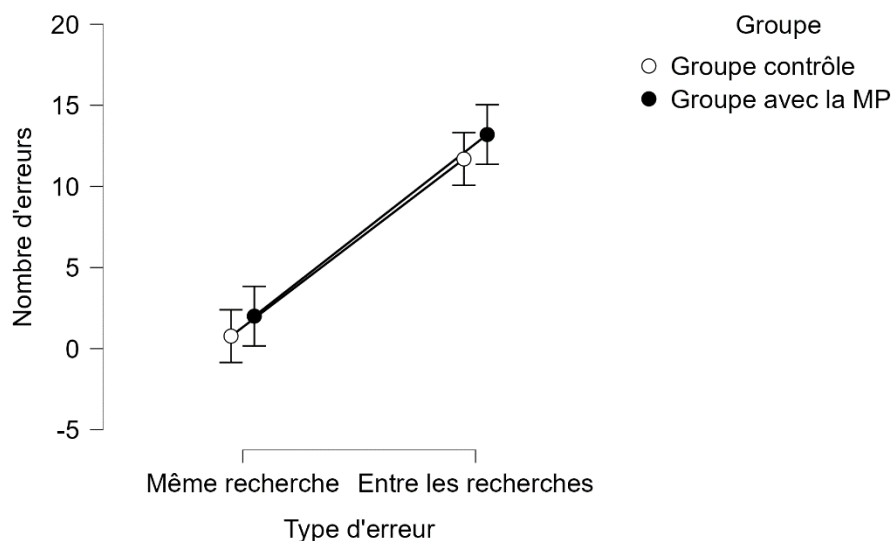


Figure 24. Nombre d'erreurs à la tâche de mémoire de travail visuo-spatial. Les erreurs ont été séparées selon leur type. Les points blancs représentent le nombre d'erreurs du groupe contrôle et les points noirs, le nombre d'erreurs du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Il y avait significativement moins d'erreurs pour les deux groupes dans une même recherche qu'entre les recherches. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes.

#### 4.2.8. Tâche du champ de vision utile

Pour cette tâche nous avons comparé les performances des participants au niveau de localisation et de l'identification de l'objet cible pour les trois excentricités de la tâche (6, 9 et 12°) (voir **figure 25** et **26**). Pour ce qui est de la performance au niveau de la localisation une ANOVA à mesure répétée avec la performance pour la localisation aux différentes excentricités comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré une différence significative au niveau des performances entre les excentricités,  $F(1,303, 27.361) = 18.967, p < .001, \eta_p^2 = 0.48$ . Des tests-*t* posthoc avec correction de Holm-Bonferroni ont révélé une meilleure performance à l'excentricité de 6°, ( $M = 38.29\%$ ,  $SD = 26.94\%$ ) que celle de 9°, ( $M = 16.56\%$ ,  $SD = 12.11\%$ ),  $t = 4.895, p < .001, d = 1.14$  et une meilleure performance à l'excentricité de 6° que celle de 12°, ( $M = 13.26\%$ ,  $SD = 15.5\%$ ),  $t = 5.685, p < .001, d = 1.33$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative entre la performance au niveau de la localisation pour l'excentricité 9° et 12°,  $t = 0.79, p = 0.434$ . De plus, l'effet principal de groupe n'était pas significatif pour la performance de localisation aux différentes excentricités entre le groupe avec la MP ( $M_{6^\circ} = 41.97\%$ ,  $SD = 28.52\%$ ;  $M_{9^\circ} = 15.58\%$ ,  $SD = 10.30\%$ ;  $M_{12^\circ} = 9.72\%$ ,  $SD = 8.22\%$ ) et le groupe contrôle ( $M_{6^\circ} = 35.45\%$ ,  $SD = 26.48\%$ ;  $M_{9^\circ} = 17.31\%$ ,  $SD = 13.71\%$ ;  $M_{12^\circ} = 15.98\%$ ,  $SD = 19.27\%$ ),  $F(1,21) = 0.006, p = 0.938$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et les performances pour la localisation  $F(1,303, 27.361) = 1.014, p = 0.344$ .

Pour ce qui est de la performance au niveau de l'identification, une ANOVA à mesure répétée avec la performance pour l'identification aux différentes excentricités comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré une différence significative au niveau des performances entre les excentricités,  $F(2,42) = 13.966, p < .001, \eta_p^2 = 0.40$ . Une analyse post hoc avec correction de Holm nous a permis d'observer une meilleure performance à l'excentricité

de 6° ( $M = 73.18 \%$ ,  $SD = 16.66 \%$ ) que celle de 9° ( $M = 61.21 \%$ ,  $SD = 15.93 \%$ ),  $t = 4.848$ ,  $p < .001$ ,  $d = 0.76$  et une meilleure performance à l'excentricité de 6° que celle de 12° ( $M = 62.81 \%$ ,  $SD = 12.68 \%$ ),  $t = 4.247$ ,  $p < .001$ ,  $d = 0.67$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative entre la performance au niveau de la localisation pour l'excentricité 9° et 12°,  $t = -0.601$ ,  $p = 0.551$ . Il n'y avait pas de différence significative pour la performance d'identification aux différentes excentricités entre le groupe avec la MP ( $M_{6^\circ} = 69.21 \%$ ,  $SD = 18.91 \%$ ;  $M_{9^\circ} = 60.03 \%$ ,  $SD = 18.01 \%$ ;  $M_{12^\circ} = 60.26 \%$ ,  $SD = 13.95 \%$ ) et le groupe contrôle ( $M_{6^\circ} = 76.23 \%$ ,  $SD = 14.74 \%$ ;  $M_{9^\circ} = 62.11 \%$ ,  $SD = 14.83 \%$ ;  $M_{12^\circ} = 64.76 \%$ ,  $SD = 11.80 \%$ ),  $F(1,21) = 0.606$ ,  $p = 0.445$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et les performances pour l'identification,  $F(2, 42) = 0.526$ ,  $p = 0.595$ .

Ces résultats indiquent que les performances des deux groupes étaient similaires, autant au niveau de la localisation que de l'identification de l'objet cible et que leurs performances diminuaient de la même façon avec une plus grande excentricité.

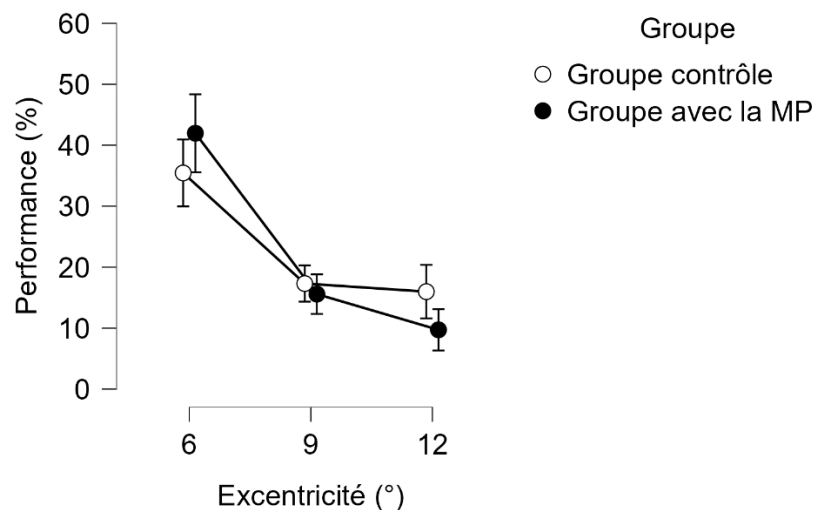


Figure 25. Performance au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile. La performance au niveau de la localisation est mesurée aux 3 différentes excentricités. Les points blancs représentent la performance du groupe contrôle et les points noirs, la performance du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. La performance était significativement plus élevée à 6° d'excentricité qu'à 9° et 12° pour les deux groupes.



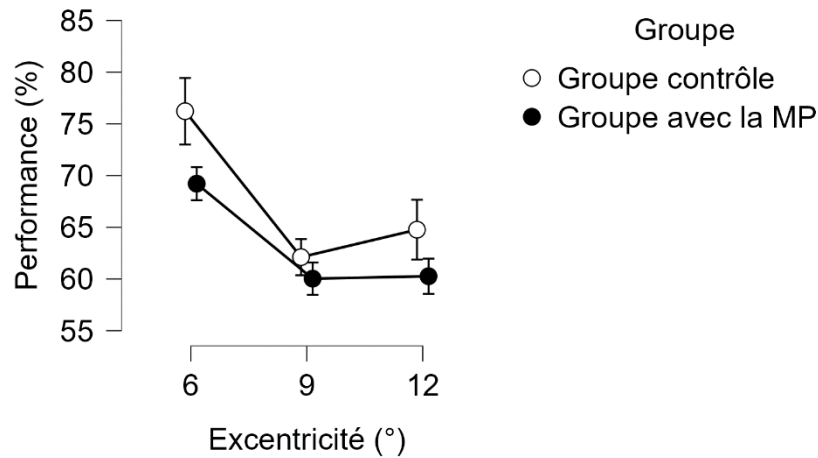


Figure 26. Performance au niveau de l'identification à la tâche du champ de vision utile. La performance au niveau de l'identification est mesurée aux 3 différentes excentricités. Les points blancs représentent la performance du groupe contrôle et les points noirs, la performance du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. La performance était significativement plus élevée à 6° d'excentricité qu'à 9° et 12° pour les deux groupes.

#### 4.2.9. Trail making B

Pour cette tâche nous avons comparé, avec une ANOVA à mesure répétée avec le temps de complétion comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intrer-sujet, le temps requis pour compléter chacun des deux essais entre les groupes (**figure 27**). Suite à nos analyses, il n'y avait aucune différence significative entre le temps requis pour compléter le premier ( $M = 70.59$  s,  $SD = 27.91$  s) et le deuxième essai ( $M = 63.09$  s,  $SD = 19.66$  s),  $F(1,21) = 2.601$ ,  $p = 0.122$ .

De plus, il n'y avait pas de différence significative dans le temps requis pour chacun des essais entre le groupe avec la MP ( $M_{tm1} = 75.49$  s,  $SD = 35.57$  s;  $M_{tm2} = 59.55$  s,  $SD = 14.12$  s) et le groupe contrôle ( $M_{tm1} = 66.83$  s,  $SD = 21.07$  s;  $M_{tm2} = 65.81$  s,  $SD = 23.24$  s),  $F(1,21) = 0.019$ ,  $p = 0.893$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et les temps requis pour compléter les essais,  $F(1,21) = 2.014$ ,  $p = 0.171$ .

Ces résultats démontrent les deux groupes prenaient le même temps pour compléter la tâche et que les deux essais nécessitaient le même temps à compléter.

