

THESE DE DOCTORAT

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 603

Education, Cognition, Langages, Interactions, Santé

Spécialité : « *Psychologie* »

Par

Canelle GARNIER

« Imagerie mentale et mémoire prospective dans la sclérose en plaques récurrente-rémittente »

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 29/11/2024

Unité de recherche : Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL – UR 4638)

Rapporteurs avant soutenance :

Gaën Plancher	Maître de Conférences HDR, Université Lumière Lyon 2, Lyon
André Didierjean	Professeur des Universités, Université Franche-Comté, Besançon

Composition du Jury :

Président :	Lucette Toussaint	Professeure des Universités, Université de Poitiers, Poitiers
Examineurs :	Gaën Plancher	Maître de Conférences HDR, Université Lumière Lyon 2, Lyon
	André Didierjean	Professeur des Universités, Université Franche-Comté, Besançon
	Lucette Toussaint	Professeure des Universités, Université de Poitiers, Poitiers
	Mathieu Hainselin	Maître de Conférences HDR, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
Dir. de thèse :	Frédérique Robin	Professeure des Universités, Nantes Université, Nantes
Co-dir. de thèse :	Thibault Deschamps	Professeur des Universités, Nantes Université, Nantes

Invité(s)

Marie-Julie Potvin	Professeure des Universités, Université de Québec, Montréal
--------------------	---

Nantes Université

Imagerie mentale et mémoire prospective dans la sclérose en plaques récurrente-rémittente

Par

Canelle GARNIER

Thèse de Doctorat présentée à la Faculté de Psychologie
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiae Doctor (Ph.D.)
en Psychologie Cognitive

Novembre 2024

Nantes Université

Remerciements

Durant quatre ans, cette thèse aura été l'occasion de bon nombre de rencontres, toutes enrichissantes. Je profite de cet espace pour adresser mes remerciements à un maximum des personnes dont j'ai croisé le chemin durant cette aventure. Si, par mégarde, j'oublie votre nom dans les quelques lignes suivantes, sachez que je suis malgré tout pleinement reconnaissante, mais certainement un peu étourdie par le moment.

J'aimerais avant tout adresser mes remerciements à ma directrice de thèse, Frédérique Robin, et à mon co-directeur de thèse, Thibault Deschamps. Merci d'avoir toujours su trouver le temps et d'avoir apporté vos savoirs et votre enthousiasme tout au long de cette thèse.

Je remercie également les membres du jury, qui ont bien voulu accorder de leur temps pour évaluer ce travail de thèse. Merci donc à Gaën Plancher, André DidierJean, Lucette Toussaint et Mathieu Hainselin pour leur expertise.

Je remercie également Marie-Julie Potvin et Isabelle Rouleau, pour leurs partages de l'outil TEMP et leurs précieux conseils.

J'exprime également mes plus sincères remerciements à tous ceux qui m'ont aidée à mener les études conduites dans cette thèse. Merci aux équipes du Centre Mémoire et du CIC au CHU de Nantes pour leur aide et leur réactivité. Merci à l'association Notre Sclérose d'avoir été un véritable soutien tout au long de ce projet. Et surtout merci, un immense merci, à tous les volontaires qui ont participé aux études. Votre disponibilité et votre enthousiasme auront été un véritable moteur.

J'en profite également pour adresser des remerciements chaleureux à Lina Guerrero, qui a su me guider et m'encourager dans la rédaction de certains chapitres de cette thèse.

Un grand merci également à toute l'équipe du LPPL, pour la vie de laboratoire, les labtimes et les conseils statistiques (merci Julie Arsandaux).

A mes collègues doctorant.es, vous savez combien vous avez compté, et continuerez à compter pour moi. Vous êtes la plus joyeuse et formidable bande de personnes qu'il m'est été donné de rencontrer. J'espère continuer encore de nombreuses années à rire, débattre, manger et boire avec vous.

A mes ami.es, qui sont parfois loin mais qui savent toujours me donner le sentiment que tout est possible et, en même temps, me ramener aux choses qui comptent vraiment. Merci à vous, du fond du cœur. Mathilde et Aloïs, je viendrai enfin vous voir à Brest, vous m'avez manqué.

Un merci général à la famille. Vous êtes sacrément nombreux et au moins autant à avoir participé de près ou de loin à cette thèse, je ne pourrais citer tout le monde mais je vous envoie tout mon amour. Merci aux premiers « cobayes » qui ont pré-testé mon protocole expérimental. Merci à la considérable armée de tantes, oncles, papi, cousins et cousines, toujours prêts à rendre service et à égayer les soirées. Merci à ma très chère grand-mère, Yvonne, d'avoir construit un véritable clan, régit par l'amour, l'humour, et les crêpes.

Merci à Christine et Gilles, mes beaux-parents, qui n'ont cessé de chercher comment aider, comment me soutenir...ce soutien a été décisif. Merci à Gérard Morin pour son enthousiasme et sa généreuse malice. Merci également à Bernard Morin, qui était tout aussi enthousiaste, et a su « motiver les troupes » avec quelques bonnes bouteilles.

Au quotidien et au plus près de mes émotions, je veux dire ma reconnaissance et mon amour à ma mère, mon père, ma sœur et mon frère. Solenn, Hervé, Vinciane et Axel je n'aurai pas toute cette confiance et toute cette curiosité en moi, si je n'avais pas grandi avec vous.

Pour finir, parce-qu'il a été là du premier jour où j'ai obtenu mon financement de thèse et qu'il est encore là, alors que j'écris ces remerciements. Merci à Léo Morin, pour son amour, son soutien sans faille et sa passion. Sans tes bons petits plats, ton écoute patiente et ton optimisme à toute épreuve, je ne serai pas là aujourd'hui.

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'étudier les perturbations de la mémoire prospective (MP) dans la forme récurrente-rémittente de la sclérose en plaques (SEP-RR). Puis, de tester l'effet d'une consigne d'imagerie mentale sur les performances en MP des personnes atteintes de SEP-RR. La MP est un processus complexe qui mobilise à la fois les fonctions exécutives et les fonctions mnésiques. Pour étudier la MP de manière complète et écologique, nous avons adapté un outil déjà validé – le Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP, Potvin et al., 2011a) – en réalité virtuelle (RV). Dans l'étude 1 de cette thèse, nous validons les qualités psychométriques du TEMP-RV, à partir d'un échantillon de la population générale ($N = 52$). Dans l'étude 2, nous comparons les performances d'un groupe « SEP-RR » ($N = 22$) et d'un groupe « Contrôle » ($N = 27$) au TEMP-RV. Dans l'étude 3, nous comparons les performances de ces deux groupes avec et sans consigne d'imagerie mentale.

Cette thèse permet d'apporter les conclusions suivantes : (1) le TEMP-RV est un outil valide, sensible et écologique pour évaluer la MP ; (2) la SEP-RR entraîne des difficultés spécifiquement dans la composante prospective de la MP, en lien avec des difficultés de contrôle exécutif ; (3) l'imagerie mentale permet d'améliorer les performances à la composante rétrospective de la MP pour l'ensemble des participants à l'étude 3. En revanche, elle ne permet pas d'améliorer les performances à la composante prospective de la MP, et d'autres stratégies de remédiation de la MP sont donc à explorer pour répondre plus spécifiquement aux problématiques des personnes atteintes de SEP-RR.

Abstract

The aim of this thesis is to study the disruption of prospective memory (PM) in relapsing-remitting multiple sclerosis (RRMS). And then, to test the effect of a mental imagery instruction on the PM performance of people with RRMS. PM is a complex process involving both executive and memory functions. To study PM in a comprehensive and ecological way, we adapted an already validated tool - the Ecological Prospective Memory Test (TEMP, Potvin et al., 2011a) - into virtual reality (RV). In Study 1 of this thesis, we validate the psychometric qualities of the TEMP-RV, using a general population sample (N = 52). In Study 2, we compare the performance of an “RRMS” group (N = 22) and a “Control” group (N = 27) on the TEMP-RV. In Study 3, we compare the performance of these two groups with and without mental imagery instructions.

This thesis leads to the following conclusions: (1) the TEMP-RV is a valid, sensitive and ecological tool for assessing PM; (2) RRMS causes difficulties specifically in the prospective component of PM, linked to executive control difficulties; (3) mental imagery improves performance in the retrospective component of PM for all participants in Study 3. However, it did not improve performance in the prospective component of PM, and other strategies for remediating PM therefore need to be explored to respond more specifically to the problems of people with RRMS.

Table des matières

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Partie Théorique

Chapitre 1. La Mémoire Prospective	4
---	----------

1. Définition et modèles théoriques...	4
1.1 <i>La mémoire prospective : une fonction de la mémoire épisodique ?</i>	4
1.2 <i>Définition et étapes du fonctionnement de la mémoire prospective</i>	6
1.3 <i>Les principaux modèles théoriques de la mémoire prospective</i>	11
2. Les outils d'évaluation de la mémoire prospective	17
2.1 <i>Les tâches expérimentales simples</i>	17
2.2 <i>L'évaluation clinique de la mémoire prospective</i>	19
3. Réalité virtuelle et validité écologique dans l'évaluation de la mémoire prospective	22
3.1 <i>Validité écologique : définition</i>	22
3.2 <i>Validité écologique dans l'évaluation de la mémoire prospective</i>	23
3.3 <i>La réalité virtuelle : une piste pour l'évaluation écologique de la mémoire prospective ?</i>	26

Chapitre 2. Les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques	29
---	-----------

1. La sclérose en plaques...	29
1.1 <i>Etiologie et sémiologie</i>	29
1.2 <i>Diagnostic, traitements et veille de l'évolution de la maladie</i>	31
2. Les troubles cognitifs dans la sclérose en plaques.....	33
2.1 <i>Sémiologie des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques</i>	33
2.2 <i>Évaluation des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques</i>	38
2.3 <i>Remédiation des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques</i>	40
3. Les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques...	41
3.1 <i>Évaluation des troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques</i>	41
3.2 <i>Liens entre l'atteinte cognitive globale et les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques</i>	43
3.3 <i>La remédiation des troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques</i>	46

Chapitre 3. Images mentales et mémoire prospective	48
1. Les images mentales et la mémoire	48
1.1 <i>Définition et modèles théoriques</i>	48
1.2 <i>Les images mentales et la mémoire épisodique</i>	51
2. Les capacités d'imagerie mentale dans la sclérose en plaques... ..	56
2.1 <i>Mesurer les capacités d'imagerie mentale</i>	57
2.2 <i>Impacts des troubles sensorimoteurs sur les capacités d'imagerie mentale</i>	59
2.3 <i>Impacts des troubles cognitifs sur les capacités d'imagerie mentale</i>	61
3. Images mentales et remédiation de la mémoire prospective	63
3.1 <i>Remédiation de la mémoire prospective : différence entre implémentation d'intentions et imagerie mentale</i>	63
3.2 <i>Remédiation de la mémoire prospective : les effets de l'imagerie mentale</i>	65
3.3 <i>Remédiation de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques : quid de l'imagerie mentale ?</i>	69

Partie Expérimentale

Chapitre 4. Adaptation et validation du Test Ecologique de Mémoire Prospective en Réalité Virtuelle : le TEMP-RV	73
1. Critères du choix du Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP).....	73
1.1 <i>Le TEMP parmi les autres tests mesurant la mémoire prospective</i>	73
1.2 <i>Les propriétés psychométriques du TEMP</i>	77
2. Adaptation du TEMP en réalité virtuelle : le TEMP-RV... ..	79
2.1 <i>Adaptation linguistique et culturelle</i>	79
2.2 <i>De l'environnement vidéo à la réalité virtuelle</i>	80
3. Evaluation des propriétés psychométriques du TEMP-RV... ..	81
3.1 <i>Méthode</i>	82
3.2 <i>Participants</i>	82
3.3 <i>Matériel</i>	82
3.4 <i>Procédure</i>	84
4. Résultats.....	87
4.1 <i>Analyses de la fiabilité du TEMP-RV</i>	87
4.2 <i>Analyses de la cohérence interne du TEMP-RV</i>	87
4.3 <i>Analyses de la validité de critère du TEMP-RV</i>	88
4.4 <i>Analyses complémentaires</i>	89
5. Discussion.....	90

Chapitre 5. Évaluation de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques rémittente

94

1. Objectifs et hypothèses	94
2. Méthode.....	97
2.1 <i>Participants</i>	97
2.2 <i>Matériel</i>	98
2.3 <i>Procédure</i>	101
3. Résultats.....	101
3.1 <i>Caractéristiques de l'échantillon</i>	101
3.2 <i>Performances au TEMP-RV</i>	102
3.3 <i>Performances aux tests neuropsychologiques</i>	105
3.4 <i>Analyse de régression multiple</i>	107
4. Discussion.....	109

Chapitre 6. Impact de l'imagerie mentale visuelle sur les performances en mémoire prospective des patients atteints de SEP rémittente

115

1. Objectifs et hypothèses	118
2. Méthode.....	119
2.1 <i>Participants</i>	119
2.2 <i>Matériel</i>	119
2.3 <i>Procédure</i>	122
3. Résultats.....	123
3.1 <i>Caractéristiques de l'échantillon</i>	123
3.2 <i>Performances au TEMP-RV</i>	124
3.3 <i>Capacités d'imagerie mentale du groupe SEP vs groupe Contrôle</i>	127
4. Discussion.....	129

Chapitre 7. Discussion générale

134

1. Tester la mémoire prospective de manière écologique	135
1.1 <i>Construction du TEMP-RV : qualités psychométriques classique</i>	135
1.2 <i>Construction du TEMP-RV : les apports de la réalité virtuelle</i>	136
2. La mémoire prospective dans la SEP rémittente	140
2.1 <i>Une absence de difficultés pour les intentions EB</i>	140
2.2 <i>Troubles de la détection des indices TB</i>	142
3. L'effet de l'imagerie mentale sur la mémoire prospective dans la SEP rémittente	145
3.1 <i>Un effet bénéfique sur la composante rétrospective</i>	145
3.2 <i>Une absence d'effet sur la composante prospective</i>	147