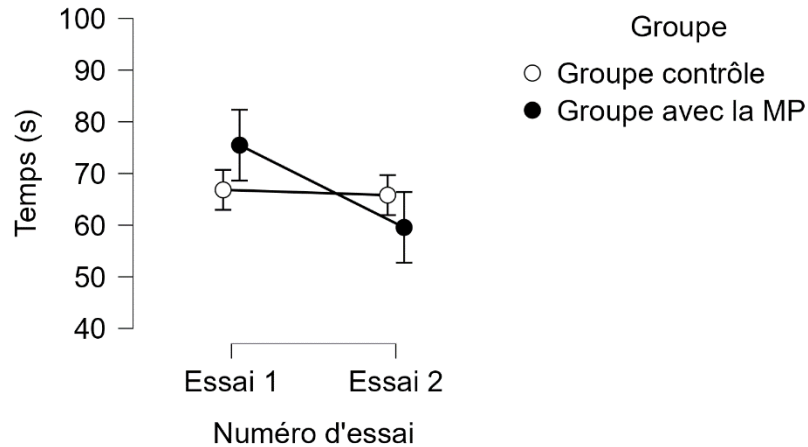


Figure 27. Temps moyen requis à la tâche de trail making B. Le temps moyen requis a été calculé de façon séparée pour chacun des deux essais. Les points blancs représentent la performance du groupe contrôle et les points noirs, la performance du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Aucune différence significative n'a été observée entre les essais et entre les 2 groupes.

#### 4.2.10. Tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir

Pour cette tâche, nous avons comparé le nombre de mouvements moyen, le temps de réaction, le temps total requis moyen ainsi que le pourcentage d'erreur des participants pour compléter les essais normaux et inversés (**figure 28, 29, 30 et 31**). Pour ce qui est du nombre de mouvements, une ANOVA à mesures répétées avec les différents types d'essais comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré un nombre de mouvements significativement plus élevé dans les essais inversés ( $M = 5.21$ ,  $SD = 2.65$ ), que dans les essais normaux ( $M = 1.91$ ,  $SD = 0.55$ ),  $F(1,20) = 37.763$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.65$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative pour le nombre total des mouvements autant dans les essais inversés que normaux entre le groupe avec la MP ( $M_{normaux} = 1.92$ ,  $SD = 0.53$ ;  $M_{inversés} = 5.32$ ,  $SD = 2.29$ ) et le groupe contrôle ( $M_{normaux} = 1.90$ ,  $SD = 0.56$ ;  $M_{inversés} = 5.13$ ,  $SD = 2.97$ ),  $F(1,20) = 0.026$ ,  $p = 0.873$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le nombre de mouvements,  $F(1,20) = 0.025$ ,  $p = 0.876$ .

Pour ce qui est du temps de réaction, une ANOVA à mesures répétées avec les différents types d'essais comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré un temps de réaction significativement plus élevé dans les essais inversés ( $M = 0.618$  s,  $SD = 0.274$  s), que dans les essais normaux ( $M = 0.332$  s,  $SD = 0.058$  s),  $F(1,20) = 20.38$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.51$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative pour le temps de réaction autant dans les essais inversés que normaux entre le groupe avec la MP ( $M_{normaux} = 0.33$  s,  $SD = 0.06$  s;  $M_{inversés} = 0.57$  s,  $SD = 0.27$  s) et le groupe contrôle ( $M_{normaux} = 0.33$  s,  $SD = 0.06$  s;  $M_{inversés} = 0.65$  s,  $SD = 0.29$  s),  $F(1,20) = 0.488$ ,  $p = 0.493$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le temps de réaction,  $F(1,20) = 0.415$ ,  $p = 0.527$

Pour ce qui est du temps requis moyen, une ANOVA à mesures répétées avec le type d'essai comme facteur intrasujet et le groupe comme facteur intersujet a démontré un temps total moyen significativement plus élevé dans les essais inversés ( $M = 2.72$  s,  $SD = 1.53$  s), que dans les essais normaux ( $M = 0.67$  s,  $SD = 0.16$  s),  $F(1,20) = 40.745$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = 0.67$ . Il n'y avait toutefois pas de différence significative pour le temps total moyen requis autant dans les essais inversés que normaux entre le groupe avec la MP ( $M_{normaux} = 0.73$  s,  $SD = 0.12$  s;  $M_{inversés} = 3.01$  s,  $SD = 1.61$  s) et le groupe contrôle ( $M_{normaux} = 0.64$  s,  $SD = 0.18$  s;  $M_{inversés} = 2.51$  s,  $SD = 1.51$  s),  $F(1,20) = 0.735$ ,  $p = 0.401$ . Finalement, il n'y avait pas d'effet d'interaction significatif entre le groupe et le temps total moyen requis,  $F(1,20) = 0.406$ ,  $p = 0.531$ .

De plus, un test- $t$  pour échantillons appariés a démontré que le groupe avec la MP avait un taux d'erreur dans les essais inversés significativement plus élevés que le groupe contrôle,  $t(20) = -2.624$ ,  $p = 0.016$ ,  $d = 1.14$ . En effet, le groupe avec la MP avait un pourcentage d'erreur de 61.11% ( $SD = 21.99\%$ ), alors que celui du groupe contrôle était de 36.54% ( $SD = 21.33\%$ ).

Ces résultats démontrent que la condition inversée de la tâche demandait plus de temps et de mouvements de curseurs que la condition normale pour les deux groupes. De plus, le groupe avec la MP avait un taux d'erreur plus élevé que le groupe contrôle.

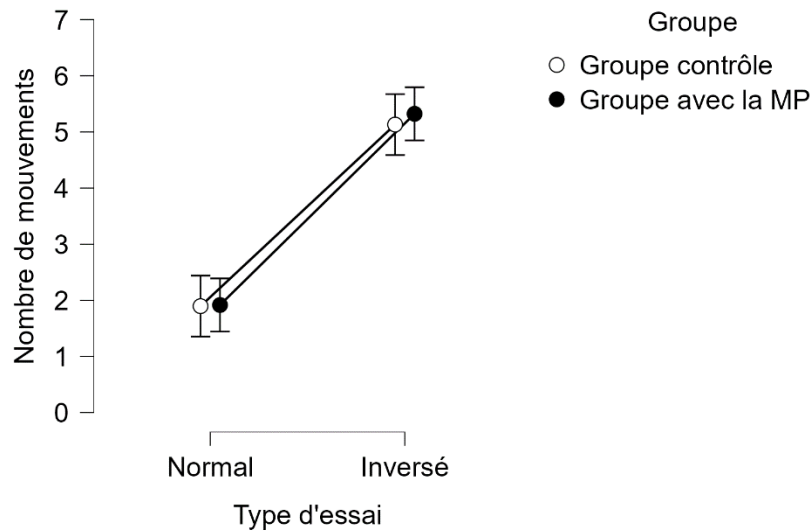


Figure 28. Nombre de mouvement moyen pour la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir. Le nombre de mouvements moyen a été calculé de façon séparée pour chaque type d'essai. Les points blancs représentent le nombre de mouvements du groupe contrôle et les points noirs, le nombre de mouvements du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Les essais normaux nécessitaient significativement moins de mouvements que les essais inversés pour les deux groupes.

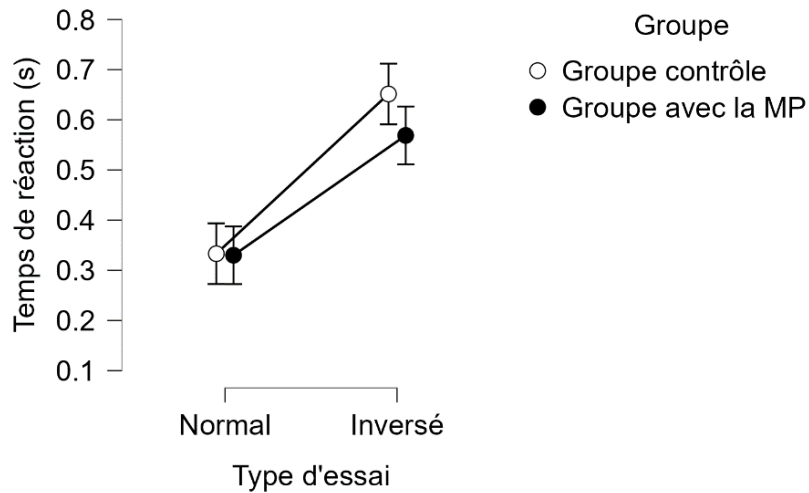


Figure 29. Temps de réaction moyen pour la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir. Le temps de réaction moyen a été calculé de façon séparée pour chaque type d'essai. Les points blancs représentent le temps de réaction du groupe contrôle et les points noirs, le temps de réaction du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Le temps de réaction était significativement plus bas dans les essais normaux que dans les essais inversés pour les deux groupes.

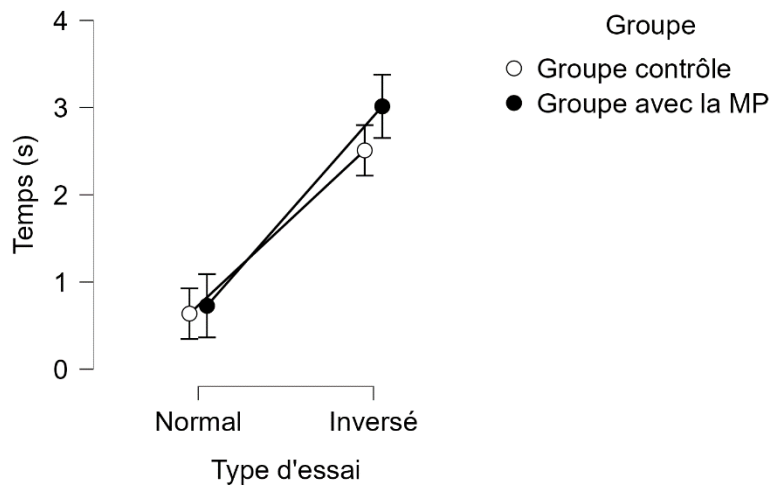


Figure 30. Temps moyen requis pour la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir. Le temps moyen requis a été calculé de façon séparée pour chaque type d'essai. Les points blancs représentent le temps moyen requis du groupe contrôle et les points noirs, le temps moyen requis du groupe avec la MP. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Le temps de complétion était significativement plus bas dans les essais normaux que dans les essais inversés pour les deux groupes.

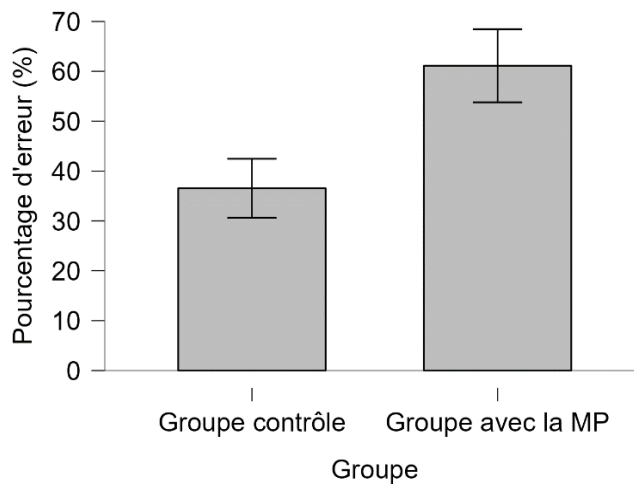


Figure 31. Pourcentage d'erreur dans les essais inversés de la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir. Le pourcentage d'erreur a été calculé de façon séparée pour chacun des deux groupes. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne. Le pourcentage d'erreur était significativement plus élevé dans le groupe avec la MP que dans le groupe contrôle.