Conclusion générale	152
----------------------------------	------------

Bibliographie	154
----------------------------	------------

Annexes

Annexe 1 : Feuilles de cotation du TEMP-RV pour la version A et la version B.....	i
Annexe 2 : Consignes et cotation des subtests de la BC Cog SEP	xv
Annexe 3 : Questionnaire BDI-FS.....	xxi
Annexe 4 : Questionnaire STAI-Y.....	xxii

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'étude des troubles mnésiques dans la recherche appliquée à la clinique porte très généralement sur la mémoire rétrospective ; la communauté scientifique cherche à comprendre pourquoi les patients oublient les événements de leur passé, pourquoi ils n'arrivent plus à accéder à des connaissances acquises de longue date, et autres questions liées à la mémoire des événements passés. Mais il est plus rare qu'on explore les capacités des patients à se souvenir d'événement qui auront lieu dans le futur. Pourtant, nous utilisons quotidiennement le processus de mémorisation d'intentions futures, que ce soit pour réaliser des actions habituelles comme acheter du pain en sortant du travail ce soir ou pour retenir des événements plus ponctuels comme aller à un rendez-vous médical la semaine prochaine. Cette capacité à stocker en mémoire une intention pour le futur, puis à la récupérer au moment opportun est appelée « mémoire prospective » (Meacham & Singer, 1977), mais est aussi parfois qualifiée de « réalisation différée d'intentions » (Ellis & Freeman, 2008). La mémoire prospective (MP) est un processus complexe, qui mobilise diverses fonctions cognitives dont, notamment, la mémoire épisodique, mais également un contrôle exécutif et attentionnel pour mener à bien l'exécution de l'intention future. De ce fait, Ellis (1996) émet des réserves à l'égard du terme « mémoire prospective » qui tendrait à identifier la MP comme l'un des systèmes mnésiques du modèle théorique du fonctionnement mnésique développé par Tulving (1995). Cependant, Uttil (2008) propose que le terme « mémoire prospective » soit utilisé comme terme « parapluie », couvrant l'ensemble des processus impliqués dans la mémorisation et l'exécution d'intentions futures. Dans cette thèse, nous avons donc conservé l'utilisation du terme « mémoire prospective » (MP), qui est aujourd'hui majoritairement utilisé dans la littérature.

Les troubles de la mémoire prospective (MP) sont régulièrement rapportés chez diverses populations cliniques présentant des atteintes cortico-sous-corticales (Costa, Carlesimo & Caltagirone, 2012), et ont un impact significatif sur la qualité de vie des patients (Fish, Wilson & Manly, 2010). De fait, les troubles de la MP ont bénéficié d'un intérêt grandissant dans la recherche clinique ces dernières décennies. La sclérose en plaques (SEP) est une pathologie chronique du système nerveux central dont l'impact sur le fonctionnement moteur et sensitif des patients est généralement bien connu. Toutefois, la SEP peut également donner lieu à une large palette de troubles cognitifs (Rao et al., 1991). Dans les premières études sur les troubles cognitifs dans la SEP, la MP n'était pas abordée. Pourtant, les plaintes cognitives rapportées par les patients atteints de SEP suggèrent parfois clairement une altération de la MP (par exemple :

« j’oublie souvent mes rendez-vous médicaux »). Ce n’est finalement que très récemment que les troubles de la MP dans la SEP ont commencé à être explorés (Bravin et al., 2000). Les preuves d’un réel déficit de la MP dans la SEP s’accumulent ainsi depuis près de vingt ans (Dagenais et al., 2016a ; 2016b ; Kardiasmenos et al., 2008 ; McKeever et al., 2017 ; Miller et al., 2014 ; Rendell, Jensen, & Henry, 2007 ; Rendell et al., 2012 ; Toko et al., 2021 ; Weber et al., 2019 ; West, McNerney, & Krauss, 2007). L’objectif de cette thèse est, notamment, d’ajouter une pierre à l’édifice en testant de manière approfondie les troubles de la MP chez des patients atteints spécifiquement de la forme de SEP à la prévalence la plus élevée : la SEP rémittente.

Concernant les stratégies de remédiation de la MP chez les patients atteints de SEP, seules deux études ont, à notre connaissance, exploré spécifiquement la remédiation de la MP auprès de patients atteints de SEP (Kardiasmenos et al., 2008 ; McKeever et al., 2017). Ces études offrent des résultats encourageants concernant l’amélioration des performances en MP des patients atteints de SEP, à l’aide des stratégies, respectivement, d’implémentation d’intention (Kardiasmenos et al., 2008) et d’apprentissage sélectif (McKeever et al., 2017). L’implémentation d’intention vise à faciliter la récupération des intentions en MP en favorisant la mobilisation de processus automatiques. L’apprentissage sélectif, lui, vise à renforcer l’encodage des intentions en MP. Ces stratégies peuvent être efficaces car elles répondent à différentes atteintes cognitives rencontrées dans la SEP, allant des troubles de l’encodage mnésique aux déficits exécutifs. Dans cette thèse, nous avons souhaité identifier clairement les déficits cognitifs qui influaient sur les troubles de la MP dans la SEP rémittente, et nous avons testé l’efficacité d’une stratégie d’encodage qui vise à la fois à améliorer la mémorisation et à favoriser la mobilisation de processus automatiques lors de la récupération de l’intention : l’imagerie mentale. Des résultats prometteurs existent déjà concernant la remédiation de la MP via l’imagerie mentale auprès de patients souffrant de lésions cérébrales variées, comme celles retrouvées dans la SEP (Potvin et al., 2011b ; Raskin et al., 2018).

Dans la première partie de cette thèse, nous avons exposé le cadre théorique sur lequel nous nous sommes appuyés. Dans le premier chapitre, nous avons défini la MP en exposant les différentes étapes de ce processus cognitif complexe. Nous avons ensuite exposé les théories fondamentales qui s’attachent à expliquer les processus à l’œuvre dans la MP, en fonction de la nature de l’intention et du contexte dans lequel elle prend place. Nous avons présenté, enfin, de manière plus concrète, les outils à disposition de la recherche et de la clinique pour évaluer la MP. Dans le second chapitre, nous avons présenté la SEP et les connaissances déjà accumulées concernant les déficits cognitifs présents dans cette pathologie. Nous avons présenté ensuite les éléments apportés par la recherche concernant les déficits de la MP induits par cette pathologie.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons présenté les postulats théoriques expliquant le fonctionnement de l'imagerie mentale. Nous avons exposé également les connaissances apportées par la recherche concernant les capacités d'imagerie mentales chez les patients atteints de SEP. Puis, nous avons présenté les éléments apportés par la recherche concernant l'effet de l'imagerie mentale en tant que technique de remédiation de la MP.

La seconde partie de cette thèse est consacrée à la présentation de nos études et de nos résultats, ainsi qu'à leur discussion. Nous avons présenté d'abord l'étude 1, qui avait pour objectif de tester la validité psychométrique de la tâche de mémoire prospective en réalité virtuelle, que nous avons adaptée du Test Écologique de Mémoire Prospective (TEMP : Potvin et al., 2011b). Puis, nous avons détaillé l'étude 2, qui avait pour objectif d'identifier précisément la nature des troubles de la MP dans la SEP rémittente, et les fonctions cognitives impliquées dans ce déficit. Nous avons ensuite présenté l'étude 3, qui avait pour objectif de tester l'effet de l'imagerie mentale sur les performances en MP des patients atteints de SEP rémittente. Enfin, nous avons discuté les résultats de nos études aux vues des éléments présentés dans la partie théorique, et nous avons questionné les limites et les futures implications apportées par nos conclusions.

Chapitre 1. La Mémoire Prospective

1. Définition et modèles théoriques

1.1 La mémoire prospective : une fonction de la mémoire épisodique ?

Les travaux menés dans le cadre de cette thèse s'inscrivent dans une approche classique des modèles de la cognition. Le modèle de la mémoire auquel nous nous référons est le modèle Serial Independent Parallel (SPI) de Tulving (1995 ; 2001a) qui regroupe quatre systèmes de mémoire à long terme : (1) la mémoire procédurale ; (2) le système des représentations perceptives ; (3) la mémoire sémantique ; et (4) la mémoire épisodique. A ces quatre systèmes de mémoire à long terme, s'ajoute un système de mémoire à court terme : la mémoire de travail (Baddeley & Hitch, 1974 ; Baddeley, 2000).

La mémoire prospective (MP) pourrait évoquer, *a priori*, un système mnésique de par son nom. Dans un premier temps, elle a pu être abordée comme une sous-fonction de la mémoire épisodique, qui permet à l'individu de « voyager » dans le temps, tant en se remémorant des événements passés qu'en se projetant dans des événements futurs (Tulving, 1985). La mémoire épisodique est le système mnésique qui traite des souvenirs d'événements vécus. Elle a pour spécificité de s'inscrire dans un niveau de conscience dit « auto-noétique » ; qui signifie que le souvenir épisodique est situé par l'individu dans son expérience propre, avec des caractéristiques spatio-temporelles et émotionnelles qui contextualisent les événements vécus et mémorisés (Tulving, 2001). Selon le modèle MNESIS (Eustache & Desgranges 2003), le modèle SPI de Tulving (1995) peut être enrichi par la prise en compte du rôle de la mémoire de travail dans le fonctionnement des différents systèmes mnésiques. Ainsi, lors de la récupération de souvenirs épisodiques, le système de représentations perceptives est remobilisé, afin de soutenir le phénomène de reviviscence en mobilisant des traces mnésiques perceptivo- sensorielles, qui sont organisées et reliées entre elles et soutenues le temps de la reviviscence par l'activité du buffer épisodique (Desgranges et al., 2020).

Le buffer épisodique est un sous-système de la mémoire de travail (Baddeley, 2000), qui vient s'ajouter aux deux autres systèmes « esclaves » (i.e. la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) initialement décrits dans le premier modèle de la mémoire de travail de Baddeley & Hitch (1974). Le buffer épisodique, comme les deux autres systèmes « esclaves », voit son activité régulée par l'administrateur central, dont le rôle est de distribuer les ressources attentionnelles entre ces différents systèmes en fonction des informations à traiter (par

exemple : répartir les efforts entre la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial quand il faut à la fois compter et visualiser un trajet sur les cases d'un plateau de jeux). Le buffer épisodique est un troisième système « esclave » qui sert, lui, d'interface avec les systèmes de mémoire à long terme. En coordonnant les perceptions sensorielles avec les connaissances stockées en mémoire sémantique et des souvenirs stockés en mémoire épisodique, le buffer épisodique permet de créer temporairement une représentation intégrant ces différents éléments. Le buffer épisodique vient ainsi soutenir la fonction de « voyage dans le temps » permise par la mémoire épisodique, grâce à laquelle nous pouvons tout autant « reconstruire » mentalement des événements passés que « construire » mentalement des événements futurs (Tulving, 1985).

La mémoire épisodique permet de se projeter dans le futur, mais il serait incorrect de confondre cela avec le processus de la MP. Ellis (1996) a ainsi fait remarquer que l'individu ne fait pas toujours que s'imaginer des événements futurs, il lui arrive souvent d'établir une intention ferme de réaliser une action dans un futur plus ou moins proche. Il apparaît effectivement essentiel de définir ici la différence entre (1) la fonction de la mémoire épisodique qui nous permet d'imaginer/rêver un futur plus ou moins proche ; et (2) la MP, qui nous permet non seulement de poser une intention future située dans l'espace-temps, mais aussi de réagir le moment venu pour mener à bien cette intention. La (1) faculté à se représenter des événements futurs est aussi appelée « Episodic Future Thinking » (EFT), et correspond à la simulation mentale du déroulement d'événements futurs (Schacter, Benoit & Szpunar, 2017). L'EFT mobilise des capacités mnésiques épisodiques en construisant des simulations d'événements futurs sur la base de schémas et de représentations acquises au cours d'expériences passées (Schacter, Addis & Buckner, 2008). L'EFT mobilise également la mémoire sémantique en utilisant les connaissances générales dont l'individu dispose sur le monde pour simuler de manière réaliste les événements à venir (Szpunar, 2010). Enfin, pour maintenir à court terme une représentation intégrant ces différents éléments, l'EFT fait appel au buffer épisodique (Siddique et al., 2015). L'EFT peut donc être rapproché de la première conception, évoquée plus haut, d'une mémoire épisodique orientée vers des événements futurs (Tulving, 1995). Concernant (2) la MP, Loftus (1971) a fait un parallèle entre la mémoire épisodique rétrospective et la MP. Selon Loftus (1971), la formation de l'intention future équivaut à l'encodage de l'information, l'intention comme l'information sont ensuite stockées en mémoire épisodique, et enfin, la récupération de l'intention en réaction à un élément déclencheur prédéterminé, fonctionne sur le même principe que le rappel indicé en mémoire épisodique rétrospective. Toutefois, Roediger (1996) a fait remarquer que le rappel indicé en mémoire

rétrospective passe par la sollicitation explicite d'une récupération mnésique, tandis que la récupération de l'intention en MP repose sur la détection auto-initiée de l'indice qui indique que le moment d'exécuter l'intention est venu. Par ailleurs, l'encodage d'une action qu'on prévoit d'exécuter donne lieu à une trace mnésique plus facile à récupérer que l'encodage d'une action à mémoriser (Maylor, Darby & Della Sala, 2000). Cet effet, appelé « effet de supériorité de l'intention » serait dû à un fort niveau d'activation des actions étiquetées comme « à réaliser », qui permet de conserver une voie d'accès direct à l'intention. La MP diffère donc de la mémoire rétrospective dans la nature même du contenu mémorisé en MP, ainsi qu'à travers les processus à l'œuvre lors de la récupération en MP. En détaillant les différentes étapes que comporte le processus de MP, nous allons voir que la MP mobilise finalement diverses fonctions cognitives qui interagissent entre elles, notamment avec la mémoire épisodique.