### 4.3. Corrélation entre les tâches visuo-perceptives et cognitives

Nous avons ensuite effectué des analyses des corrélations de façon séparée pour chaque groupe, ce qui nous a permis d'explorer les relations possibles entre les tâches visuo-perceptives et cognitives.

#### 4.3.1. Analyses sur le groupe avec la MP

**4.3.1.1. Tomographie par cohérence optique.** Pour cette tâche, nous avons effectué nos analyses de corrélation à partir de l'œil gauche de tous les participants puisque les données de l'œil droit et de l'œil gauche avaient une forte corrélation positive,  $r = 0.882$ ,  $p = 0.020$ , et que cela nous permet de simplifier nos analyses. À la suite de nos analyses, aucune corrélation significative n'a été trouvée avec les tâches cognitives ( $p > .17$ ).

**4.3.1.2. Tâche de seuil de contraste.** Des analyses de corrélation ont été faites entre la tâche de seuil de contraste et les différentes tâches cognitives, mais aucune corrélation significative n'a été trouvée avec les tâches cognitives ( $p > .06$ ).

**4.3.1.3. Tâche de seuil de mouvement.** Des analyses de corrélation ont été faites entre la tâche de seuil de mouvement et les différentes tâches cognitives, de ces corrélations, une seule est sortie significative. En effet, le seuil de mouvement corrélait négativement de façon forte avec la performance moyenne au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile,  $r = -0.744$ ,  $p = 0.034$  (voir figure 32). Cela suggère donc que plus le seuil de détection du mouvement était bas et meilleure était la performance des participants à la tâche du champ de vision utile au niveau de l'aspect localisation.

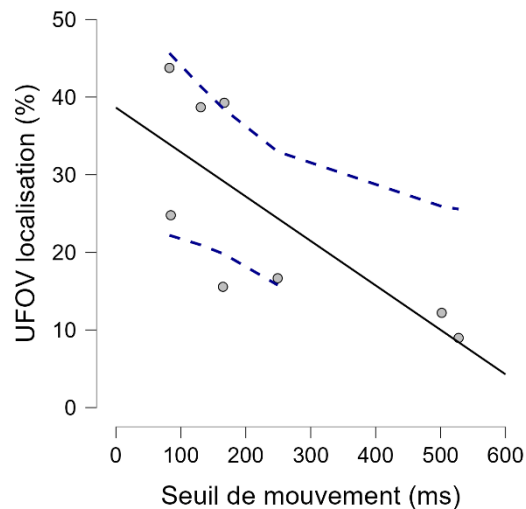


Figure 32. Corrélation entre le seuil de mouvement et la performance de localisation à la tâche du champ de vision utile pour le groupe avec la MP. L'axe des X représente le seuil de mouvement des participants et l'axe des Y représente la performance des participants à la tâche du champ de vision utile au niveau de la localisation de l'objet cible. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de mouvement corréle négativement et de façon forte avec la performance moyenne au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile.

### 4.3.2. Analyses sur le groupe contrôle

**4.3.2.1. Tomographie par cohérence optique.** Pour cette tâche, nous avons effectué nos analyses de corrélation à partir de l'œil gauche de tous les participants puisque les données de l'œil droit et de l'œil gauche avaient une forte corrélation positive,  $r = 0.930$ ,  $p < 0.001$ . Suite à nos analyses de corrélation, nous avons trouvé des corrélations négatives fortes entre l'épaisseur moyenne centrale et la performance moyenne à la tâche du champ de vision utile, autant pour la localisation ( $r = -0.722$ ,  $p = 0.012$ ) que pour l'identification ( $r = -0.725$ ,  $p = 0.012$ ), **voir les figures 33 et 34**. Ce résultat surprenant démontre que plus l'épaisseur moyenne centrale des participants était mince, meilleure était la performance des participants.

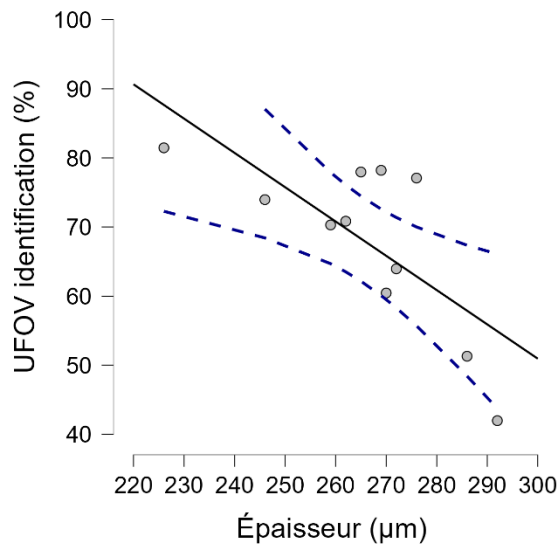


Figure 33. Corrélation entre la performance au niveau de l'identification à la tâche du champ de vision utile et l'épaisseur moyenne centrale pour le groupe contrôle. L'axe des X représente l'épaisseur moyenne centrale de la rétine au niveau de l'œil gauche des participants contrôle et l'axe des Y représente la performance à la tâche du champ de vision utile au niveau de l'identification de l'objet cible. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. L'épaisseur moyenne centrale corrèle négativement et de façon forte avec la performance au niveau de l'identification dans la tâche du champ de vision utile.



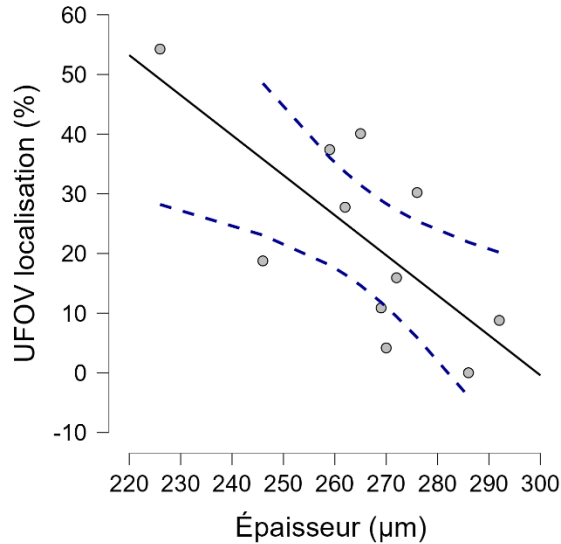


Figure 34. Corrélation entre la performance au niveau de la localisation à la tâche du champ de vision utile et l'épaisseur moyenne centrale pour le groupe contrôle. L'axe des X représente l'épaisseur moyenne centrale de la rétine au niveau de l'œil gauche des participants contrôle et l'axe des Y représente la performance à la tâche du champ de vision utile au niveau de la localisation de l'objet cible. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. L'épaisseur moyenne centrale corrèle négativement et de façon forte avec la performance au niveau de la localisation dans la tâche du champ de vision utile.

**4.3.2.2. Tâche de seuil de contraste.** Le seuil de contraste et la tâche de flexibilité cognitive pour la performance dans la phase 1 en condition répétition de la tâche corrélaient négativement et de façon modérée ( $r = -0.557$ ,  $p = 0.039$ ), voir figure 35. Nous avons également trouvé des corrélations positives fortes entre le seuil de contraste et la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir pour : le nombre de mouvements en condition inversée ( $r = 0.751$ ,  $p = 0.003$ ) et le temps total nécessaire en condition inversée ( $r = 0.729$ ,  $p = 0.005$ ), voir figure 36 et 37. Finalement nous avons trouvé une corrélation positive forte entre le seuil de contraste et la tâche de trail making B pour le temps nécessaire pour compléter le premier essai ( $r = 0.761$ ,  $p = 0.003$ ), voir figure 38 .

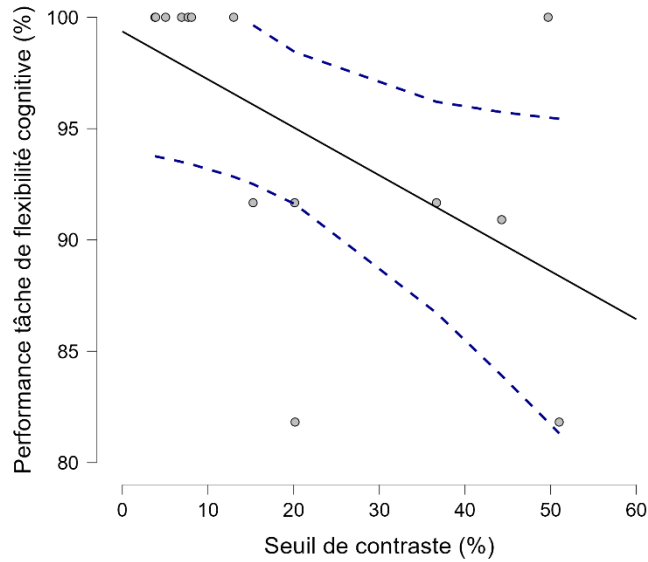


Figure 35. Corrélation entre la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 1 en condition de répétition et le seuil de contraste pour le groupe contrôle. L'axe des X représente le seuil de contraste des participants contrôle et l'axe des Y représente la performance à la tâche de flexibilité cognitive en phase 1 de répétition. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de contraste corrèle négativement et de façon modérée avec la performance à la tâche de flexibilité cognitive

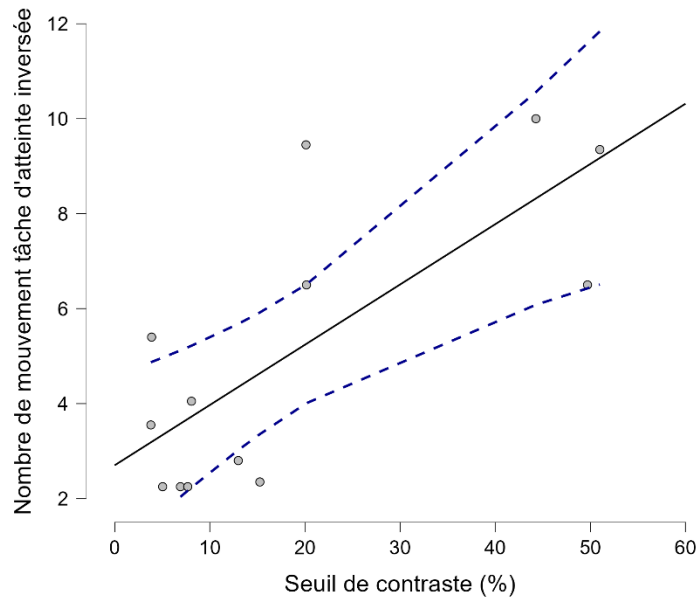


Figure 36. Corrélation entre le nombre de mouvement total en condition inversée dans la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de contraste. L'axe des X représente le seuil de contraste des participants contrôle et l'axe des Y représente le nombre de mouvement moyen à la tâche d'atteinte manuelle inversée en condition inversée. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de contraste corrèle positivement et de façon forte avec le nombre de mouvement total dans la tâche d'atteintes manuelle inversée.