1.2. Définition et étapes du fonctionnement de la mémoire prospective

Définition

La MP est un processus complexe, qui est essentiel à notre bon fonctionnement quotidien. C'est la MP que nous mobilisons quand, par exemple, nous prévoyons d'*acheter une baguette en sortant du travail*. Einstein et McDaniel (1990) considèrent que le fonctionnement de la MP repose sur deux composantes principales : une composante prospective et une composante rétrospective. La composante prospective correspond à l'identification de l'indice, indiquant que l'intention doit être exécutée (par exemple : *je sors du travail*, est un indice qui me fait prendre conscience que j'ai quelque chose à faire maintenant). L'identification de l'indice active la composante rétrospective, qui consiste à récupérer en mémoire le contenu de l'intention (par exemple : *je dois acheter une baguette*). Outre ces deux composantes prospective vs. rétrospective du fonctionnement de la MP, Kliegel et al. (2002) ont proposé une analyse des mécanismes impliqués dans la MP, en quatre étapes : (1) l'élaboration de l'intention et son association avec un indice prospectif ; (2) le stockage de cette intention en mémoire épisodique, en attendant la survenue de l'indice prospectif ; (3) la récupération en mémoire de l'intention suite à la détection de l'indice prospectif ; et (4) l'exécution de l'intention et la mise à jour du statut de l'intention de « intention à faire » à « intention terminée ». Chacune de ces étapes mobilise des processus cognitifs différents, et peut être influencée par la nature de l'intention future et par le contexte dans lequel elle est envisagée, puis exécutée.

Etape 1 : Elaboration de l'intention

La première étape du processus de la MP partage des similitudes avec l'étape d'encodage dans la mémoire épisodique rétrospective. L'encodage peut être défini comme

[traduction libre] : « l'ensemble des processus impliqués dans la transformation d'événements externes et de pensées internes en représentations neurales temporaires et durables » (p. 129 ; Craik, 2007). Parmi les processus qui constituent l'encodage, le buffer épisodique est mobilisé pour intégrer dans une représentation cohérente et complète les informations encodées, que ce soit en mémoire rétrospective ou prospective (Quinette et al., 2013). Cette représentation cohérente et complète, dans le cadre de la MP, doit systématiquement comporter le contenu de l'intention, ainsi que l'indice prospectif, indiquant le déclenchement de l'intention. L'indice prospectif peut être de trois natures différentes :

(1) quand il renvoie à un événement, l'indice est qualifié de « event-based » (par exemple : *prendre ses médicaments lorsque le petit-déjeuner est servi*) ;

(2) quand il correspond à un temps *t*, l'indice est qualifié de « time-based » (par exemple : *prendre ses médicaments 1 heure après le petit-déjeuner*) ;

(3) quand il renvoie à l'exécution d'une activité, l'indice est qualifié de « activity-based » (par exemple : *prendre ses médicaments après avoir ranger la table du petit déjeuner*).

Toutefois, les tâches prospectives « activity-based » sont considérées comme une catégorie à part, car elles ne nécessitent pas d'interrompre une activité pour passer à l'exécution de l'intention prospective, au contraire des intentions « event-based » et « time-based » (Kvavilashvili & Ellis, 1996). De ce fait, nous allons centrer notre propos sur les tâches « event-based » et « time-based » pour lesquelles les individus rencontrent le plus souvent des difficultés, notamment dans le cadre de la sclérose en plaques (SEP), sur laquelle porte cette thèse.

Malgré ses similitudes avec l'encodage en mémoire rétrospective, l'encodage en MP présente certaines spécificités dans les opérations qu'il sous-tend. Notamment, là où l'encodage en mémoire rétrospective porte le plus souvent sur des informations de sources externes (visuelles, auditives, etc.), l'encodage en MP porte plus généralement sur des informations de source interne (pensées, images mentales). L'élaboration interne de l'intention prospective peut être plus ou moins complète, et plus ou moins précise. Il semblerait que le niveau d'attention et d'engagement attribués à l'élaboration de l'intention jouent un rôle dans la qualité de l'encodage de l'intention en MP. C'est ce que suggèrent les études portant sur les stratégies d'encodage en MP, telles que l'implémentation d'intention (pour revue, voir Chen et al., 2015), ou encore l'apprentissage sélectif (McKeever et al., 2019). En effet, il est plus efficace d'encoder une intention en la formulant oralement (implémentation d'intention), à savoir « *quand je rentrerais du travail, alors j'achèterais du pain* », que de se faire rapidement la réflexion qu'il faut acheter du pain en fin de journée. Par ailleurs, la formation de l'intention

peut être enrichie de détails visuels, émotionnels et contextuels à l'aide de l'Episodic Future Thinking (EFT) qui a été démontré comme jouant un rôle déterminant dans la MP (Schacter, Addis & Buckner, 2008 ; Terrett et al., 2016). Là encore, il est effectivement plus efficace de se projeter en détails dans l'intention d'acheter du pain en rentrant du travail : s'imaginer en train de passer devant la boulangerie sur le retour, visualiser le pain qu'on compte acheter, se réjouir d'avance à l'idée de le déguster, etc.

En plus des capacités d'EFT, la formation de l'intention requiert la mobilisation des fonctions exécutives. Les fonctions exécutives correspondent aux processus contrôlés mis en œuvre pour s'adapter face à de nouvelles situations ou à des situations complexes (Miyake et al., 2000). Parmi les fonctions exécutives, on retrouve les processus de planification, flexibilité mentale, de mise à jour et d'inhibition. Dans le cas de la MP, l'élaboration de l'intention implique un contrôle exécutif à travers une activité de planification pour anticiper les étapes nécessaires à l'exécution de l'intention (par exemple, qu'il faudra trouver une place pour se garer devant la boulangerie), et de la flexibilité mentale pour explorer diverses options (par exemple, qu'il y a la possibilité de se garer sur un parking plus loin s'il n'y a pas de place devant la boulangerie) pour mener à bien une intention (Kliegel et al., 2002).

Etape 2 : Stockage de l'intention

Une fois que l'intention - associée à l'indice prospectif – est encodée, c'est une phase de rétention de l'intention qui s'impose. Cette phase de rétention peut varier de quelques minutes à plusieurs jours et repose sur les capacités de stockage en mémoire à long terme (Kliegel et al., 2011). Selon Marsh, Cook et Hicks [traduction libre] (2006 ; p.118) « Tout comme les souvenirs rétrospectifs, les souvenirs prospectifs subissent des périodes cycliques de dormance (intervalle de rétention) interrompues par la récupération ou l'utilisation ». L'augmentation de la durée de l'intervalle de rétention peut alors faciliter la récupération en mémoire de l'intention grâce à la résurgence, de manière régulière, de l'intention à la conscience de l'individu durant cet intervalle. Dans une étude où les participants devaient produire différentes intentions (une douzaine d'intention en moyenne) à exécuter dans les dix prochains jours, il a été observé que les participants repensaient en moyenne 1,88 fois à chacune des intentions durant l'intervalle de rétention (Szarras & Niedzwienska, 2011). Cette évocation était provoquée le plus souvent par un élément déclencheur fortuit (dans 41% des cas), et pouvait également être mobilisée volontairement par l'individu (dans 32% des cas). Les autres occasions où l'intention faisait irruption dans le champ de la conscience durant le délai de rétention restaient inexplicables (aucun indice évocateur dans l'environnement, ni d'évocation initiée volontairement) (Szarras & Niedzwienska, 2011). La phase de rétention serait donc au moins aussi importante que le

phase d'encodage pour obtenir une trace mnésique solide, et permettre la réussite de l'exécution de l'intention prospective (Kvavilashvili, 1987 ; Marsh, Cook & Hicks, 2006). Toutefois, cet effet facilitateur du délai de rétention peut être amoindri par la nature de l'activité complétée durant cet intervalle de rétention. Dans un même délai de rétention de 15 minutes, une étude a ainsi montré que les participants réussissaient davantage la tâche de MP s'ils effectuaient trois tâches différentes au lieu d'une seule durant le délai de rétention (Hicks, Marsh & Russel, 2000). En effet, il semblerait que chaque tâche terminée, et chaque nouvelle tâche initiée, offraient une occasion supplémentaire de « rafraîchir » l'intention prospective en mémoire (Marsh, Cook & Hicks, 2006). Il n'y a, à notre connaissance, pas d'études explorant l'effet de délais plus longs se mesurant en semaines ou en mois. Il faut toutefois noter que les intentions projetées dans un futur lointain ne mobilisent certainement pas les mêmes processus que les intentions projetées sur un futur proche. On ne va en effet pas essayer de retenir, sans aide externe, le mariage d'amis qui aura lieu dans 8 mois : on le notera dans un agenda. Dans cette thèse, nous nous sommes concentrés sur les intentions futures à relativement court terme, qui peuvent être mémorisées, en théorie, sans aide externe.

Etape 3 : Détection de l'indice prospectif

A l'issue de la phase de rétention, intervient l'étape de détection de l'indice prospectif. La détection de l'indice prospectif dépend du niveau d'activation de l'intention (dépendant notamment des réactivations durant la phase de rétention), de la saillance de l'indice prospectif, et des capacités attentionnelles de l'individu (Mäntylä, 1996). Il existe deux grands domaines de l'attention : l'intensité et la sélectivité (Zomerén & Brouwer, 1994). L'intensité regroupe la notion d'alerte (i.e. capacité à mobiliser rapidement les ressources attentionnelles) et d'attention soutenue (i.e. capacité à maintenir sur une longue durée un niveau d'attention efficace pour répondre à des stimuli peu fréquents). La sélectivité regroupe l'attention focalisée (i.e. capacité à sélectionner un stimulus pertinent dans l'environnement en inhibant les distracteurs) et l'attention divisée (i.e. capacité à porter son attention sur deux tâches simultanées). Dans le cadre de la détection des indices prospectifs, il apparaît que l'attention soutenue est mobilisée, à travers un processus top-down de surveillance régulière de l'environnement, à la recherche de l'indice-cible, ainsi que de réactivations régulières de l'intention prospective en mémoire de travail (Cona et al., 2015).

La saillance de l'indice correspond à son niveau de distinctivité. L'indice est plus distinctif et donc, plus facile à repérer, lorsqu'il présente une particularité apparente (McDaniel & Einstein, 2000). En effet, de nombreuses études ont montré qu'en augmentant la saillance de l'indice prospectif (par exemple, en surlignant le mot-indice), les performances en MP des

participants étaient significativement améliorées (Brandimonte & Passolunghi, 1994 ; Einstein & McDaniel, 1990 ; McDaniel & Einstein, 1993, McDaniel et al., 1999). Dans le cas des catégories sémantiques, un mot est également plus facilement détecté s'il est typique de la catégorie (par exemple, pour la catégorie « légumes », le mot « carotte » sera plus facilement détecté, que le mot « citrouille ») (Penningroth, 2005).

Concernant les processus attentionnels et exécutifs mobilisés dans la détection de l'indice prospectif, ils vont dépendre du type d'indice à détecter (« time-based » ou « event-based »), ainsi que du type de tâche dans laquelle l'individu est engagé au moment où survient l'indice. La tâche dans laquelle nous sommes engagés lorsque survient l'indice est appelée « tâche concurrente ». Si la tâche concurrente fait appel aux mêmes traitements cognitifs que la détection de l'indice, la tâche concurrente peut être qualifiée de « focale », et la détection de l'indice est alors facilitée. Par exemple, si la tâche concurrente consiste à maintenir des mots en mémoire de travail et que l'indice est un mot prédéfini, la détection de l'indice sera plus facile que s'il faut traiter des mots en mémoire de travail, tout en cherchant un indice sous forme de pattern visuel sur un écran (Kliegel, Jäger & Phillips, 2008). Selon le modèle *Multiprocess* (McDaniel & Einstein, 2000), la détection de l'indice peut mobiliser des processus contrôlés au travers d'une veille attentionnelle, mais elle peut également reposer sur des processus automatiques. Nous détaillons, dans la partie suivante, les modèles théoriques expliquant les différents types de processus à l'œuvre dans la détection des indices prospectifs. A travers ces modèles, nous explicitons les différences de traitement cognitif entre la détection d'indices « time-based » et « event-based ».

Etape 4 : Exécution de l'intention

Enfin, une fois que l'indice prospectif est détecté, la dernière étape à accomplir est l'exécution de la tâche. Un contrôle exécutif est alors indispensable afin d'inhiber l'exécution de la tâche concurrente et de basculer vers la réalisation de l'intention prospective. A ce stade, l'individu mobilise donc ses capacités d'inhibition et de flexibilité mentale (Kliegel et al., 2011). Les capacités de récupération mnésique sont également mobilisées, afin d'accéder au contenu de l'intention associée à l'indice prospectif qui vient d'être détecté. Les processus de récupération vont également être soit automatiques, soit contrôlés. Ainsi, la récupération en mémoire des intentions « event-based » (EB) fait appel à des processus plutôt automatisés, similaires à ceux impliqués dans le rappel indicé (i.e. tâche de mémoire qui consiste à retrouver la cible associée à l'indice au moment de l'encodage dans les tâches classiques de mémoire rétrospective) ; alors que la récupération en mémoire d'intentions « time-based » (TB) requiert des processus auto-initiés et contrôlés, assimilables à ceux mobilisés lors d'un rappel libre en

mémoire rétrospective (Martin, Kliegel & McDaniel, 2003).

1.3. Les principaux modèles théoriques de la mémoire prospective

Le débat sur la nature automatique ou contrôlée des mécanismes impliqués dans la détection des indices prospectifs et dans la récupération des intentions en MP a donné lieu à deux principaux modèles théoriques. Un premier modèle expose les arguments en faveur de processus contrôlés ; il s'agit du modèle *Preparatory Attentional and Memory* (PAM, Smith, 2003). Le second modèle, chronologiquement plus ancien, offre une analyse plus complète, notamment des situations pouvant impliquer des processus automatiques. Il s'agit du modèle la *Multiprocess Theory* (McDaniel & Einstein, 2000)

Le modèle *Preparatory Attentional and Memory* : PAM (Smith, 2003)

Le modèle PAM postule que la détection des indices prospectifs nécessite d'allouer continuellement une partie des ressources attentionnelles à la détection de l'indice prospectif, lorsqu'une intention prospective est en cours. Ce modèle s'appuie sur le constat d'un effet d'interférence sur la tâche concurrente créée par l'implémentation d'une intention en MP (Marsh, Hicks & Cook, 2005 ; Smith, 2003). Cet effet d'interférence est exposé dans l'étude de Smith (2003). Dans une condition « contrôle », les participants recevaient seulement pour consigne d'effectuer une tâche de décision lexicale (décider si la corde présentée formait un mot ou non). Dans la condition « mémoire prospective », ils devaient appuyer sur une touche prédéterminée du clavier lorsqu'un mot cible apparaîtrait sur l'écran de l'ordinateur, en plus de la tâche de décision lexicale. Lors de la tâche de décision lexicale, un effet d'interférence était observé uniquement pour la condition « mémoire prospective ». Cet effet d'interférence se manifestait par un ralentissement du temps de réponse, en moyenne de 300 ms, à la tâche de décision lexicale. Selon Smith (2003), ce ralentissement du temps de réaction serait dû à un effet similaire à celui observé en situation d'attention divisée ; une partie des ressources attentionnelles étant allouée à la tâche de décision lexicale, et une autre partie étant allouée à la recherche du mot-indice. En partant du postulat selon lequel les capacités attentionnelles sont limitées quantitativement, Smith (2003) argumente que les ressources attentionnelles mobilisées pour détecter la survenue d'un indice prospectif sont soustraites aux ressources attentionnelles allouées à l'exécution de la tâche concurrente, réduisant les performances à cette tâche.

Le modèle PAM décrit la présence de processus attentionnels préparatoires dans le cadre d'intentions « event-based » (EB). Selon Smith et Bayen (2004), une partie des ressources

attentionnelles est ainsi allouée à la recherche de l'indice EB dans l'environnement (par exemple, guetter le passage d'un collègue à qui on a l'intention de remettre un document quand on le verra). Selon l'approche proposée dans le modèle PAM, la détection de l'indice prospectif implique donc la recherche de caractéristiques pertinentes dans l'environnement. Les caractéristiques considérées comme « pertinentes » correspondent à tous les éléments indiquant la survenue plus ou moins imminente de l'indice prospectif associé à l'intention. Cette préparation attentionnelle permet, le moment venu, de détecter l'indice prospectif.

En complément du modèle PAM, le modèle de Harris et Wilkins (1982) est intéressant car il met l'accent sur le rôle des processus contrôlés, spécifiquement pour les intentions « time-based » (TB). Ce modèle, appelé *Test – Wait – Test - Exit*, repose sur les capacités d'estimation l'intervalle de temps entre la formation de l'intention et la survenue de l'indice indiquant le moment venu de déclencher l'exécution de l'intention (Harris & Wilkins, 1982). Selon ce modèle, l'individu évalue cet intervalle et en déduit la durée de cycles de surveillances, qu'il va répéter jusqu'à la survenue de l'indice. Si l'intention doit être exécutée le lendemain, les cycles de surveillances seront « larges », avec des tests de la présence de l'indice à quelques rares reprises durant la journée, mais de moins en moins espacés le lendemain, à l'approche du moment estimé de la survenue de l'indice. Si ces cycles de surveillance sont correctement estimés, l'individu vérifiera sa montre (ou autre indicateur de temps) à peu près au moment auquel il avait prévu d'exécuter l'intention.

Toutefois, avec le modèle *Test-Wait-Test-Exit*, nous apparaît la critique que peut être faite au modèle PAM. En effet, Le modèle *Test-Wait-Test-Exit* suggère une préparation attentionnelle raisonnable et proportionnée (il paraît effectivement logique de ne pas guetter immédiatement la survenue d'un indice qu'on sait prévu pour le mois prochain). Il semble donc peu efficace d'exercer une veille attentionnelle en continu, chaque fois que nous établissons une intention future. En effet, à l'instar des cycles de surveillance pour les indices « time-based » (TB), la surveillance des indices « event-based » (EB) varie en fonction des caractéristiques de l'indice et de la tâche concurrente. Marsh, Hicks et Cook (2006) ont ainsi montré que l'effet d'interférence décrit par Smith (2003) pouvait être circonscrit à l'unique moment de survenue la plus probable de l'indice EB. Les participants à cette étude étaient répartis en un groupe « contrôle » qui recevait seulement la consigne de la tâche concurrente (tâche de décision lexicale), et un groupe « intention » qui, en plus de la tâche de décision lexicale, recevait la consigne d'appuyer sur une touche du clavier dès qu'il verrait un nom d'animal apparaître à l'écran. La particularité de cette étude réside dans le fait que la tâche concurrente était divisée en trois phases, et que les participants du groupe « intention » étaient

informés que des noms d'animaux n'apparaîtraient que dans la 3ème phase de la tâche de décision lexicale. De fait, l'effet d'interférence sur la tâche concurrente n'est observé chez les participants du groupe « intention » que lors de la 3ème phase. Le fait que l'effet d'interférence ne soit pas apparu dans la première et seconde phase de la tâche de décision lexicale suggère bien que la surveillance attentionnelle n'est pas mise en place de manière continue dès la formation de l'intention, mais bien circonscrite à un contexte dans lequel la survenue de l'indice est attendu. Par ailleurs, ce rôle modulateur du contexte sur l'effet d'interférence a également été observé avec des intentions TB (Cook, Marsh & Hicks, 2005). Dans cette étude, les participants avaient une intention à réaliser au bout de 6 minutes, mais étaient également informés qu'ils auraient terminé les deux premières tâches concurrentes avant la fin de ce délai, et que les 6 minutes seraient écoulées plutôt au cours de la troisième tâche concurrente. Là encore, ce n'est qu'au cours de la troisième phase de la tâche concurrente qu'un effet d'interférence était observé. Si l'effet d'interférence a effectivement été démontré (Smith, 2003), la théorie du PAM qui sous-tend l'existence d'une veille attentionnelle continue dès lors qu'une intention future est établie ne semble pas réaliste au quotidien. Il apparaît en effet que, dans certaines conditions, la détection des indices prospectifs puisse reposer sur des processus automatiques. Le modèle *Multiprocess Theory* (McDaniel & Einstein, 2000) offre une perspective qui intègre ces différentes observations de processus contrôlés et automatiques.

La *Multiprocess Theory* (McDaniel & Einstein, 2000)

Initialement, Einstein et McDaniel (1996) ont proposé le modèle de l'activation simple qui suppose que la construction d'une intention en MP repose sur un processus associatif du type « indice-action ». Après avoir élaboré l'intention de réaliser une action future, sur la base du schéma « indice-action », l'individu reprend le cours de ses activités, et le lien associant l'indice et l'action est maintenu quelques temps en mémoire, puis disparaît progressivement du champ de sa conscience. Ce n'est que plus tard, au moment de la survenue de l'indice, que l'intention associée à l'indice est automatiquement activée en mémoire, et réalisée. Par la suite, ces auteurs ont enrichi leur théorie en intégrant et expliquant la nature des processus impliqués dans la MP. En effet, selon la *Multiprocess Theory* (McDaniel & Einstein, 2000), la récupération d'une intention prospective peut reposer sur deux mécanismes :

- des processus contrôlés, qui sont plus coûteux sur le plan cognitif, car ils mobilisent un certain niveau d'attention et des stratégies de récupération mnésique qui sont utiles pour une détection efficace des indices peu saillants, durant des tâches en cours prenantes/non-focales.
- des processus automatiques, bien moins coûteux, efficaces quand l'indice est saillant, focal et fortement relié à l'action planifiée.

Outre ces processus contrôlés évoqués dans la *Multiprocess Theory* et le PAM (*Preparatory Attentional and Memory* ; Smith, 2003), McDaniel et Einstein (2000 ; Einstein & McDaniel, 2005) proposent un autre processus, automatique, qualifié de récupération « réflexive- associative ». Einstein et McDaniel (2005, p. 287) décrivent le processus réflexif-associatif de la sorte [traduction libre] : « Qu'une personne pense ou non à l'intention prospective au moment où l'événement cible se produit, si l'indice est pleinement traité et que l'association entre l'indice et l'action est suffisamment forte, l'apparition de l'indice déclenchera automatiquement la récupération de l'action prévue ».

Le fait de pouvoir traiter pleinement l'indice prospectif n'est toutefois pas anodin, et est notamment dépendant de la nature de l'indice prospectif. En général, les indices EB sont normalement traités automatiquement car ils surviennent dans le champ perceptif de l'individu (par exemple : voir la boulangerie sur le trajet du retour ; entendre la sonnerie du minuteur du four, etc.). Il y a cependant plus de probabilités de traiter pleinement l'indice EB s'il est distinctif (McDaniel & Einstein, 1993) et au centre du champ de vision de l'individu (Cohen, Dixon, Lindsay & Masson, 2003). Une fois l'indice détecté, la récupération automatique de l'intention dépend alors de la force du lien associatif avec l'indice. Ce lien peut être de nature sémantique : le mot-indice (« sauce ») étant sémantique lié à l'intention (prononcer le mot « spaghetti »), les performances en MP sont plus élevées (cf. les travaux de McDaniel, Guynn, Einstein & Breneiser, 2004). Le lien indice-action peut également être renforcé par l'implémentation d'intention (McDaniel, Howard & Butler, 2008), le processus sous-jacent est abordé plus loin dans la partie sur la remédiation de la MP (voir p. 63-64). En complément à la *Multiprocess Theory*, la théorie du *Discrepancy-plus-search* (Mullet et al., 2013) stipule que, dans certains cas, la survenue de l'indice prospectif n'active pas automatiquement l'intention en MP. Le traitement perceptif de l'indice sollicite l'attention de l'individu et vient interrompre la tâche en cours. Cette rupture agit comme un signal d'alerte qui mobilise un traitement plus profond de l'indice détecté, et permet alors la récupération en mémoire de l'intention associée. Outre la saillance des indices prospectifs et leur force associative avec l'intention prospective, la nature de l'activité concurrente joue également un rôle majeur concernant l'effort cognitif mobilisé. Ainsi, quand un indice est « focal », cela signifie le type de traitement induit par la tâche concurrente est le même que celui nécessaire à la détection de l'indice. Par exemple, si la tâche concurrente consiste à distinguer des non-mots de vrais mots, les participants auront plus de facilités à détecter un indice qui est un mot (exemple : « généreux »), qu'un indice qui est une lettre (exemple : la lettre « g ») car le traitement dans lequel ils sont investis avec la tâche concurrente incite davantage à traiter les mots dans leur ensemble, que lettres par lettres

(Scullin et al., 2010). La nature focale ou non-focale de la tâche concurrente influent notamment sur les processus cognitifs mobilisés lors de la détection de l'indice, avec une mobilisation plus marquée de l'inhibition pour les tâches focales, et une mobilisation plus marquée de la flexibilité pour les tâches non-focales (Zuber, Kliegel & Ihle, 2016).

A l'inverse, les indices TB ne peuvent pas, par nature, être traités automatiquement. Les intentions TB n'ont d'ailleurs pas été adressées dans le modèle de la *Multiprocess Theory* (McDaniel & Einstein, 2000). Il est généralement admis que les intentions TB mobilisent des processus contrôlés à travers la gestion du temps. Cette gestion du temps se manifeste généralement par la consultation répétée de l'horloge ou du minuteur dans la plupart des expériences de MP avec des intentions TB (Waldum & McDaniel, 2016). Cependant, dans la vie quotidienne, les intentions TB sont souvent caractérisées par des délais plus longs et une plus grande complexité. De ce fait, parvenir à exécuter une intention TB au bon moment ne repose pas toujours sur la vérification répétée d'une horloge. Dans de nombreux cas, l'intention TB nécessite une estimation temporelle basée sur la planification des différentes étapes menant au temps t attendu (Waldum & McDaniel, 2016). Par exemple, si mon intention est d'aller chez le médecin cet après-midi à 18h, et qu'il est 15h, je vais estimer que j'ai le temps de regarder deux épisodes de ma série, mais qu'il faudra ensuite vérifier l'heure car il faut compter environ 30 minutes de trajet, donc partir avant 17h30, etc. Le postulat d'une implication des capacités attentionnelles et de planification est appuyé par un effet du vieillissement cognitif plus important sur la réalisation des intentions TB vs. intentions EB, expliqué par une réduction des capacités de contrôle attentionnel et exécutif chez les sujets âgés, (Einstein et al., 1995). Par ailleurs, la manipulation du niveau d'importance d'une tâche prospective a un effet moins marqué sur les intentions EB qui, reposant sur des processus plus automatiques, sont moins sensibles à ces variations de l'importance de la tâche (Kliegel, Martin, McDaniel & Einstein, 2001 ; Kliegel, Martin, McDaniel & Einstein, 2004).