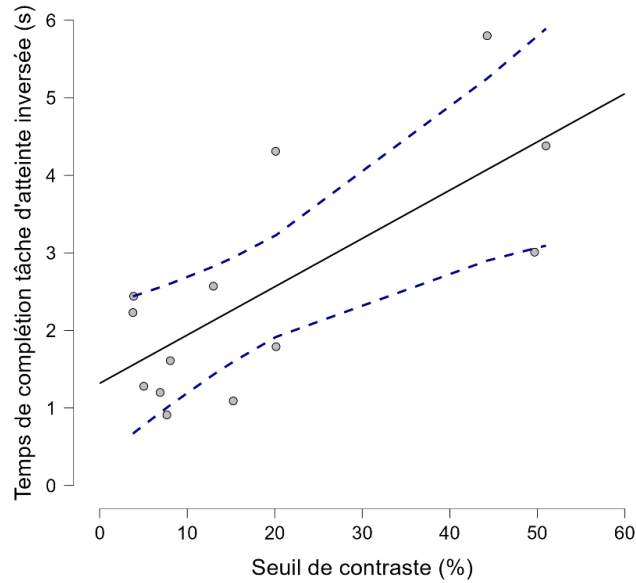


Figure 37. Corrélation entre le temps total moyen par essai en condition inversée dans la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de contraste. L'axe des X représente le seuil de contraste des participants contrôle et l'axe des Y représente le temps de complétion moyen à la tâche d'atteinte manuelle inversée en condition inversée. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de contraste corrèle positivement et de façon forte avec le temps total moyen par essai en condition inversée dans la tâche d'atteinte manuelle inversée.

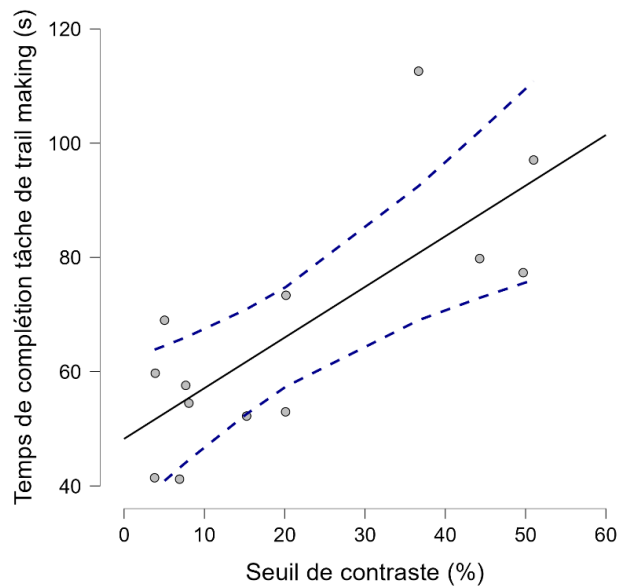
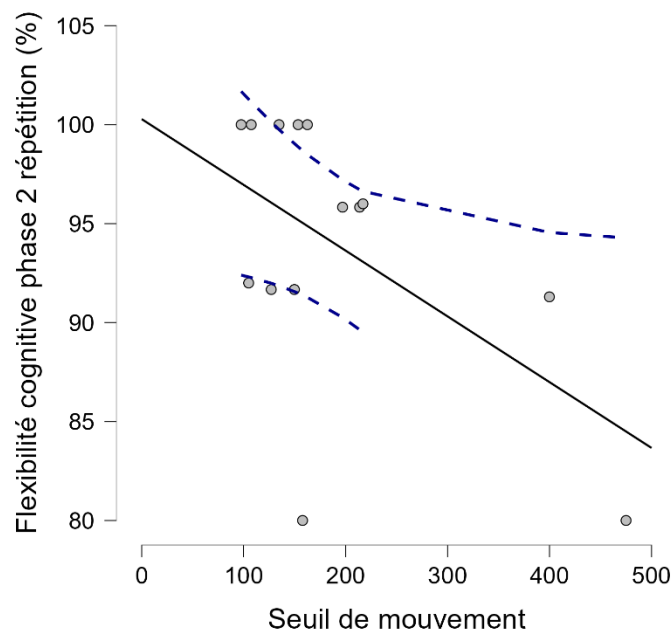


Figure 38. Corrélation entre le temps total de complétion de l'essai 1 à la tâche de trail making et le seuil de contraste. L'axe des X représente le seuil de contraste des participants contrôle et l'axe des Y représente le temps de complétion à l'essai 1 de la tâche de trail making. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de contraste corrèle positivement et de façon forte avec le temps de complétion de l'essai 1 à la tâche de trail making.

**4.3.2.3. Tâche de seuil de mouvement.** Nous avons trouvé une corrélation négative modérée entre le seuil de détection du mouvement et la tâche de flexibilité cognitive pour la performance dans la phase 2 en condition répétition de ( $r = -0.542, p = 0.045$ ), voir **figure 39**. Nous avons également observé une corrélation positive modérée entre le seuil de détection de mouvement et la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir pour le taux d'erreur ( $r = 0.601, p = 0.030$ ), voir **figure 40**. Finalement nous avons trouvé une corrélation positive modérée entre le seuil de détection du mouvement et la tâche de trail making B pour le temps nécessaire pour compléter le premier essai de la tâche ( $r = 0.657, p = 0.015$ ), voir **figure 41**.



*Figure 39. Corrélation entre la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 2 en condition de répétition et le seuil de mouvement pour le groupe contrôle. L'axe des X représente le seuil de mouvement des participants contrôle et l'axe des Y représente la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 2 en condition de répétition. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de mouvement corrèle négativement et de façon modérée avec la performance à la tâche de flexibilité cognitive dans la phase 2 en condition de répétition.*

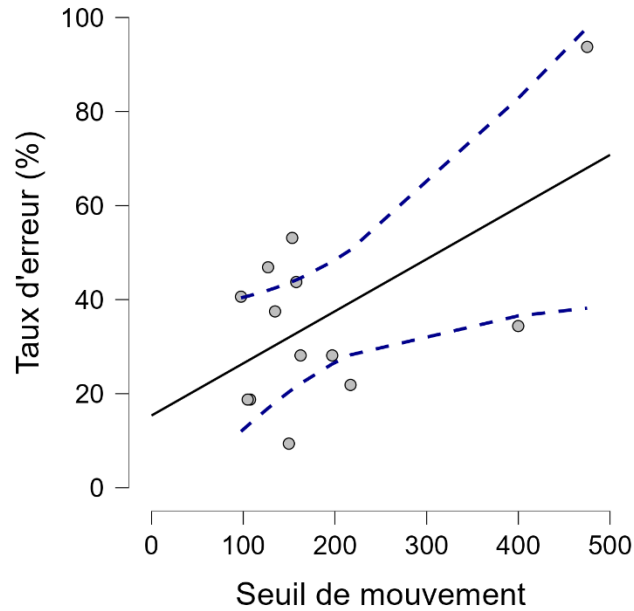


Figure 40. Corrélation entre le taux d'erreur à la tâche d'atteinte manuelle inversée et le seuil de mouvement. L'axe des X représente le seuil de mouvement des participants contrôle et l'axe des Y représente le taux d'erreur à la tâche d'atteinte manuelle inversée. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de mouvement corrèle positivement et de façon forte avec le taux d'erreur à la tâche d'atteinte manuelle inversée.

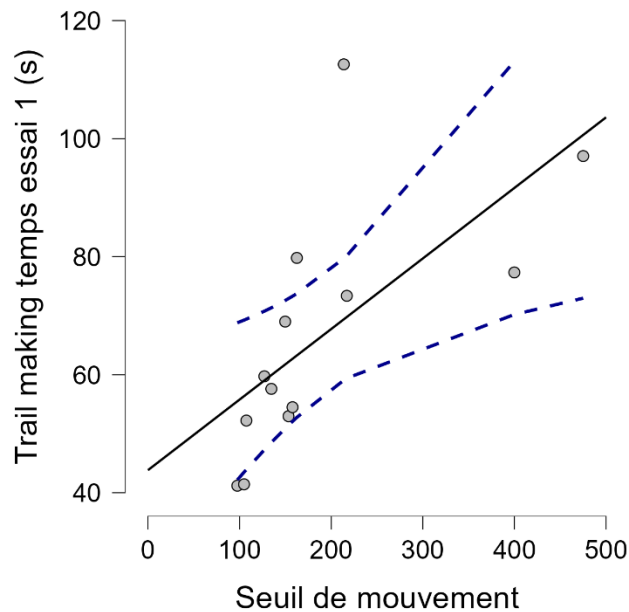


Figure 41. Corrélation entre le temps total de complétion de l'essai 1 à la tâche de trail making et le seuil de mouvement. L'axe des X représente le seuil de mouvement des participants contrôle et l'axe des Y représente le temps de complétion à l'essai 1 de la tâche de trail making. Chaque point gris représente la performance d'un participant aux deux tâches. La ligne noire représente la pente de corrélation et les lignes pointillées bleues représentent l'intervalle de confiance à 95%. Le seuil de mouvement corrèle positivement et de façon forte avec le temps de complétion à l'essai 1 de la tâche de trail making.

## **5. Discussion**

Pour conclure ce mémoire de maîtrise, nous résumerons tout d'abord les principaux résultats portant sur l'ensemble des tâches visuo-perceptives et cognitives effectués par nos deux groupes. Nous effectuerons ensuite l'interprétation de ces différents résultats ainsi que des possibles interactions pouvant exister entre les différentes fonctions visuo-perceptives et cognitives. Finalement, une synthèse globale de ce mémoire de maîtrise sera effectuée de façon à faire ressortir non seulement les limites de ce mémoire de maîtrise, mais également les directions de recherches futures dans le domaine de la MP.

### **5.1. Résumé des résultats**

Le but du présent travail était d'étudier les capacités visuo-perceptives et cognitives chez les personnes avec la MP afin de déterminer la présence et la façon dont ces symptômes non moteurs co-existent. Nous avons émis les hypothèses que les participants atteints de la MP présenteraient des déficiences visuo-perceptives et cognitives plus prononcées que celles observées chez le groupe contrôle d'adultes âgés. Par ailleurs, nous nous attendions il y allait avoir plusieurs interactions entre les déficiences cognitives et visuo-perceptives, étant donné que de nombreuses tâches cognitives reposent sur des processus visuo-perceptifs. Or, nous avons observé plusieurs résultats contradictoires avec nos hypothèses et la littérature scientifiques. En effet, sur certaines tâches cognitives, le groupe avec la MP avait une moins bonne performance que le groupe contrôle. Pour l'ensemble des tâches visuo-perceptive et une bonne partie des tâches cognitives, le groupe avec la MP avait les mêmes ou de meilleurs résultats que le groupe contrôle. Les prochaines sections détailleront tout d'abord les atteintes dans la MP, ensuite les aspects préservés dans la MP et finalement les corrélations entre les tâches visuo-perceptives et cognitives.

## 5.2. Atteintes dans la MP

Nos résultats indiquent deux principales atteintes dans la MP : au niveau du temps de réaction dans la tâche de présentation sérielle rapide et un taux d'erreurs plus élevé dans la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir.

En ce qui concerne le temps de réaction significativement plus élevé dans le groupe avec la MP dans la tâche de présentation sérielle rapide. Cette tâche permettant également d'évaluer l'attention soutenue grâce à un score de détection; nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les deux groupes sur ce score. Ces résultats montrent donc que les participants avec la MP avaient des capacités équivalentes à celles du groupe contrôle pour la tâche d'attention soutenue. Par contre, ils avaient un temps de réaction plus lent que le groupe contrôle. Des atteintes au niveau du temps de réaction correspondent à de nombreuses études ayant été faites dans la MP (p. ex. Arroyo et al., 2021; Evarts et al., 1981; Gauntlett-Gilbert & Brown., 1998; Riekkinen et al., 1998). Tel qu'expliqué dans l'étude faite par Arroyo et al., (2021), il y aurait des atteintes au niveau du temps de réaction dans la MP pouvant être expliqué non seulement par un problème moteur, mais aussi par un potentiel ralentissement du traitement de l'information. Dans le cadre de ce projet, plusieurs tâches nous permettaient de mesurer les temps de réaction des participants et c'est pourtant la seule tâche dans laquelle nous avons observé des atteintes. Les temps de réaction étaient effectivement mesurés dans la tâche de pro/anti-saccades intercalées, la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir ainsi que la tâche de flexibilité cognitive et nous n'avons remarqué aucune différence significative. Il y aurait donc potentiellement un effet propre à l'attention soutenue sur le temps de réaction dans la MP.

Pour ce qui est de la tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir, nous avons observé un taux d'erreur plus élevé dans le groupe avec la MP que dans le groupe contrôle. Il n'y avait toutefois

pas de différence significative au niveau du nombre de mouvements requis pour effectuer les essais inversés. Dans cette tâche, les essais inversés recrutent plusieurs fonctions puisque les participants doivent avoir des fonctions exécutives appropriées pour être en mesure d'organiser une séquence de mouvement. Ensuite, ils doivent avoir les capacités motrices nécessaires pour effectuer le mouvement demandé et finalement ils doivent être en mesure de convertir et d'ajuster leur mouvement en fonction des informations visuelles qu'ils ont de leur environnement (p. ex. trajectoire ou position changeante de la cible recherchée) (Gorbet et al., 2004; Granet et al., 2010). Dans cette tâche, les essais inversés complexifiaient encore plus cette dynamique puisque les mouvements étaient maintenant inversés, les informations visuelles guidant l'action étaient donc dissociées de la direction de leur action. Les résultats de cette tâche sont assez intéressants et vont dans la même direction que ce qui a été avancé dans l'étude de Inzelberg et al., (2008) qui mentionnait que les atteintes visuo-motrices dans la MP corrélaient beaucoup plus avec des atteintes au niveau exécutive et cognitive plutôt que motrice. Les résultats de cette tâche suggèrent la même chose puisque les groupes avaient la même performance au niveau du nombre de mouvements autant dans la condition inverse que dans la condition normale. C'est plutôt la capacité du groupe avec la MP d'inhiber une première action et effectuer l'inverse qui faisait défaut. Les atteintes visuo-motrices dans la MP découleraient donc plus de déficit exécutif/cognitif que d'atteinte motrice.

### **5.3. Aspects préservés dans la MP**

De nombreuses tâches cognitives et visuo-perceptives dans ce projet ont révélé qu'il n'y avait aucune atteinte ou sinon de meilleures performances dans notre groupe avec la MP en comparaison avec le groupe contrôle.



Premièrement, dans l'ensemble des tâches de visuo-perception, nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les deux groupes. Les 2 groupes présentaient des résultats similaires en lien avec l'épaisseur moyenne centrale de la rétine au niveau de la macula, et avaient des seuils de vision du contraste et de détection du mouvement similaire. Ces résultats vont à l'encontre de nos hypothèses et également de plusieurs études ayant rapporté un amincissement au niveau de la rétine dans la MP (Armstrong et al., 2017; Hajee et al., 2009), un seuil de contraste plus élevé (Haug et al., 1994; Mestre et al., 1990; Price et al., 1992; Pieri et al., 2000; Silva et al., 2005) ainsi qu'un seuil de détection du mouvement plus élevé (Armstrong., 2017; Trick et al., 1994) en comparaison à des participants contrôle sain. La MP étant une maladie neurodégénérative dans laquelle les symptômes apparaissent de façon graduelle (Poewe et al., 2017; Verbaan et al., 2007; Weil et al., 2016), il est possible que dans le cadre de ce projet les atteintes au niveau du seuil de contraste, du seuil de détection du mouvement et de la rétine ne se soient pas encore produites et/ou soient très faibles.

En ce qui a trait aux tâches cognitives, nous n'avons trouvé aucune différence significative entre les deux groupes au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale, du champ de vision utile et de la flexibilité cognitive.

Dans la mémoire de travail visuo-spatiale, nos résultats ont démontré que les deux groupes effectuaient significativement plus d'erreurs de type entre les recherches que d'erreur dans une même recherche. Ces résultats illustrent bien le fait que la mémoire de travail visuo-spatial est une capacité limitée en termes de complexité, dans laquelle plus une situation est complexe en termes de facteurs quantitatif et structurel (ne pas faire d'erreurs entre les recherches) plus le nombre d'erreurs va augmenter, en comparaison à des situations plus simples (ne pas faire d'erreurs dans une même recherche) (Kemps., 2001). À l'inverse de nos hypothèses ainsi que de la littérature, les

deux groupes ont performé de la même façon à cette tâche. En effet la MP pouvant engendrer des atteintes au niveau de la mémoire de travail visuo-spatiale (Lange et al., 1992), nous nous attendions à un plus grand nombre d'erreurs dans ce groupe.

Pour ce qui est du champ de vision utile, les deux groupes avaient une diminution de performance similaire lorsque les cibles étaient présentées à de plus grandes distances du point de fixation. Autant au niveau de l'identification que de la localisation de l'objet, plus celui-ci était présenté à une plus grande excentricité (6 ° vs 9° et 12°) et plus la performance diminuait. Ces résultats concordent avec les études de Owsley et al., (1991) et de Sekuler et al., (2000). Ces études rapportaient également qu'une réduction du champ de vision utile était un processus normal dans le vieillissement, notamment en raison de la diminution de la vitesse de traitement visuel, de la réduction de la perception et de la sensibilité accrue aux distractions. Toutefois, les travaux de Uc et al., (2005 et 2009) suggèrent une réduction au niveau du champ de vision utile de l'attention visuospatiale significativement plus élevée dans la MP en comparaison à une population saine appariée en âge. Nos résultats vont donc à l'encontre de nos hypothèses, puisqu'il n'y avait aucune différence entre les deux groupes.

Plusieurs tâches nous permettaient d'évaluer la flexibilité cognitive, notamment la tâche de flexibilité cognitive, la tâche de trail making B ainsi que la tâche de pro-anti-saccades intercalées. Dans la tâche de flexibilité cognitive, nous avons tout d'abord observé des différences significatives pour les deux groupes au niveau des temps de réaction et taux d'erreurs entre les différents types d'essais. Dans les essais de répétitions et de changement, aussi considérés comme plus complexes, les participants avaient un plus grand temps de réaction et moins bonne performance que dans les essais uniques. Ces résultats concordent avec la littérature et démontrent bien qu'une augmentation au niveau de la complexité de la tâche engendre une diminution de la

performance et une augmentation des temps de réaction (Witt et al., 2006). L'absence de différence entre les groupes était surprenante considérant les nombreuses études ayant souligné des atteintes au niveau de la flexibilité cognitive dans la MP (p. ex. Cools et al., 2001; Crescentini et al., 2012; Hayes et al., 1998). La flexibilité cognitive est la capacité d'ajuster ou de changer sa réponse en tenant compte des contraintes situationnelles, par exemple dans cette tâche, la contrainte était de choisir entre 2 types de réponses en fonction de la position de l'objet. Il est suggéré que dans une tâche comme celle-ci, les personnes avec la MP plus de difficulté dans des situations d'interférence ou il y a des attributs contradictoires à la fois pertinents et non pertinents dans la réalisation de leur tâche (Cools et al., 2001).

Pour la tâche de trail making B, les deux groupes prenaient le même temps total moyen pour compléter chaque essai. Ce résultat est assez surprenant considérant que cette tâche recrute plusieurs aspects de la cognition pouvant être touchés dans la MP. En effet il faut être en mesure de garder le compte mental de la séquence à suivre, alterner entre deux séquences différentes (lettre et chiffre), être en mesure de convertir de l'information visuelle en action, et ce, tout en essayant de maintenir une certaine vitesse d'exécution. C'est une tâche donc cognitivement complexe qui vient recruter notamment la flexibilité cognitive, mais également la vitesse psychomotrice et les capacités visuomotrices (Broeders et al., 2013; Gilbert et al., 2005; Inzelberg et al., 2008; Muslimovic et al., 2005, 2009).

Finalement, la tâche de pro/anti-saccades intercalées est la tâche nous ayant donné le résultat le plus surprenant. Tout d'abord, sans surprise nous avons observé des temps de réaction ainsi que des taux d'erreurs significativement plus élevés dans les essais de pro et d'anti-saccades. Ces résultats reproduisent les résultats précédemment rapportés (p. ex. Hallett, 1978 ; Munoz et al., 1998) et sont donc valables. Le résultat nous ayant surpris est en lien avec le taux d'erreurs des

essais d'anti-saccades. En effet, nous avons observé un taux d'erreur significativement plus bas pour les essais d'anti-saccades dans le groupe avec la MP que dans le groupe contrôle. Ce résultat est assez surprenant puisqu'il est reconnu que l'inhibition est un aspect atteint dans la MP (Waldthaler et al., 2021) et nous nous serions attendus à observer des taux d'erreurs plus élevés. Nous ne sommes toutefois pas la seule étude ces résultats au niveau les taux d'erreurs, Ranchet et al., (2017) ainsi que Lemos et al., (2016) ont observé aucune différence dans les taux d'erreurs sur aux anti-saccades.