La MP est un processus qui fait appel aux capacités mnésiques épisodiques pour la composante rétrospective, mais aussi aux capacités attentionnelles et exécutives pour la composante prospective. Par ailleurs, le fonctionnement de la MP est intrinsèquement dépendant du contexte. Selon le caractère focal ou non-focal de la tâche concurrente, la saillance et la nature des indices prospectifs (EB vs TB), la récupération de l'intention peut reposer sur des processus automatiques ou contrôlés. En raison de ces processus multiples et des différentes fonctions cognitives impliquées dans ces processus, l'évaluation du fonctionnement de la MP relève d'un véritable défi. La partie suivante présente et discute les outils et les techniques élaborés pour évaluer la MP.

2. Les outils d'évaluation de la mémoire prospective

2.1. Les tâches expérimentales simples

Dans le domaine de la recherche expérimentale, Einstein et McDaniel (1990) ont été les premiers chercheurs à élaborer une tâche expérimentale permettant d'évaluer la MP, qui est largement utilisée depuis par les chercheurs en psychologie cognitive. Cette tâche consiste à demander aux participants de mémoriser un indice prospectif unique (par exemple, le mot "râteau") qui, par la suite, apparaît plusieurs fois au cours d'une tâche concurrente. Dans cette tâche, l'intention prospective consiste à appuyer sur une touche prédéfinie du clavier chaque fois que l'indice prospectif apparaît sur l'écran de l'ordinateur. La tâche concurrente est généralement une tâche de décision lexicale pour chacun des autres mots qui apparaissent successivement sur l'écran de l'ordinateur. L'élaboration de cette tâche repose sur quatre règles permettant, selon les auteurs, de reproduire des conditions similaires à celles rencontrées dans la vie quotidienne :

1) les participants doivent être engagés dans l'exécution d'une tâche concurrente qui requiert suffisamment d'attention pour les détourner de la tâche prospective. Engagés dans cette tâche concurrente, les participants sont contraints de mobiliser leurs capacités d'inhibition et de flexibilité mentale pour basculer sur la tâche prospective le moment venu.

2) les participants sont avertis qu'ils devront exécuter une action précise au moment où survient un indice prédéfini. Cette action est la tâche de MP qui est associée à l'identification de l'indice prospectif.

3) afin d'éviter l'utilisation d'une stratégie d'autorépétition et de s'assurer que le protocole mesure bien la MP, et non la mémoire de travail, un long délai doit exister entre la phase d'encodage de l'action prospective et l'apparition de l'indice.

4) le score total du participant correspond au nombre de fois où l'indice a été détecté, et a été suivi de l'exécution de la tâche prospective.

Ce protocole a permis de soutenir les premiers pas de la recherche dans le domaine de la MP, mais cette tâche présente certaines limites, dont l'absence d'évaluation de la composante rétrospective de la MP. En effet, l'intention à réaliser consistant uniquement à appuyer sur une touche du clavier, la probabilité d'échec de la composante rétrospective est pratiquement inexistante. Les auteurs n'ont d'ailleurs pas tenu compte de cette composante, et ils ont mesuré uniquement la proportion de réponses correctes pour l'indice prospectif. De plus, la tâche prospective examinée est exclusivement du type *event-based* (EB) alors que la littérature scientifique montre que les tâches prospectives EB et *time-based* (TB) reposent sur des

mécanismes cognitifs différents.

Par la suite, des auteurs ont ajouté des items TB. Kliegel et al. (2001) ont ainsi élaboré des tâches de mémoire prospective en tenant compte des deux types d'indices : TB et EB. Pour la tâche TB, les participants devaient appuyer sur un bouton rouge toutes les deux minutes (ils pouvaient vérifier le temps sur un chronomètre en appuyant sur un bouton jaune chaque fois qu'ils le souhaitaient). Les stratégies de contrôle du temps mises en place par les participants étaient récoltées en comptabilisant le nombre de fois où ils vérifiaient le chronomètre. Pour la tâche EB, ils avaient pour consigne d'appuyer sur le bouton rouge chaque fois qu'ils voyaient apparaître le mot « conversation » à l'écran. La tâche concurrente consistait à évaluer le caractère plaisant, familier, concret et sérieux de chaque mot apparaissant à l'écran. Dans cette tâche de MP, la performance des participants correspondait au nombre de fois où les indices prospectifs étaient détectés (les deux minutes écoulées et l'apparition du mot « conversation »). Là encore, la composante rétrospective, qui consiste à exécuter l'action prospective ne peut pas être évaluée car elle est d'une telle simplicité (appuyer sur le bouton rouge) qu'elle est toujours réussie. Par ailleurs, que ce soit pour la tâche concurrente ou pour les intentions prospectives elles-mêmes, ces tâches expérimentales simples sont très éloignées des conditions rencontrées de la vie quotidienne. Titov et Knight [traduction libre] (2001 ; p. 62) ont ainsi fait remarquer que « les tests neuropsychologiques sont souvent conçus pour mesurer des domaines spécifiques du comportement. (...) Or, dans la vie réelle, la mémoire implique un enchaînement de fonctions cognitives et non cognitives, dont certaines peuvent compenser des déficiences dans d'autres domaines. De fait, les batteries de tests évaluant la mémoire, dérivées de tâches développées en laboratoire, peuvent ne pas simuler les exigences imposées à la mémoire dans le monde réel. »

Cela dit, les apports de la recherche expérimentale pour comprendre le plus finement possible le fonctionnement de la MP et en déduire des règles dans la construction de tests de la MP sont indéniables. Toutefois, il est également légitime de questionner le risque d'une évaluation trop « décontextualisée du quotidien », qui omet la prise en compte des facteurs cognitifs et non-cognitifs (par exemple, l'aspect plaisant ou la motivation associée à une intention) essentiels au bon fonctionnement de la MP. Au-delà de l'exploration fondamentale des mécanismes de la MP, la question de l'évaluation de la MP dans la pratique clinique adresse un autre défi : identifier les troubles de la MP chez les patients, non plus seulement pour comprendre, mais pour répondre aux difficultés fonctionnelles rencontrées par ces patients.

2.2. L'évaluation clinique de la mémoire prospective

En dépit des plaintes récurrentes des patients et des nombreuses études permettant d'objectiver la réalité des troubles de la MP dans diverses pathologies, l'évaluation de la MP, au sein du bilan neuropsychologique dit « classique », reste encore trop rare ou incomplète (Blondelle et al., 2020). Dans la plupart des cas, c'est à l'aide de questionnaires que les professionnels de santé appréhendent cette problématique. Il existe également quelques tâches uniques non standardisées, parfois utilisées par les psychologues-neuropsychologues pour détecter d'éventuelles difficultés de la MP. Et enfin, cinq batteries de tests ont également été développées pour tester les performances du fonctionnement de la MP des patients.

L'un des questionnaires les plus utilisés par les psychologues spécialisés en neuropsychologie est le *Prospective and Retrospective Memory Questionnaire* (PRMQ ; Smith, Della Sala, Logie & Maylor, 2000), qui comprend huit questions portant sur les oublis en MP et huit questions portant sur les oublis en mémoire rétrospective. Ce questionnaire présente l'avantage d'être court et d'avoir une bonne cohérence interne (Alpha de Cronbach, $\alpha = .89 ; .84 ; .80$, respectivement pour les trois facteurs mesurés : (1) mémoire globale ; (2) MP ; (3) mémoire rétrospective). Il permet d'appréhender la plainte cognitive des patients tant sur des tâches de MP « time-based » (TB) que « event-based » (EB). Cependant, ce questionnaire présente la limite d'être peu sensible. En effet, plusieurs études n'ont pas obtenu de différence significative entre des populations cliniques vs. contrôle avec ce questionnaire, alors même qu'une différence significative était observée à un test objectif de MP (Heffernan et al., 2010 ; Heffernan & O'Neill, 2012 ; Thompson et al., 2015). En testant la validité de ce *questionnaire de mémoire rétrospective et prospective* (PRMQ), Crawford et al. (2003) ont réalisé une analyse factorielle confirmatoire qui n'a pas permis de valider l'hypothèse de deux facteurs distincts : les intentions TB vs EB. Il semble donc que la sensibilité concernant la variation des scores pour les items TB et EB ne soit pas suffisamment forte pour dégager ces deux facteurs, au-delà d'un score global de mémoire prospective. Cette limite du questionnaire quant à la possibilité de détecter efficacement les troubles de la MP peut aussi s'expliquer par la nature d'auto-évaluation du questionnaire. En effet, une absence de corrélation entre les réponses auto-évaluées des patients et celles des proches de ces patients a été relevée dans plusieurs études (pour revue, voir Blondelle et al., 2020). Par ailleurs, cette remarque ne se limite pas au PRMQ, la validité convergente ou divergente de nombreux questionnaires auto-complétés de la MP

s'avèrent être très faibles (Uttl & Kibreab, 2011). Si les questionnaires sont généralement utilisés pour évaluer l'impact des troubles de la MP sur la vie quotidienne, aux vues de leurs limites, il reste indispensable de recourir à des outils mesurant, de manière objective, la fonctionnalité de la MP des patients (Henry, 2021).

Concernant les tâches uniques parfois utilisées lors du bilan neuropsychologique, il en existe trois : le test de l'enveloppe, le test de la carte d'invitation et le test du téléphone (Blondelle et al., 2020). Ces tâches simples ont l'avantage d'être rapides à administrer mais elles ont pour limite de n'évaluer la MP que sur un seul essai et avec un seul type d'indice prospectif (EB pour les deux premières, et TB pour la troisième). Par exemple, dans le test de l'enveloppe (Huppert et al., 2000), il est indiqué au patient qu'il devra écrire un nom et une adresse sur une enveloppe lorsque l'examineur déposera l'enveloppe sur le bureau. La tâche permet d'évaluer à la fois la composante prospective et rétrospective de la MP. En effet, un point est accordé pour la détection de l'indice (l'enveloppe) et un point est accordé si l'action associée est correctement et entièrement exécutée (marquer le bon nom et la bonne adresse). Ces tâches simples sont suffisamment sensibles pour discriminer une population clinique d'une population contrôle (Test de l'enveloppe : Lee et al., 2016 ; Test de la carte d'invitation : Delprado et al., 2012 ; Test du téléphone : Hsu, Huang, Tu & Hua, 2015). Toutefois, étant composées d'un seul essai, elles limitent la possibilité d'identifier clairement la nature du déficit cognitif lorsque le patient échoue. Hsu et al. (2014) ont ainsi relevé une corrélation significative entre les scores des participants au test du téléphone et au PRMQ, tant pour la partie portant sur la mémoire prospective que pour la partie portant sur la mémoire rétrospective du questionnaire. Ce constat suggère que le test du téléphone permet de détecter des difficultés mnésiques, mais sans pour autant déterminer si ces difficultés portent spécifiquement sur la MP, ou sur la mémoire en général.

Dans une récente méta-analyse, Blondelle et al. (2020) ont présenté les trois tâches uniques évoquées ci-dessus, et cinq batteries de tests dévolues à une évaluation plus complète de la MP :

- Le Rivermead Behavioural Memory Test (RBMT), conçu par Wilson et al. (1985), est composé de 11 subtests évaluant la mémoire, dont trois évaluent spécifiquement la MP. Ce test présente une sensibilité suffisante pour détecter des difficultés mnésiques chez des patients souffrant d'atteinte cérébrale. Toutefois, les trois subtests de MP évaluent uniquement des intentions EB et les scores produisent le plus souvent un effet plafond (Mathias & Mansfield, 2005).
- Le Cambridge Behavioral Prospective Memory Test (CBPMT), conçu par Kime et al.

(1996), comprend quatre tâches EB et quatre tâches TB. Les propriétés psychométriques de cette batterie n'ont pas été mesurées, mais elle s'est avérée suffisamment sensible pour différencier un groupe de patients souffrant d'atteinte cérébrale, d'un groupe contrôle (Groot, Wilson, Evans, & Watson, 2002). Le CBPMT laisse la possibilité aux participants de prendre des notes au moment de l'encodage, ce qui permet de se rapprocher davantage de la réalité du quotidien des participants, mais cela entraîne également un biais dans les résultats (Groot et al., 2002).