Plusieurs facteurs pourraient jouer un rôle dans l'obtention de ces résultats non significatifs, notamment le stade précoce de la MP de nos participants ainsi que de fortes aptitudes cognitives dans le groupe avec la MP. En effet, nos participants avaient entre 1 et 2 sur l'échelle de Hoehn & Yahr, ce qui sont des stades potentiellement trop précoces pour observer des effets cognitifs marqués à nos tâches, ce point sera abordé en détail dans la section : limites du projet. De plus, le groupe avec la MP avait un score significativement plus élevé à la tâche du MoCA que notre groupe contrôle. La tâche de MoCA permet de détecter des troubles cognitifs légers en évaluant plusieurs sphères de la cognition tel que : la mémoire à court terme, habiletés visuospatiales, fonctions exécutives, attention, concentration, mémoire de travail, langage et orientation dans le temps et l'espace. Ce résultat indiquait non seulement qu'il n'y avait pas présence de trouble cognitif léger dans le groupe avec la MP alors que dans notre groupe contrôle nous avons 3 participants avec des scores en bas de 26. Les scores dans la norme pour ce test sont de 26 et plus pour des participants en bonne santé et sans aucun trouble cognitif (Nasreddine et al., 2005). Avec un score moyen de 28.8 à ce test, le groupe avec la MP performait bien à cette tâche. Ces aspects sont donc importants à considérer dans l'interprétation de ce résultat.

#### **5.4. Corrélations entre les tâches visuo-perceptives et cognitives**

Dans le groupe avec la MP, nous n'avons observé qu'une seule corrélation significative entre une tâche visuo-perceptive et cognitive. Nous avons observé une corrélation négative entre le seuil de mouvement et la performance au niveau de la localisation dans la tâche du champ de vision utile. Une explication ayant été avancée dans l'étude de Uc et al., (2005), mentionnait que ces corrélations pouvaient illustrer dans la MP la présence d'atteintes dans la voie dorsale du traitement visuel. C'est une voie sensible au mouvement ainsi qu'à la localisation d'objet dans le champ de vision qui est distribuée dans les réseaux occipito-pariétaux et qui relie le cortex visuel primaire au cortex moteur primaire (Goodale & Milner., 1992). Dans la MP de nombreuses atteintes ont été rapportées autant au niveau de la perception du mouvement que de processus visuospatiaux découlant d'atteintes post-rétiniennes, notamment au niveau de la voie dorsale (Trick et al., 1994; Weil et al., 2016).

Pour ce qui est du groupe contrôle, nous avons remarqué un plus grand nombre de corrélations significatives. Nous avons tout d'abord remarqué une corrélation négative entre l'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula et les performances dans la tâche du champ de vision utile au niveau de la localisation et l'identification. Cela veut donc dire que plus l'épaisseur moyenne centrale était petite, meilleure était la performance des participants dans la tâche du champ de vision utile. Une possible explication face à ces résultats serait qu'un amincissement de la rétine au niveau de la macula pourrait engendrer de petites atteintes au niveau de l'acuité visuelle (Weil et al., 2016), qui serait alors potentiellement compensée avec la vision périphérique. Il est toutefois important de noter que les valeurs d'épaisseur moyenne centrale au niveau de la macula de l'ensemble des participants étaient dans la norme pour leur tranche d'âge.

Nous avons également trouvé plusieurs corrélations négatives entre le seuil de contraste et les tâches de flexibilité cognitive, tâche d'atteinte manuelle inversée en miroir ainsi que la tâche de trail making B. Il y avait également des corrélations négatives entre le seuil de perception du mouvement et les tâches de flexibilité cognitive et d'atteinte manuelle inversée en miroir. Ces corrélations indiquaient donc que plus le seuil de contraste et de détection du mouvement des participants était bas, meilleurs ils étaient dans ces différentes tâches. Ces corrélations illustrent le fort lien pouvant exister entre les modalités perceptuelle et cognitive, les informations perceptives guident la majorité de nos décisions et nos actions (Capó-Aponte et al., 2009). Des tâches comme la perception de contraste et la perception de mouvement étant de bon indicateur de la performance visuel, ces capacités faciliteraient donc la performance à des tâches cognitive. Ces résultats correspondent à une de nos hypothèses de départ, bien qu'elle fût davantage orientée vers les personnes avec la MP, néanmoins, nous l'avons observé chez des adultes âgés en bonne santé.

## **5.5. Limites**

Ce projet de maîtrise comporte certaines limites qu'il est nécessaire de concéder : le stade de la MP des participants, la médication chez les participants avec la MP, le biais dans la sélection des participants et la petite taille d'échantillon.

### ***5.5.1. Le stade de la MP des participants***

La première limite de ce projet serait en lien avec l'avancement au niveau de la maladie de notre groupe. Dans le cadre de ce mémoire de maîtrise, nous avons recruté des participants avec la MP ayant un score sur l'échelle de Hoehn & Yahr entre 1 et 2. Nous avons donc obtenu un score moyen sur cette échelle de 1.7; ce qu'on pourrait considérer comme étant des participants en début de maladie. Pour la grande majorité des études, leurs groupes avec la MP avaient des scores moyens sur l'échelle de Hoehn & Yahr se rapprochant plus de 2.5 à 3 (p. ex. Cameron et al., 2010; Hajee

et al., 2009; Lange et al., 1992). La MP étant un trouble neurodégénératif avec un vaste éventail de symptômes moteurs et non moteurs, il existe une grande variabilité dans l'apparition et la gravité des symptômes, et ce, surtout dans les premiers stades (Hayes., 2019; Jankovic., 2008; Weil et al., 2016). Il est donc possible que les atteintes cognitives et visuo-perceptives ne soient pas aussi fréquentes dans les premiers stades de la MP, mais ils le sont davantage avec l'avancement de la maladie (Poewe et al., 2017). Il est difficile pour nous de faire ressortir un profil type de nos résultats, nous considérons qu'avec des participants à des stades plus avancés de la MP, faire ressortir ces atteintes aurait été possible.

### ***5.5.2. La médication chez les participants avec la MP***

Le traitement pharmacologique de la majorité des patients atteints de la MP incluait le levodopa (L-dopa) ou d'autres agonistes dopaminergiques. Contrairement aux symptômes moteurs qui sont clairement améliorés par la thérapie dopaminergique, l'effet de la substitution dopaminergique sur la cognition semble paradoxal. Certaines fonctions cognitives sont améliorées alors que d'autres sont inchangées et certaines sont même affectées (Macdonald & Monchi., 2011). Pour des raisons d'éthique, il était impossible de contrôler la prise de médication des participants durant l'expérimentation. Par conséquent, en ne contrôlant pas pour la prise de médication, nous ne sommes pas en mesure d'évaluer son effet sur nos résultats.

### ***5.5.3. Composante motivationnelle***

Une autre limite que nous avons observée dans ce projet est la motivation et l'engouement que portaient les participants avec la MP dans les tâches d'évaluation. En effet, plusieurs participants avec la MP nous ont verbalement communiqué l'importance qu'ils accordaient à la recherche et leur fort désir de contribuer aux recherches portant sur la MP. Nous suspectons que cette composante motivationnelle aurait également pu jouer un rôle dans les résultats. Ce n'est pas

un élément que nous avons mesuré à proprement dit, mais nous considérons tout de même pertinent de le mentionner.

#### ***5.5.4. La petite taille d'échantillon***

Finalement la dernière limite de cette étude est en lien avec notre taille d'échantillon. En effet, la taille de notre échantillon étant assez petite, la variance de nos résultats était donc assez grande. La MP étant un trouble très hétérogène au niveau des symptômes, une petite taille d'échantillon est plus facilement à risque d'être biaisé et de ne pas être représentatives des réelles atteintes dans la MP. Le recrutement de cette étude ayant débuté dans une période incertaine en raison des mesures sanitaires engendrées par la pandémie de la COVID-19, le recrutement n'a donc pas été idéal. Considérant que les tâches que nous devons faire devaient se produire dans nos locaux à l'Université de Montréal, il était beaucoup plus complexe de recruter une population étant plus à risque. C'est ce qui justifie en partie notre petite taille d'échantillon pour ce projet de maîtrise.

#### **5.6. Directions futures**

Suite à ce projet, nous considérons que trois aspects seraient pertinents d'explorer en détail : explorer la distribution de l'attention spatiale dans le champ visuel, intégrer des personnes avec la MP à des stades plus avancés et finalement de quantifier et examiner l'effet de la médication dans MP sur les déficits cognitifs et visuo-perceptifs de façon longitudinale.

Tout d'abord nous avons observé une interaction entre l'attention spatiale et la perception du mouvement, ces deux fonctions sont communes au traitement visuel de la voie dorsale, tel qu'indiqué dans la section corrélation ci. Il serait donc intéressant de se concentrer sur la distribution de l'attention spatiale dans le champ visuel, ainsi que les atteintes au niveau de la voie



visuelle dorsale (p. ex. perception du mouvement au travers du champ visuel, localisation d'objet dans le champ visuel) chez les personnes avec la MP.

De plus, il serait pertinent d'intégrer des personnes à des stades plus avancés de la MP, cela pourrait permettre non seulement d'observer de façon plus claire les atteintes présentes, mais également d'évaluer l'évolution de la MP sur ces différentes modalités visuo-perceptives et cognitives. De cette façon, cela nous donnerait une meilleure compréhension de l'effet de la dopamine sur le système visuel, mais également cela nous permettrait de dresser un meilleur profil d'évolution de la maladie au niveau visuo-perceptif. Cela pourrait également résulter en la création des plans de réadaptations plus adaptés et prenant en considération les atteintes visuo-perceptives dans la MP.

Enfin, il serait intéressant d'examiner l'effet de la médication dans MP sur les déficits visuo-perceptifs de façon longitudinale. De cette façon nous pourrions également observer l'impact de la prise de médication levodopa (L-dopa) ou d'autres agonistes dopaminergiques sur ces capacités et l'évolution des atteintes avec la prise de médication.

## **6. Conclusion**

En conclusion, le but de ce projet de maîtrise était d'évaluer les capacités visuo-perceptives et cognitives dans la maladie de parkinson et les interactions qui pouvaient exister entre ces deux modalités. Nous avons obtenu quelques évidences démontrant des atteintes au niveau de la cognition, mais aucune en lien avec la visuo-perception. De plus, nos résultats quelque peu contradictoires ne nous permettent pas d'infirmer ou confirmer la présence d'interactions entre la visuo-perception et la cognition dans la MP en stades précoces.

## Références bibliographiques

- Aarsland, D., Bronnick, K., Williams-Gray, C., Weintraub, D., Marder, K., Kulisevsky, J., ... & Emre, M. (2010). Mild cognitive impairment in Parkinson disease: a multicenter pooled analysis. *Neurology*, *75*(12), 1062-1069.
- Ahn, J., Lee, J. Y., Kim, T. W., Yoon, E. J., Oh, S., Kim, Y. K., ... & Jeon, B. (2018). Retinal thinning associates with nigral dopaminergic loss in de novo Parkinson disease. *Neurology*, *91*(11), e1003-e1012.
- Allport, A. (1989). *Visual attention*. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (p. 631–682). The MIT Press.
- Anderson, S J, Mullen, K T, Hess, R F, (1991), Human peripheral spatial resolution for achromatic and chromatic stimuli: limits imposed by optical and retinal factors. *The Journal of Physiology*, *442*. doi: 10.1113/jphysiol.1991.sp018781.
- Archibald, N. K., Clarke, M. P., Mosimann, U. P., & Burn, D. J. (2009). The retina in Parkinson's disease. *Brain*, *132*(5), 1128-1145.
- Armstrong, R. A. (2017). Visual dysfunction in Parkinson's disease. *International review of neurobiology*, *134*, 921-946.
- Arroyo, A., Periañez, J. A., Ríos-Lago, M., Lubrini, G., Andreo, J., Benito-León, J., ... & Romero, J. P. (2021). Components determining the slowness of information processing in parkinson's disease. *Brain and Behavior*, *11*(3), e02031.
- Balestrino, R., & Schapira, A. H. V. (2020). Parkinson disease. *European journal of neurology*, *27*(1), 27-42.
- Barone, P., Aarsland, D., Burn, D., Emre, M., Kulisevsky, J., & Weintraub, D. (2011). Cognitive impairment in nondemented Parkinson's disease. *Movement Disorders*, *26*(14), 2483-2495.
- Berardelli, A., Rothwell, J. C., Thompson, P. D., & Hallett, M. (2001). Pathophysiology of bradykinesia in Parkinson's disease. *Brain*, *124*(11), 2131-2146.
- Betchen, S. A., & Kaplitt, M. (2003). Future and current surgical therapies in Parkinson's disease. *Current opinion in neurology*, *16*(4), 487-493.

- Birren, J. E., Casperson, R. C., & Botwinick, J. (1950). Age changes in pupil size. *Journal of Gerontology*, 5(3), 216-221.
- Bloem, B. R. (1992). Postural instability in Parkinson's disease. *Clinical neurology and neurosurgery*, 94, 41-45.
- Bloem, B. R., Okun, M. S., & Klein, C. (2021). Parkinson's disease. *The Lancet*, 397(10291), 2284-2303.
- Bodis-Wollner, I., Marx, M. S., Mitra, S., Bobak, P., Mylin, L., & Yahr, M. (1987). Visual dysfunction in Parkinson's disease. *Brain*, 110, 1675–1698.
- Bodis-Wollner, I., Glazman, S., & Yerram, S. (2013). Fovea and foveation in Parkinson's disease. *Behavioral neuroscience*, 127(2), 139.
- Bowie, C. R., & Harvey, P. D. (2006). Administration and interpretation of the Trail Making Test. *Nature protocols*, 1(5), 2277-2281.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10, 433-436
- Broeders, M., Velseboer, D. C., de Bie, R., Speelman, J. D., Muslimovic, D., Post, B., ... & Schmand, B. (2013). Cognitive change in newly diagnosed patients with Parkinson's disease: a 5-year follow-up study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 19(6), 695-708.
- Bulens, C., Meerwaldt, J. D., & Van der Wildt, G. J. (1988). Effect of stimulus orientation on contrast sensitivity in Parkinson's disease. *Neurology*, 38, 76–81.
- Burgess, N., Bisby, J. A., Spatial memory, Encyclopædia Britannica. (2021) repéré à <https://www.britannica.com/science/spatial-memory>.
- CANTAB, C. C. (2016). Cognitive assessment software. *Cambridge Cognition: Cambridge, UK*.
- Cameron, E. L., Tai, J. C., & Carrasco, M. (2002). Covert attention affects the psychometric function of contrast sensitivity. *Vision research*, 42(8), 949-967.
- Cameron, I. G., Pari, G., Alahyane, N., Brien, D. C., Coe, B. C., Stroman, P. W., & Munoz, D. P. (2012). Impaired executive function signals in motor brain regions in Parkinson's disease. *Neuroimage*, 60(2), 1156-1170.

- Cameron, I. G., Watanabe, M., Pari, G., & Munoz, D. P. (2010). Executive impairment in Parkinson's disease: response automaticity and task switching. *Neuropsychologia*, *48*(7), 1948-1957.
- Capó-Aponte, J. E., Temme, L. A., Task, H. L., Pinkus, A. R., Kalich, M. E., Pantle, A. J., & Rash, C. E. (2009). Visual perception and cognitive performance. *Helmet-mounted displays: sensation, Perception and Cognitive Issues*, 335-390.
- Chaudhuri, K. R., Healy, D. G., & Schapira, A. H. (2006). Non-motor symptoms of Parkinson's disease: diagnosis and management. *The Lancet Neurology*, *5*(3), 235-245.
- Cools, R., Barker, R. A., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2001). Mechanisms of cognitive set flexibility in Parkinson's disease. *Brain*, *124*(12), 2503-2512.
- Cooper, J. A., Sagar, H. J., Tidswell, P., & Jordan, N. (1994). Slowed central processing in simple and go/no-go reaction time tasks in Parkinson's disease. *Brain*, *117*(3), 517-529.
- Cooper JA, Sagar HJ, Jordan N, Harvey NS, Sullivan EV. (1991). Cognitive impairment in early, untreated Parkinson's disease and its relationship to motor disability. *Brain*. *114*:2095–2122
- Crescentini, C., Mondolo, F., Biasutti, E., & Shallice, T. (2012). Preserved and impaired task-switching abilities in non-demented patients with Parkinson's disease. *Journal of Neuropsychology*, *6*(1), 94-118.
- Davidson, S., Cronin-Golomb, A., & Lee, A. (2005). Visual and spatial symptoms in Parkinson's disease. *Vision research*, *45*(10), 1285-1296.
- De Leonibus, E., Manago, F., Giordani, F., Petrosino, F., Lopez, S., Oliverio, A., ... & Mele, A. (2009). Metabotropic glutamate receptors 5 blockade reverses spatial memory deficits in a mouse model of Parkinson's disease. *Neuropsychopharmacology*, *34*(3), 729-738..
- Diederich, N. J., Raman, R., Leurgans, S., & Goetz, C. G. (2002). Progressive worsening of spatial and chromatic processing deficits in Parkinson disease. *Archives of Neurology*, *59*, 1249–1252.

- Dorsey, E. A., Constantinescu, R., Thompson, J. P., Biglan, K. M., Holloway, R. G., Kieburtz, K., ... & Tanner, C. M. (2007). Projected number of people with Parkinson disease in the most populous nations, 2005 through 2030. *Neurology*, *68*(5), 384-386.
- Dubois, B., & Pillon, B. (1996). Cognitive deficits in Parkinson's disease. *Journal of neurology*, *244*, 2-8.
- Evarts, E. V., Teräväinen, H., & Calne, D. B. (1981). Reaction time in Parkinson's disease. *Brain: a journal of neurology*, *104*(Pt 1), 167-186.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G\* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, *39*(2), 175-191.
- Gao, Y., Webster, M. A., & Jiang, F. (2019). Dynamics of contrast adaptation in central and peripheral vision. *Journal of vision*, *19*(6), 23-23.
- Gauntlett-Gilbert, J., & Brown, V. J. (1998). Reaction time deficits and Parkinson's disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *22*(6), 865-881.
- Gibb, W. R., & Lees, A. J. (1988). The relevance of the Lewy body to the pathogenesis of idiopathic Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *51*(6), 745- 752.
- Gilbert, B., Belleville, S., Bherer, L., & Chouinard, S. (2005). Study of verbal working memory in patients with Parkinson's disease. *Neuropsychology*, *19*(1), 106.
- Goldstein, E.B. (2002). *Sensation and perception* (6th edition). Pacific Grove, CA: Wadsworth.
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neurosciences*, *15*(1), 20-25.
- Gorbet, D. J., Staines, W. R., & Sergio, L. E. (2004). Brain mechanisms for preparing increasingly complex sensory to motor transformations. *Neuroimage*, *23*(3), 1100-1111.
- Gorell, J. M., Johnson, C. C., Rybicki, B. A., Peterson, E. L., & Richardson, R. J. (1998). The risk of Parkinson's disease with exposure to pesticides, farming, well water, and rural living. *Neurology*, *50*(5), 1346-1350.

- Granek, J. A., Gorbet, D. J., & Sergio, L. E. (2010). Extensive video-game experience alters cortical networks for complex visuomotor transformations. *Cortex*, *46*(9), 1165-1177.
- Graybiel, A. M. (2000). The basal ganglia. *Current biology*, *10*(14), R509-R511.
- Hajee, M. E., March, W. F., Lazzaro, D. R., Wolintz, A. H., Shrier, E. M., Glazman, S., & Bodis-Wollner, I. G. (2009). Inner retinal layer thinning in Parkinson disease. *Archives of ophthalmology*, *127*(6), 737-741.
- Hallett, P. E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision research*, *18*(10), 1279-1296.
- Haug BA, Trenkwalder C, Arden GB, Oertel WH, Paulus W. (1994). Visual thresholds to low-contrast pattern displacement, color contrast, and luminance contrast stimuli in Parkinson's disease. *Movement disorders*, *9*, 563–70.
- Hayes, A. E., Davidson, M. C., Keele, S. W., & Rafal, R. D. (1998). Toward a functional analysis of the basal ganglia. *Journal of cognitive neuroscience*, *10*(2), 178-198.
- Hayes, M. T. (2019). Parkinson's disease and parkinsonism. *The American journal of medicine*, *132*(7), 802-807.
- Hoehn, M. M. & Yahr, M. D. (1967) Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*, *17*, 427–42.
- Inzelberg, R., Schechtman, E., & Hoeherman, S. (2008). Visuo-motor coordination deficits and motor impairments in Parkinson's disease. *PLoS One*, *3*(11), e3663.
- James, W., Burkhardt, F., Bowers, F., & Skrupskelis, I. K. (1890). *The principles of psychology* (Vol. 1, No. 2). London: Macmillan.
- Jankovic, J. (2008). Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *Journal of neurology, neurosurgery & psychiatry*, *79*(4), 368-376.
- Janvin, C., Aarsland, D., Larsen, J. P., & Hugdahl, K. (2003). Neuropsychological profile of patients with Parkinson's disease without dementia. *Dementia and geriatric cognitive disorders*, *15*(3), 126-131.