- Le Cambridge Test of Prospective Memory (CAMPROMPT) est une version améliorée du CBPMT, conçu par Wilson et al. (2005). Il comprend trois tâches EB et trois tâches TB. Il présente une validité convergente modérée avec le RBMT ($r = .38$), et une sensibilité suffisante pour distinguer des groupes de participants consommateurs de substances (tabac et/ou alcool) de groupes contrôles (Heffernan, O'Neill, & Moss, 2010 ; Heffernan & O'Neill, 2012).
- Le Memory for Intentions Screening Test (MIST ; Raskin, 2004) comprend quatre tâches EB et quatre tâches TB, ainsi qu'une tâche TB différée, dans laquelle le participant doit laisser un message vocal à l'expérimentateur 24h après l'expérience. Le MIST est fortement corrélé aux subtests de MP du RBMT ($r = .80$), confirmant sa validité convergente (Raskin, 2009). Il est également significativement corrélé aux performances de MP pour des activités de la vie quotidienne, recueillies à l'aide d'un journal de bord (Raskin & Buckheit, 2001 ; Raskin et al., 2004), ce qui suggère une bonne validité écologique. Raskin (2009) a précisé qu'un aspect important du MIST était de proposer des intentions de deux natures : verbale et basée sur une action. En effet, la saillance des intentions peut varier selon qu'il s'agisse de simplement « dire » quelque chose, ou bien « faire » quelque chose.
- Le Royal Prince Alfred Prospective Memory Test (RPAProMem ; Radford et al., 2011), propose deux tâches EB et deux tâches TB, ainsi qu'une tâche différée à une semaine. Cette batterie présente également une bonne validité écologique, comme l'indique sa forte corrélation à l'échelle des Activités Instrumentales de la Vie Quotidienne (IADL ; Lawton & Brody, 1969). Elle est suffisamment sensible pour repérer les déficits en MP chez patients souffrant d'atteintes neurologiques (Radford et al., 2011). Les performances issues de ce test ne sont pas corrélées à celles du MIST et cela s'explique d'une part par le fait que les participants peuvent prendre des notes, et d'autre part, par l'absence de « tâche en cours » venant faire concurrence à la tâche de MP.
- Enfin, le Miami Prospective Memory Test (MPMT - Loewenstein & Acevedo, 2004),

qui n'a pas été pris en compte dans la méta-analyse Blondelle et al. (2020), a récemment été utilisé dans plusieurs études (Bedard et al. 2017 ; Brando et al., 2023 ; Hernandez Cardenache et al., 2014 ; Simard et al., 2018). Ce test comporte : une intention EB, qui consiste à distribuer une enveloppe, avec de l'argent à l'intérieur, lorsqu'une alarme sonne, et deux intentions TB, qui consistent à demander à nouveau cette enveloppe contenant des cartes au bout de 15 minutes, puis, à redemander cette même enveloppe au bout de 30 minutes. Ce test présente une fiabilité test-re-test correct ($r = .58$ pour score EB ; $r = .55$ pour score TB $r = .65$ pour score total) et une sensibilité suffisante pour distinguer une population MCI d'une population contrôle (Hernandez Cardenache et al., 2014). Mais la validité de contenu et la validité convergente de ce test n'ont pas été évaluées.

La diversité des outils développés pour évaluer la MP dans le domaine clinique des psychologues met en exergue la complexité de cette activité cognitive et les contraintes qui pèsent sur la construction d'un outil psychométrique. La sensibilité des questionnaires auto-complétés est limitée (Henry, 2021). Les tâches uniques (exemple : test de l'enveloppe) et même certaines batteries ne comprennent pas suffisamment d'items pour évaluer la MP (exemples : RBMT, MPMT) pour les utiliser comme des tests psychométriques, et donner lieu à des analyses fines permettant de confirmer leur fiabilité interne, la fiabilité test-retest et leur validité convergente ou encore de mener une analyse factorielle.

L'évaluation de la MP nécessite de pouvoir explorer des mécanismes propres à la réalisation d'intentions EB ou TB après un intervalle (court ou long) entre l'encodage et la récupération, et selon que l'intention à exécuter est une réponse verbale ou une action (Raskin, 2009). Par ailleurs, le développement récent de recherches expérimentales sur la MP, de plus en plus nombreuses, a permis d'identifier de nouveaux facteurs impliqués dans son fonctionnement, et devront être progressivement intégrés aux futurs outils d'évaluation clinique de la MP. C'est le cas, par exemple, de la nature focale ou non focale de l'activité concurrente ; ou encore de la nature habituelle ou exceptionnelle de l'indice, qui joue sur sa saillance. Mais les équipes qui développent les batteries de tests de la MP doivent aussi tenir compte des contraintes de la réalité de terrain, le bilan neuropsychologique étant déjà long à réaliser, il est difficile d'y ajouter une évaluation exhaustive de la MP. Malgré tout, certains auteurs (Potvin et al., 2011 ; Titov & Knight, 2001) mettent en avant que, sans assurer une évaluation exhaustive des processus impliqués dans la MP, il est possible d'évaluer la MP au plus proche de la réalité, en proposant des outils plus écologiques. Dans la partie suivante, nous allons exposer les caractéristiques et apports de l'évaluation écologique de la MP, notamment le rôle de la réalité

virtuelle.

3. Réalité virtuelle et validité écologique dans l'évaluation de la mémoire prospective

3.1. Validité écologique : définition

La validité écologique d'un test est définie comme sa capacité à produire des conditions d'évaluation suffisamment proches des activités du quotidien, pour que les observations qui en découlent soient similaires à ce qui serait observé en conditions naturelles (Sbordone, 1996). La question de la validité écologique a fait l'objet d'un intérêt grandissant ces dernières décennies, avec pour constat de départ le différentiel entre les performances (e.g. scores objectifs) issues des tests neuropsychologiques, et le vécu des patients dans leur quotidien (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003). La validité écologique d'un test repose sur deux conditions principales (Gioia & Isquith, 2004) : (1) la « vérisimilitude » du test, qui signifie que la forme que prend le test doit correspondre – en termes de format et de coût cognitif induit - à une activité de la vie quotidienne ; et (2) la « véridicité » du test, qui correspond à sa capacité effective à prédire les comportements et performances visés dans la vie quotidienne. La véridicité peut s'évaluer, à l'instar de la validité concordante, en comparant les résultats du test neuropsychologique à des mesures de la vie quotidienne, rapportées par les participants. Par exemple, la validité écologique peut être évaluée à travers des corrélations entre les performances de participants à deux tâches EB de MP en laboratoire, et l'exécution d'intentions EB dans leur quotidien, rapportée par les participants dans un journal hebdomadaire (Unsworth, Brewer & Spillers, 2012). Dans une récente méta-analyse, Jones, Bengt et Scullin (2021) ont pointé les faiblesses de véridicité d'une grande partie des évaluations expérimentales de la MP. En effet, plusieurs études présentées dans cette méta-analyse démontraient un bénéfice de la technique de remédiation testée (implémentation d'intention, images mentales, apprentissage espacé, etc.) lors de l'évaluation en laboratoire, mais sans que ce bénéfice ne soit transféré à la vie quotidienne, d'après les retours des participants et/ou de leurs proches.

La faible véridicité des évaluations en laboratoire de la MP suggère une nécessité de questionner la vérisimilitude de ces évaluations. L'objectif de vérisimilitude est poursuivi en identifiant les éléments écologiques ayant une influence réelle sur la fonction testée, afin d'être au plus proche d'une situation du quotidien, tout en maintenant au mieux le contrôle des différents facteurs et la standardisation de l'évaluation. De fait, la vérisimilitude s'appuie sur des modèles théoriques concernant la manière dont la compétence étudiée est normalement mobilisée dans la vie quotidienne.

3.2. Validité écologique dans l'évaluation de la mémoire prospective

Le bilan neuropsychologique est parfois mené en vue d'une aide au diagnostic. Il consiste alors à quantifier le degré de difficultés engendrées par la symptomatologie. Le bilan neuropsychologique porte également l'objectif d'identifier les contraintes quotidiennes et les besoins du patient en termes de remédiation cognitive. Dans l'évaluation de la MP, les déficits sont rarement identifiés comme indicateur diagnostic, mais sont évalués dans le but de cerner l'incapacité ou la limitation d'activité au quotidien. Par conséquent, plusieurs auteurs ont mis en évidence la nécessité de disposer d'outils d'évaluation écologique de la MP lors de l'évaluation neuropsychologique (Phillips, Henry, & Martin, 2008 ; Rummel & Kvavilashvili, 2019 ; Titov & Knight, 2001).

Les tâches expérimentales et les batteries de tests évaluant la MP existent sous des formats variés (cf. Chapitre 2, partie 2, p. 16-21). La tâche expérimentale développée par Einstein et McDaniel (1990), qui a été largement utilisée dans la recherche sur la MP a parfois été qualifiée de « drosophile » par les chercheurs en MP (Rummel & Kvavilashvili, 2019). En effet, comme l'utilisation de drosophiles en génétique, les tâches simples de la MP offrent un accès aisé à une quantité importante de données et permettent de manipuler aisément différents facteurs qui influent sur la MP. Mais, tout comme la drosophile - qui offre une abondante matière pour la recherche mais qui s'avère insuffisamment prédictive des réalités génétiques chez l'être humain – les tâches simples de la MP prédisent difficilement la réalité du fonctionnement de la MP dans la vie quotidienne. En effet, certains constats tirés des études expérimentales rejoignent la réalité observée sur le terrain (par exemple : la différence de difficulté entre intentions TB et intentions EB, Einstein & McDaniel, 1990). Dans d'autres cas en revanche des résultats divergents entre les observations en laboratoire et la vie réelle sont relevés comme, par exemple, les performances des personnes âgées, qui montrent un déficit de MP en laboratoire, alors que ces mêmes participants âgés présentent des capacités de MP tout à fait maintenues dans leur vie quotidienne (Rendell & Thomson, 1999). La question de la véridicité des évaluations de la MP soulève donc en miroir la question de la vérisimilitude des performances en vie quotidienne

Pour rappel, les batteries de tests d'évaluation de la MP (pour revue voir Blondelle et al., 2020) ont pour limite de proposer des intentions souvent éloignées de la réalité du quotidien des patients. Par exemple, dans le MIST (Raskin, 2009) l'une des consignes pour les intentions EB est : « quand je vous tendrai un stylo rouge, vous signerez en bas de la feuille ». Or, ce type de directive est généralement rappelée par la personne qui vous demande de signer le papier, ou alors bien souvent, cette directive est réalisée par la personne lorsqu'elle termine de

compléter un formulaire – il s’agit plus d’une injonction que d’une intention, outre le fait qu’elle soit fortement dépendante du contexte et de l’activité en cours. Cette intention est alors plutôt du type « activity-based ». Comme l’ont suggéré Titov et Knight (2001), l’évaluation de la MP doit idéalement proposer plusieurs mesures correspondant à la variété des types d’intentions et d’indices prospectifs rencontrés dans la vie quotidienne. Il faut également que la tâche soit suffisamment longue et contienne suffisamment d’items, pour que l’évaluation soit sensible. Enfin, il faut que la tâche soit la plus réaliste possible, afin de rendre compte au mieux des difficultés rencontrées par les patients au quotidien. Dans une récente méta-analyse, Jones et al. (2021) ont déterminé précisément trois points permettant de noter la qualité écologique des évaluations de la MP : (1) la réalisation effective d’une intention future (et non une simple auto-évaluation de ses performances en MP) ; (2) dans un environnement autre que celui du laboratoire ; (3) des intentions habituellement pratiquées par le participant, et non artificiellement produites par le cadre expérimental. Parmi les évaluations les plus écologiques, Jones et al. (2021) nomment notamment la tâche de MP utilisée dans l’étude de Yip & Man (2013), durant laquelle les participants devaient mémoriser des items à aller acheter ensuite dans un supermarché. La limite de cette tâche toutefois est qu’il est impossible de standardiser la tâche, puisque de nombreux éléments inattendus peuvent survenir dans un supermarché (par exemple, le participant peut y rencontrer une connaissance et être perturbé dans l’exécution de la tâche).

Afin de proposer un environnement proche du réel, tout en gardant le contrôle sur cet environnement, afin que la tâche soit standardisée, de nouveaux formats de tâches expérimentales ont vu le jour. Titov et Knight (2001) ont ainsi développé la Prospective Remembering Video Procedure (PRVP). Dans la PRVP, les participants doivent mémoriser - et récupérer au bon moment - 21 intentions *event-based*. Cette procédure comporte l’avantage de mettre les participants dans une situation proche de la vie quotidienne, puisqu’ils sont amenés, tout au long du test, à regarder une vidéo qui leur présente une ville, « *comme s’ils conduisaient dedans* ». Chaque fois qu’ils identifient l’un des 21 indices prospectifs qu’ils ont préalablement mémorisés, les participants doivent appuyer sur un bouton pour s’arrêter, et dire à voix haute l’action qu’ils sont censés faire. Cette procédure présente un intérêt certain pour ce qui est du contexte écologique (regarder une vidéo comme si on se déplaçait dans une ville au volant d’une voiture), une variété d’intentions EB (exemple : acheter un Big Mac au McDonald), précision du système de cotation (composante prospective et rétrospective). Cependant, cet outil n’évalue pas les intentions *time-based* et ne comporte pas de tâche concurrente. En outre, le délai entre la phase d’encodage et la phase de test est trop court (1

minute) pour que cette épreuve puisse être considérée comme une évaluation de la mémoire à long terme. Tenant compte de ces limites, Potvin et al. (2011a) se sont inspirés du PRVP et ont proposé un nouvel outil pour évaluer la MP : le Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP).

Potvin et al. (2011a) ont réalisé un film de 20 minutes qui présente un parcours en voiture dans différents quartiers (commerciaux, résidentiels et industriels) d'une ville canadienne. La perspective utilisée par les auteurs donne au participant l'impression d'être au volant de la voiture. Lors du parcours, le participant doit se souvenir de réaliser des actions à des moments précis. Le TEMP permet d'évaluer de manière distincte les composantes prospectives et rétrospectives de la MP, et avec 10 intentions EB et 5 intentions TB. Une tâche en cours a également été ajoutée, elle consiste à écouter attentivement un bulletin radio tout au long du test. Le TEMP présente de bonnes qualités psychométriques, qui sont présentées dans le chapitre 4 de cette thèse (p. 73), en introduction des données de validation de notre propre protocole expérimental, adapté du TEMP.

Enfin, si on se réfère à la revue de littérature de Blondelle et al. (2020), d'autres outils à visée d'évaluation plus écologique ont vu le jour dans les années 2000, comme le test Virtual Week / Actual Week (Rendell & Craik, 2000). La Virtual Week est un jeu comprenant un plateau de 122 cases, dont 10 cases « événements » et 15 cases indiquant les heures de la journée (de 7 heures à 22 heures). La tâche en cours dans cette procédure, est assurée par les cases « événement » qui, dès qu'on les passe, implique de piocher une carte « événement ». Chaque carte présente une situation pour laquelle le participant doit faire un choix. Par exemple, la carte précise : « c'est l'heure du petit-déjeuner, que choisissez-vous : céréales, gaufres ou œufs brouillés ? ». En parallèle de ces tâches « événements », le participant a 10 intentions prospectives (5 intentions TB et 5 intentions EB) à mémoriser et à exécuter au moment venu. L'aspect ludique de cette procédure permet d'assurer l'engagement du participant dans l'activité. Afin de tester les performances des participants dans leur vie quotidienne, Rendell et Craik (2000) ont conçu une version de la *virtual week* appliquée à la vie quotidienne des participants : l'*actual week*. Au cours d'une semaine habituelle, de leur vie quotidienne, les participants devaient exécuter à un moment prédéterminé, 10 intentions prospectives préalablement mémorisées et similaires à celles de la *virtual week*. Lorsque c'était le moment d'exécuter une intention, les participants devaient enregistrer le contenu de l'intention sur un dictaphone. En aucun cas, ils n'étaient autorisés à utiliser des aides externes. Les auteurs ont relevé une différence significative de performances, entre le groupe de participants jeunes et le groupe de participants âgés au jeu « *virtual week* ». En revanche, cette différence de score

n'était pas retrouvé avec l'*actual week*. Ce paradoxe de l'effet de l'âge est partiellement attribué à la plus ou moins importante validité écologique des deux tests. En effet, selon Rendell et Craik (2000), les tâches concurrentes peuvent être différentes en fonction de l'âge dans la vie réelle (actif vs retraité, par exemple), alors que la *virtual week* impose la même tâche concurrente à tous les participants. De même, l'effort attentionnel intense mais de courte durée induit par la *virtual week* semble favoriser les participants jeunes, quand un effort attentionnel plus étalé dans le temps avec l'*actual week* peut mettre en difficulté les jeunes comme les âgés.

Que ce soit avec un support vidéo (PRVP ; TEMP) ou un jeu (*virtual week*) ou même une véritable semaine dans la vie des participants (*actual week*), le développement d'outils plus écologiques est grandissant. Toutefois, une vidéo ou un jeu, de par leur finalité, restent assez éloignés des situations de la vie quotidienne dans lesquelles les individus élaborent des intentions prospectives en vue de répondre à des objectifs qui leur sont propres. Néanmoins, des tests qui se déroulent complètement en dehors du laboratoire, tels que l'*actual week*, sont difficiles à mettre en place et à contrôler (notamment concernant l'utilisation d'aides externes). Face à cette difficulté d'être au plus près du quotidien tout en maintenant la rigueur expérimentale de l'évaluation de la fonction, de plus en plus de chercheurs et de psychologues praticiens examinent l'apport de la réalité virtuelle dans l'évaluation de la MP.

3.3. La réalité virtuelle : une piste pour l'évaluation écologique de la mémoire prospective ?

Depuis une vingtaine d'années, la Réalité Virtuelle (RV) est une nouvelle technologie en expansion dans tous les domaines d'activités, dont les secteurs de la santé. La RV génère un environnement virtuel qui est perçu par des entrées sensorielles (visuelles, auditives, tactiles), et avec lequel le participant peut interagir en temps réel/en ligne (Knight & Titov, 2009). La RV repose sur deux principes : (1) l'interaction en temps réel avec des objets et/ou des humains virtuels ; (2) l'immersion, qui correspond au sentiment d'être dans un monde virtuel (Malbos et al., 2013) ; ainsi, « L'interaction et l'immersion doivent être en partie réalisées, même modestement, pour parler d'un système basé sur des techniques de réalité virtuelle » (Fuchs et al., 2006, p. 8). De nombreuses études ont démontré les avantages potentiels d'évaluer la MP dans un environnement virtuel (Attree et al., 2009 ; Gonneaud et al., 2012 ; Dong et al, 2016 ; Duivion et al, 2018 ; Man et al, 2018 ; Girardeau et al, 2020 ; Hogan et al, 2023 ; Kourtesis et al, 2021). Avec la RV, les participants sont confrontés aux stimuli d'intérêt (par exemple, les indices prospectifs), mais aussi à un contexte entier, riche en détails perceptifs (par exemple

une ville avec des personnes en mouvement, le bruit des voitures, etc.) et spatiaux (le fait que les participants aient le contrôle sur leurs déplacements, et donc sur l'espace qu'ils explorent).

L'un des principaux intérêts de la RV est la « présence », qui peut être définie comme le sentiment d'être « présent » dans l'environnement virtuel (Heeter, 1992). Ce sentiment de présence est principalement dépendant du degré d'interactions possibles avec l'environnement virtuel et du réalisme visuel de celui-ci, mais aussi de la multimodalité de l'environnement (auditif, proprioceptif, etc), ou encore de la durée d'immersion (Lecouvey, Gonneaud, Eustache & Desgranges, 2012). Dans le cadre de l'évaluation de la MP, Knight et Titov (2009) ont identifié plusieurs indicateurs de la « présence », qui permettent une évaluation plus complète des processus mis en œuvre dans une tâche de MP. Tout d'abord, ils ont souligné l'importance de la navigation spatiale, qui est souvent mobilisée lorsque nous sommes amenés à exécuter des intentions prospectives dans la vie courante, et qui peut être virtuellement reproduite – là où les tâches expérimentales classiques sont circonscrites à l'espace du bureau auquel se fait la passation. Ensuite, ces auteurs ont relevé la sollicitation plus accrue de l'attention, par des bruits ambiants, par des micro-interruptions de la tâche en cours par l'intervention d'avatars, etc. En effet, les tâches expérimentales classiques contiennent généralement une tâche concurrente, alors que le dispositif de RV, en plus d'une tâche concurrente, permet d'introduire d'autres distracteurs. La mémoire épisodique est aussi plus efficace dans un environnement de RV que dans une salle de laboratoire, de par la richesse du contexte d'encodage et de récupération que l'environnement virtuel permet. Par exemple, le fait de mémoriser une liste d'éléments dans un bureau virtuel conduit à des performances de mémorisation plus élevées chez les patients traumatisé-crâniens comparées à celles issues d'un test classique d'apprentissage d'une liste de mots (Matheis et al., 2007). L'environnement virtuel offre à l'encodage et à la récupération un plus grand nombre d'indices susceptibles de favoriser l'apprentissage et la restitution du matériel à apprendre. Enfin, Knight et Titov (2009) ont relevé une mobilisation plus systématique des fonctions exécutives dans une tâche de MP en RV que dans les tests de MP classiques. Par exemple, dans une récente étude, la tâche concurrente proposée aux participants dans un test de MP en RV consistait à faire des courses dans différents magasins, ce qui mobilise fortement les capacités exécutives (Canty et al., 2014). Tout en se déplaçant dans l'environnement virtuel pour faire leurs courses, les participants devaient exécuter trois intentions TB (envoyer un sms à 4ème, 8ème et 12ème minutes) et trois intentions EB (appuyer sur une touche prédéfinie chaque fois qu'ils entendaient une annonce publicitaire). Les activités concurrentes correspondent à des activités fréquentes de la vie quotidienne (faire la cuisine, faire les courses, conduire, etc), et sont plus prenantes et coûteuses que des mono-tâches

(exemple : tâche de décision lexicale), proposées dans les tâches classiques de MP (Kourtesis, Collina, Doumas & McPherson, 2021).

Toutefois, la réalité virtuelle comporte des limites. Il s'agit d'un outil plutôt coûteux financièrement en ce qui concerne la conception d'un environnement particulier pour un dessein bien spécifique comme l'étude d'une fonction cognitive, même si le matériel (casques de réalité virtuelle et manettes) est désormais plus accessible financièrement. De plus, la RV est un outil qui comporte encore certaines incohérences par rapport à la réalité. Notamment, le schéma corporel du participant peut être mis à mal s'il est représenté sous la forme d'un avatar, car les mouvements du corps captés et retranscrits en mouvements de l'avatar ne sont pas assez précis pour reproduire avec exactitude la biomécanique du corps humain (Viaud-Delmond, 2007). Enfin, le « cybermalaise » est encore observé chez certains participants. Le cybermalaise se manifeste par des nausées, vertiges et céphalées. Ce phénomène serait multifactoriel avec, principalement, l'implication de l'instabilité posturale (balancements, surtout en position debout) et de l'incohérence sensorielle (Rebenitsch & Owen, 2016). L'incohérence sensorielle est notamment provoquée par la vection, qui correspond au déplacement virtuel de l'individu. En effet, dans un environnement virtuel, si le participant est matérialisé par un avatar qui se déplace (à pied, en voiture, etc.) et que ces déplacements lui sont signifiés par des informations visuelles mais que son corps réel reste immobile, l'incohérence alors produite entre les informations visuelles et vestibulaires peut entraîner un malaise. Ce phénomène a d'ailleurs été identifié en présence ou non d'un avatar.

La MP est un processus complexe, qui mobilise différentes fonctions cognitives à chacune de ses étapes (formation de l'intention, stockage, détection de l'indice, exécution de l'intention). Des processus plus ou moins automatiques sont mobilisés en fonction de la nature de l'intention (EB ou TB) et de la tâche concurrente. Pour répondre à cette complexité, les tâches expérimentales et les tests développés pour évaluer la MP doivent prendre en compte de nombreux facteurs, et proposer des conditions d'évaluation les plus écologiques possible. L'importance de la précision et des qualités écologiques de l'évaluation de la MP réside notamment dans son apport au niveau clinique. En effet, dans de nombreuses pathologies entraînant des troubles cognitifs, les difficultés de MP sont une plainte majeure (pour revue, voir Fish, Wilson & Manly, 2010). L'une des pathologies dans lesquelles les difficultés de MP sont récemment de plus en plus explorées est la sclérose en plaques (SEP). Dans le chapitre suivant, nous présenterons cette pathologie et les difficultés de MP qui y sont liées.

Chapitre 2. Les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques

Introduction

Les apports récents de la recherche en psychologie cognitive sur la MP ont été impulsés par les problématiques rencontrées par des personnes / patients présentant des difficultés associées à la MP. En effet, les perturbations de la MP représentent une problématique majeure en termes d'impacts sur l'autonomie des individus (Woods et al., 2012). Que ce soit pour honorer des rendez-vous professionnels, penser à envoyer une carte d'anniversaire ou encore prendre ses médicaments aux bons moments de la journée, la MP est essentielle à l'organisation de la vie quotidienne. Par ailleurs, les déficits de la MP sont retrouvés dans de nombreuses pathologies, caractérisées par des atteintes multiples, corticales et sous corticales. Les troubles de la MP sont ainsi présents chez les patients atteints de la maladie de Parkinson (Kliegel, Altgassen, Hering & Rose, 2011), de traumatismes crânio-encéphaliques (Shum, Fleming & Neulinger, 2002), présentant un *Mild Cognitive Impairment* (Costa, Caltagirone & Carlesimo, 2011) ou encore chez les patients atteints du SIDA (Carey et al., 2006). Pour les personnes atteintes de la SEP, les troubles de la MP s'avèrent être un symptôme qui peut apparaître très tôt dans la maladie, potentiellement prédicteur de détériorations futures du fonctionnement cognitif des patients (Benedict et al., 2020).

1. La Sclérose En Plaques

1.1 Étiologie et sémiologie

La SEP est une maladie chronique caractérisée par l'inflammation du système nerveux central. Cette inflammation est provoquée par une détérioration auto-immune de la gaine de myéline tant au niveau de la moelle épinière, qu'au niveau des tissus du cerveau (Dobson & Giovannoni, 2019). La gaine de myéline a pour fonction de faciliter la conduction des messages nerveux ; son atteinte provoque donc un ralentissement et une perturbation de la conduction du message nerveux. La SEP présente une sémiologie complexe et variable. En effet, les zones d'inflammation induites par la SEP ne suivent pas de topographie claire, chaque patient pouvant présenter un nombre et des localisations de plaques différents. Il faut toutefois noter que l'inflammation est axonale, elle touche donc la matière blanche du système nerveux central, et est particulièrement présente dans le lobe frontal et le corps calleux (Brownell & Hughes, 1962). La SEP est une maladie auto-immune, dont l'étiologie n'est pas encore clairement déterminée. L'origine de la réaction auto-immune, qui conduit les lymphocytes à attaquer la

gaine de myéline, reste encore complexe à cerner, avec des pistes génétiques et environnementales variables (Dobson et Giovanni, 2019). L'origine génétique est très vite apparue comme une piste fiable. En effet le risque de développer la maladie quand l'autre l'a développée, est de 27% chez les jumeaux homozygotes, contre 6,5 % chez les jumeaux hétérozygotes (Ebers, 2008). Brassat (2010) revient cependant sur ces découvertes en précisant que « la SEP n'est pas héréditaire car la susceptibilité génétique est portée par une quinzaine de gènes qui ne sont jamais transmis en bloc. Même si un parent atteint de la maladie transmet de nombreux gènes de susceptibilité à ses enfants, tout n'est pas joué à la naissance, puisque, ensuite, pour développer la maladie, il faut que l'enfant rencontre différents facteurs d'environnement » (p. 342). Parmi les observations soutenant l'hypothèse de facteurs génétiques, le sexe ratio observé dans la SEP a, lui aussi, soulevé son lot de questions. En effet, la SEP touche principalement les femmes (*sex-ratio* de 3 pour 1) (Brassat, 2010). Toutefois, aucune implication de gènes présents sur le chromosome X n'a pu être identifiée, et les chercheurs tendent à privilégier l'hypothèse environnementale d'une implication des hormones dans l'augmentation du risque chez les femmes (Brassat, 2010). Toujours parmi les pistes suggérant un rôle des facteurs génétiques, l'observation d'un gradient géographique d'occurrence de la SEP a été soulevée. Il existe une prévalence de la maladie bien plus importante dans les pays du nord comparé aux pays du sud. Toutefois, cette distinction nord/sud pourrait trouver une explication environnementale, plus que génétique. En effet, plusieurs études ont montré que les patients atteints de SEP avaient un taux de vitamine D dans l'organisme, significativement moins élevé que les sujets sains (pour revue, voir Sintzel, Rametta & Reder, 2018). Les habitants des pays du nord, bénéficiant d'un ensoleillement plus faible, et donc d'un moindre apport en vitamine D, sont plus à risque de développer une SEP que les habitants des pays du sud. Sur le plan physiopathologique, l'effet de la vitamine D dans la SEP passerait par une immuno-modulation (i.e. réduction de l'activité lymphocytaire). Enfin, d'autres facteurs environnementaux ont été plus récemment identifiés, tels que l'infection par le virus d'Epstein-Barr à l'âge adulte (Soldan & Lieberman, 2022) ; ou encore le tabagisme (Vukusic, 2012).