- Janvin C, Larsen JP, Aarsland D, Hugdahl K (2006) Subtypes of mild cognitive impairment in Parkinson's disease: progression to dementia. *Mov Disord*, 21, 1343–1349.
- JASP Team (2023). JASP (Version 0.17.3)[Computer software].
- Jellinger, K. A. (2001). The pathology of Parkinson's disease. *Advances in neurology*, 86, 55-72.
- Kaiser, P. K. (2009). Prospective evaluation of visual acuity assessment: a comparison of snellen versus ETDRS charts in clinical practice (An AOS Thesis). *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 107, 311.
- Keener, A. M., & Bordelon, Y. M. (2016). Parkinsonism. In *Seminars in neurology* (Vol. 36, No. 04, pp. 330-334). Thieme Medical Publishers.
- Kemps, E. (2001). Complexity effects in visuo-spatial working memory: Implications for the role of long-term memory. *Memory*, 9(1), 13-27.
- Kerai, J. H., Bracewell, R. M., Hindle, J. V., & Leek, E. C. (2012). Visuospatial transformation impairments in Parkinson's disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 34(10), 1053-1064.
- Kniestedt, C., & Stamper, R. L. (2003). Visual acuity and its measurement. *Ophthalmology Clinics of North America*, 16(2), 155-70.
- Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in cognitive sciences*, 11(8), 342-348.
- Kudlicka, A., Clare, L., & Hindle, J. V. (2011). Executive functions in Parkinson's disease: Systematic review and meta-analysis. *Movement disorders*, 26(13), 2305-2315.
- Lange, K. W., Robbins, T. W., Marsden, C. D., James, M., Owen, A. M., & Paul, G. M. (1992). L-dopa withdrawal in Parkinson's disease selectively impairs cognitive performance in tests sensitive to frontal lobe dysfunction. *Psychopharmacology*, 107, 394-404.
- Le Bras, C., Pillon, B., Damier, P., & Dubois, B. (1998). At which steps of spatial working memory processing do striatofrontal circuits intervene in humans?. *Neuropsychologia*, 37(1), 83-90.
- Lemos, J., Pereira, D., Almendra, L., Rebelo, D., Patrício, M., Castelhana, J., ... & Castelo-Branco, M. (2016). Distinct functional properties of the vertical and horizontal saccadic network in



- Health and Parkinson's disease: An eye-tracking and fMRI study. *Brain Research*, 1648, 469-484.
- Lewis, S. J., Slabosz, A., Robbins, T. W., Barker, R. A., & Owen, A. M. (2005). Dopaminergic basis for deficits in working memory but not attentional set-shifting in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 43(6), 823-832.
- MacDonald, P. A., & Monchi, O. (2011). Differential effects of dopaminergic therapies on dorsal and ventral striatum in Parkinson's disease: implications for cognitive function. *Parkinson's Disease*, 2011.
- Mayr, U., & Keele, S. W. (2000). Changing internal constraints on action: the role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 4.
- Meppelink, A.M., Koerts, J., Borg, M., Leenders, K.L. and van Laar, T. (2008), Visual object recognition and attention in Parkinson's disease patients with visual hallucinations. *Mov. Disord.*, 23: 1906-1912. <https://doi.org/10.1002/mds.22270>
- Merims, D., & Freedman, M. (2008). Cognitive and behavioural impairment in Parkinson's disease. *International Review of Psychiatry*, 20(4), 364-373.
- Mestre D, Blin O, Serratrice G, Pailhous J. (1990). Spatiotemporal contrast sensitivity differs in normal aging and Parkinson's disease. *Neurology*, 40, 1710-14.
- Meyer, P. M., Strecker, K., Kendziorra, K., Becker, G., Hesse, S., Woelpl, D., ... & Schwarz, J. (2009). Reduced  $\alpha 4\beta 2^*$ -nicotinic acetylcholine receptor binding and its relationship to mild cognitive and depressive symptoms in Parkinson disease. *Archives of general psychiatry*, 66(8), 866-877.
- Miller, I. N., & Cronin-Golomb, A. (2010). Gender differences in Parkinson's disease: clinical characteristics and cognition. *Movement disorders*, 25(16), 2695-2703.
- Montreal Cognitive Assessment. (2022) About us. Repéré à <https://www.mocatest.org/>
- Munoz, D. P., Broughton, J. R., Goldring, J. E., & Armstrong, I. T. (1998). Age-related performance of human subjects on saccadic eye movement tasks. *Experimental brain research*, 121(4), 391-400.

- Muslimović, D., Post, B., Speelman, J. D., De Haan, R. J., & Schmand, B. E. N. (2009). Cognitive decline in Parkinson's disease: a prospective longitudinal study. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15(3), 426-437.
- Muslimović, D., Post, B., Speelman, J. D., & Schmand, B. (2005). Cognitive profile of patients with newly diagnosed Parkinson disease. *Neurology*, 65(8), 1239-1245.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., ... & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699.
- Noudoost, B., & Moore, T. (2011). Control of visual cortical signals by prefrontal dopamine. *Nature*, 474(7351), 372-375.
- Nussbaum, R. L., & Polymeropoulos, M. H. (1997). Genetics of Parkinson's disease. *Human Molecular Genetics*, 6(10), 1687-1691.
- Obeso, J. A., Rodriguez-Oroz, M. C., Rodriguez, M., Lanciego, J. L., Artieda, J., Gonzalo, N., & Olanow, C. W. (2000). Pathophysiology of the basal ganglia in Parkinson's disease. *Trends in neurosciences*, 23, S8-S19.
- Obeso, I., Wilkinson, L., Casabona, E., Bringas, M. L., Alvarez, M., Alvarez, L., ... & Jahanshahi, M. (2011). Deficits in inhibitory control and conflict resolution on cognitive and motor tasks in Parkinson's disease. *Experimental brain research*, 212, 371-384.
- Olanow, C. W., & Brundin, P. (2013). Parkinson's Disease and Alpha Synuclein: Is Parkinson's Disease a Prion-Like Disorder?. *Movement Disorders*, 28(1), 31-40.
- Ouerfelli-Ethier, J., Elsaïed, B., Desgroseilliers, J., Munoz, D. P., Blohm, G., & Khan, A. Z. (2018). Anti-saccades predict cognitive functions in older adults and patients with Parkinson's disease. *PLoS One*, 13(11), e0207589.
- Owen, A. M., Iddon, J. L., Hodges, J. R., Summers, B. A., & Robbins, T. W. (1997). Spatial and non-spatial working memory at different stages of Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 35(4), 519-532.

- Owsley, C., Ball, K., Sloane, M. E., Roenker, D. L., & Bruni, J. R. (1991). Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychology and aging*, 6(3), 403.
- Pagano, G., Ferrara, N., Brooks, D. J., & Pavese, N. (2016). Age at onset and Parkinson disease phenotype. *Neurology*, 86(15), 1400-1407.
- Pfeiffer, R. F., Bodis-Wollner, I., & Pfeiffer, R. (Eds.). (2005). *Parkinson's disease and nonmotor dysfunction*. Totowa, NJ: Humana Press.
- Peirce, J., Hirst, R., & MacAskill, M. (2022). *Building experiments in PsychoPy*. Sage.
- Pieri, V., Diederich, N. J., Raman, R., & Goetz, C. G. (2000). Decreased color discrimination and contrast sensitivity in Parkinson's disease. *Journal of the neurological sciences*, 172(1), 7-11.
- Poewe, W., Seppi, K., Tanner, C. M., Halliday, G. M., Brundin, P., Volkman, J., ... & Lang, A. E. (2017). Parkinson disease. *Nature reviews Disease primers*, 3(1), 1-21.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Price, M. J., Feldman, R. G., Adelberg, D., & Kayne, H. (1992). Abnormalities in color vision and contrast sensitivity in Parkinson's disease. *Neurology*, 42(4), 887-887.
- Przedborski, S. (2017). The two-century journey of Parkinson disease research. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 251-259.
- Ranchet, M., Orlosky, J., Morgan, J., Qadir, S., Akinwuntan, A. E., & Devos, H. (2017). Pupillary response to cognitive workload during saccadic tasks in Parkinson's disease. *Behavioural brain research*, 327, 162-166.
- Riekkinen, M., Kejonen, K., Jäkälä, P., Soininen, H., & Riekkinen, P. (1998). Reduction of noradrenaline impairs attention and dopamine depletion slows responses in Parkinson's disease. *European Journal of Neuroscience*, 10(4), 1429-1435.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of experimental psychology: General*, 124(2), 207.

- Satake, W., Nakabayashi, Y., Mizuta, I., Hirota, Y., Ito, C., Kubo, M., ... & Tomiyama, H. (2009). Genome-wide association study identifies common variants at four loci as genetic risk factors for Parkinson's disease. *Nature genetics*, 41(12), 1303-1307.
- Schrag, A., Hovris, A., Morley, D., Quinn, N., & Jahanshahi, M. (2006). Caregiver-burden in Parkinson's disease is closely associated with psychiatric symptoms, falls, and disability. *Parkinsonism & related disorders*, 12(1), 35-41.
- Sekuler, B. A., Bennett, P. J., Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Experimental aging research*, 26(2), 103-120.
- Silva, M. F., Faria, P., Regateiro, F. S., Forjaz, V., Januário, C., Freire, A., & Castelo-Branco, M. (2005). Independent patterns of damage within magno-, parvo-and koniocellular pathways in Parkinson's disease. *Brain*, 128(10), 2260-2271.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657-1661.
- Smith, Y., Bevan, M. D., Shink, E., & Bolam, J. P. (1998). Microcircuitry of the direct and indirect pathways of the basal ganglia. *Neuroscience*, 86(2), 353-387.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. American chemical society.
- Trick, G. L., Kaskie, B., & Steinman, S. B. (1994). Visual impairment in Parkinson's disease: deficits in orientation and motion discrimination. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 71(4), 242-245.
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Johnson, A. M., Dastrup, E., Anderson, S. W., & Dawson, J. D. (2009). Road safety in drivers with Parkinson disease. *Neurology*, 73(24), 2112-2119.
- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Qian, S., Rodnitzky, R. L., & Dawson, J. D. (2005). Visual dysfunction in Parkinson disease without dementia. *Neurology*, 65(12), 1907-1913.
- Van Hilten, J. J., Braat, E. A. M., Van der Velde, E. A., Middelkoop, H. A. M., Van Dijk, J. G., Ligthart, G. J., & Roos, R. A. C. (1995). Hypokinesia in Parkinson's disease: influence of age, disease severity, and disease duration. *Movement disorders*, 10(4), 424-432.

- Verbaan, D., Marinus, J., Visser, M., van Rooden, S. M., Stiggelbout, A. M., Middelkoop, H. A., & van Hilten, J. J. (2007). Cognitive impairment in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *78*(11), 1182-1187.
- Waldthaler, J., Stock, L., Student, J., Sommerkorn, J., Dowiasch, S., & Timmermann, L. (2021). Antisaccades in Parkinson's disease: a meta-analysis. *Neuropsychology Review*, *31*, 628-642.
- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & psychophysics*, *33*(2), 113-120.
- Watson, G. S., & Leverenz, J. B. (2010). Profile of cognitive impairment in Parkinson's disease. *Brain Pathology*, *20*(3), 640-645.
- Weil, R. S., Schrag, A. E., Warren, J. D., Crutch, S. J., Lees, A. J., & Morris, H. R. (2016). Visual dysfunction in Parkinson's disease. *Brain*, *139*(11), 2827-2843.
- Weintraub, D., Moberg, P. J., Duda, J. E., Katz, I. R., & Stern, M. B. (2004). Effect of psychiatric and other nonmotor symptoms on disability in Parkinson's disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *52*(5), 784-788.
- Witt, K., Daniels, C., Schmitt-Eliassen, J., Kernbichler, J., Rehm, S., Volkman, J., & Deuschl, G. (2006). The impact of normal aging and Parkinson's disease on response preparation in task-switching behavior. *Brain research*, *1114*(1), 173-182.
- Woodward, T. S., Bub, D. N., & Hunter, M. A. (2002). Task switching deficits associated with Parkinson's disease reflect depleted attentional resources. *Neuropsychologia*, *40*(12), 1948-1955.