La SEP se déclenche assez tôt dans la vie des patients, avec un âge moyen d'apparition de 32 ans (Depaz, Aboab & Gout, 2013). Cette maladie est la première cause de handicap neurologique non traumatique de l'adulte jeune, et elle touche environ 151 personnes pour 100 000 habitants chaque année en France (Foulon et al., 2017). Cependant, toutes les formes de SEP ne sont pas égales quant à l'impact sur la vie des patients. Il existe en effet quatre formes de SEP : (1) le *Clinically Isolated Syndrome* (CIS) qui correspond à la survenue d'une seule

poussée caractéristique de la SEP, sans rechute par la suite ; (2) la forme rémittente-récurrente qui correspond à des successions de poussées entrecoupées de phases de rémission ; (3) la forme primairement progressive, qui correspond à un déficit neurologique lentement progressif sans récupération ; (4) la forme secondairement progressive, qui correspond au passage de la forme rémittente à la forme progressive, en moyenne 20 ans après la première poussée (Lublin et al., 2014). La forme primairement progressive, qui entraîne un niveau de handicap le plus important, est aussi la plus rare (elle représente seulement 15 % des cas). Du fait de la topographie variée des atteintes produites par la SEP, la symptomatologie de cette pathologie est très polymorphe et rend le diagnostic parfois compliqué. Très souvent, les premières manifestations symptomatiques d'une poussée sont des troubles sensorimoteurs. Pour la SEP rémittente-récurrente, les symptômes primaires peuvent être les suivants (Depaz, Aboab & Gout, 2013) : (1) névrite optique (25% des cas), qui correspond à une baisse d'acuité et une altération du champ visuel ; (2) myélite (35% des cas), qui peut entraîner des paresthésies (sensation de fourmillements/picotements dans certaines parties du corps), un syndrome pyramidal (affaiblissement de la commande motrice, spasticités), et/ou des troubles vésico-sphinctériens ; (3) atteinte de la fosse postérieure (20%), qui provoque un syndrome cérébelleux et/ou syndrome vestibulaire ; (4) autres (20% des cas) qui réunit une altération de l'état général, ou encore des symptômes plus exceptionnels tels qu'une hémiplégie, aphasie, ou syndrome extra-pyramidal. Dans les formes progressives de la SEP, ces mêmes symptômes peuvent survenir, mais ils ne sont pas suivis de phases de rémission et conduisent à une perte progressive de l'autonomie des patients. L'évolution attendue de la marche dans ce cas de figure comprend une réduction progressive du périmètre de marche, entraînant le recours au fauteuil roulant, en moyenne 30 ans après le début de la maladie (Depaz, Aboab & Grout, 2013). Enfin, il est important de noter que le symptôme le plus couramment rapporté dans la SEP (entre 70 et 90% des cas), toutes formes confondues, est l'extrême fatigabilité des patients (Béthoux, 2006).

1.2 Diagnostic, traitement et veille de l'évolution de la maladie

Selon les critères diagnostics de McDonald et al. (2001), révisés par Polman et al. (2011), le diagnostic d'une SEP se fait sur la base d'observation de lésions du système nerveux central disséminées (1) spatialement et (2) temporellement. La dissémination spatiale des lésions se détecte à l'aide d'une IRM, avec la présence de lésions dans au moins deux zones du système nerveux central typiquement impactées dans la SEP. Pour la dissémination temporelle, une nouvelle IRM est réalisée plus de 30 jours après la première, afin d'observer une potentielle évolution. L'existence avérée d'au moins deux poussées constitue d'emblée une preuve de la

dissémination temporelle des lésions. La présence de bandes oligoclonales dans le liquide céphalo-rachidien, détectée à l'aide d'une ponction lombaire, est un indicateur qui est utilisé pour les formes atypiques, car il n'est pas indispensable et pas toujours fiable (Depaz, Aboab et Gout, 2013). Une fois diagnostiqué, le patient atteint de SEP se voit proposé un traitement adapté à ses caractéristiques cliniques. Il existe deux catégories de traitements dans la SEP (Dodson & Giovanni, 2019) : (1) les traitements symptomatiques, tels que la cortisone pour réduire l'intensité d'une poussée, et les antalgiques pour réduire la douleur neuropathique ; (2) les traitements visant à modifier l'évolution de la maladie sur le long terme. Cette seconde catégorie de traitement comprend, en première intention, les immunomodulateurs (interférons β) qui réduisent de 30% la fréquence des poussées. En seconde intention thérapeutique, ce sont les immunosuppresseurs qui sont prescrits. Ces derniers sont plus efficaces pour prévenir les poussées, mais ils présentent également plus de risques d'effets secondaires graves.

La SEP a peu d'influence sur l'espérance de vie des patients, mais elle est vectrice de handicaps (réduction du périmètre de marche, difficultés à communiquer, à se nourrir, etc.) (Vukusic, 2012). C'est pourquoi la surveillance du niveau de handicap induit par la SEP fait l'objet d'un intérêt particulier dans l'accompagnement clinique des patients. Développée par Kurtzke, en 1983, l'échelle « *expanded disability status scale* » (EDSS) permet d'évaluer le niveau de handicap chez les patients atteints de SEP, en prenant en compte huit dimensions qui sont : (1) pyramidale (de « normal » à « tétraplégie »), (2) cérébelleuse (de « normal » à « ataxie interférant avec l'examen »), (3) sensitive (de « normal » à « perte de sensibilité complète en dessous de la tête »), (4) du tronc cérébral (de « normal » à « impossibilité de déglutir ou parler »), (5) visuelle (de « normal » à « acuité inférieure à 0.3 »), (6) sphinctérienne (de « normal » à « perte de fonction urinaire et intestinale »), (7) cérébrale (de « normal » à « démence »), et (8) autres. Les scores issus de l'échelle EDSS vont de 0 (i.e. examen neurologique normal) à 10 (i.e. décès lié à la SEP). Un score supérieur à 6 sur l'échelle EDSS, est communément considéré comme marqueur d'une situation de handicap chez le patient (Meyer-Mooc et al., 2014). Le score EDSS est systématiquement attribué par les médecins neurologues et permet de surveiller l'évolution de la maladie sur le long terme. L'EDSS est un outil essentiel pour le suivi médical des patients. Toutefois, un outil d'évaluation de l'état global des patients SEP, présentant une sensibilité suffisante pour détecter des modifications à court terme, a été conçu dans le cadre de la recherche médicale : le « *Multiple Sclerosis Functional Composite* » (MSFC, Cutter et al., 1999). Le MSCF est composé de trois tests : (1) le Time 25 Foot Walk Test qui évalue la vitesse de marche du patient ; (2) le 9-Hole Peg Test qui examine

la dextérité manuelle du patient ; (3) le *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT) qui évalue l'attention et la mémoire de travail. Le MSCF présente de bonnes qualités psychométriques et une meilleure sensibilité que l'EDSS. Toutefois, il mériterait d'être complété par une mesure des capacités visuelles et de la spasticité (Herndon, 2006). Un test de spasticité est d'ailleurs régulièrement utilisé dans l'évaluation médicale : l'échelle modifiée d'Ashworth (Ashworth et al., 1964 ; Bohannon & Smith, 1987). La spasticité correspond à une augmentation anormale du tonus musculaire, pouvant être associés à des spasmes, et entraînant une hyper-réactivité du réflexe ostéo-tendineux. Elle touche 47% des patients SEP (Barnes, Kent, Semlyen & McMullen, 2003). L'échelle modifiée d'Ashworth est un test simple et subjectif, dans lequel l'expérimentateur opère des mobilisations passives des différents segments des membres inférieurs et supérieurs du patient, et évalue sur une échelle de 0 à 4 le niveau de spasticité. Ce test, bien que présentant une bonne fidélité inter-examineur, reste toutefois imprécis aux vues de la complexité des manifestations de la spasticité (Herndon, 2006).

2. Les troubles cognitifs dans la sclérose en plaques

2.1 Sémiologie des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques

La SEP est souvent associée aux troubles de l'équilibre, de la motricité et de la sensorialité. Le diagnostic repose sur une observation des symptômes – souvent spectaculaires – qui surviennent durant les poussées. Toutefois, il existe des symptômes, à priori plus discrets, qui peuvent être présents en dehors des périodes de poussées, et peuvent représenter une véritable incapacité pour les patients : ce sont les troubles cognitifs. Ils sont présents chez 45% à 70% des patients SEP (Rao et al., 1991), et se manifestent généralement dès le début de la maladie. Les troubles cognitifs peuvent être présents dans les quatre formes de la SEP, mais ils sont plus importants dans la SEP primairement progressive (91.3% contre 44.5% dans la SEP rémittente-récurrente ; Ruano et al., 2017). Les données d'imagerie cérébrale fonctionnelle indiquent une corrélation élevée entre le niveau de destruction de la matière blanche et la présence de troubles cognitifs (Benedict et al., 2020). Toutefois, il est difficile d'identifier clairement les interactions entre les atteintes démyélinisantes et l'expression symptomatique des troubles cognitifs. Les troubles cognitifs dans la SEP sont difficilement identifiables tant ils varient dans leur expression et dans leur intensité d'un patient à l'autre. Cependant, certains patterns de l'atteinte cognitive propres à la SEP ont été mis en évidence. Notamment, Rao et al. (1991) ont identifié un « tableau clinique » récurrent chez les patients atteints de SEP, semblable aux troubles cognitifs typiques d'une « démence sous-corticale ». Dans une récente revue de

littérature, Benedict et al. (2020) ont fait la synthèse des données recueillies ces dernières décennies concernant les troubles cognitifs dans la SEP, et ils ont constaté que : (1) les troubles cognitifs les plus fréquemment observés dans la SEP concernent la vitesse de traitement de l'information (27 à 51% des patients), la mémoire épisodique verbale (29 à 34% des patients) et visuelle (54 à 56 % des patients) ; (2) les troubles cognitifs moins fréquents mais non négligeables concernent les fonctions exécutives (15 à 28% des patients) et les capacités visuo-spatiales (22% des patients) ; (3) de manière beaucoup plus rare, des troubles de l'attention, de la mémoire sémantique et du langage sont observés (moins de 10% des patients).

Initialement, les troubles de la mémoire épisodique verbale et visuelle dans la SEP ont été attribués à des difficultés de récupération de l'information en mémoire. Cette hypothèse reposait sur l'observation des performances lors de rappels libres de listes de mots, qui se trouvaient significativement réduites en situation de rappel indicé et atteignaient un effet plancher en reconnaissance (Grafman et al., 1991 ; Rao et al., 1989). Toutefois, d'autres études ont suggéré que l'origine des troubles de la mémoire épisodique dans la SEP résiderait plutôt au niveau des mécanismes d'encodage des informations. De Luca, Barbieri-Berger & Johnson (1994) ont montré que les patients atteints de SEP avaient effectivement besoin de significativement plus d'essais que le groupe contrôle (en moyenne 8.3 essais pour le groupe SEP contre 4.9 essais pour le groupe contrôle) pour parvenir à mémoriser une liste de 10 mots. De plus, lorsque l'encodage est facilité et renforcé, notamment par un apprentissage sélectif, les différences de performances, au rappel libre, entre les patients SEP et les participants contrôles disparaissent (De Luca et al., 1998). Ce besoin d'essais supplémentaires pour encoder correctement les informations est principalement attribué à un déficit de la vitesse de traitement de l'information et de la mémoire de travail (Chiaravalloti & De Luca, 2008). L'hypothèse centrée sur le déficit de la vitesse de traitement postule que les informations qui arrivent « trop vite » pour le système de traitement, viendraient surcharger les systèmes esclaves de la mémoire de travail, entraînant ainsi une perte partielle des informations traitées lors de l'encodage (DeLuca et al., 2004).

Selon le modèle de Baddeley (2000), la mémoire de travail se compose de trois sous-systèmes (la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial et le buffer épisodique), permettant de maintenir des informations verbales, visuelles ou un ensemble d'informations intégrées dans un tout multi-modal, en mémoire de travail afin de les manipuler. L'activité des trois systèmes esclaves est régulée par l'administrateur central, dont le rôle est d'équilibrer les ressources attentionnelles qui leur sont allouées, afin de répondre au mieux aux besoins de l'activité en cours. Outre le fait que la vitesse de traitement de l'information joue un rôle majeur dans la

possibilité même, pour la mémoire de travail, d'effectuer le traitement des informations nécessaire à leur encodage, une fragilité de la mémoire de travail pourrait être en partie responsable du déficit d'encodage dans la SEP (Sandry et al., 2019). En effet, il apparaît que sur des tâches de mémoire de travail de type N-back (par exemple, additionner le chiffre qui vient d'être présenté avec l'avant-dernier chiffre, i.e. 1-back) les patients SEP ont des performances plus faibles que les participants contrôles, à mesure que la vitesse de présentation des informations augmente – ce qui témoigne de l'impact du déficit de la vitesse de traitement sur la mémoire de travail (Lengenfelder et al., 2006). Mais les scores aux tâches N-back sont également d'autant inférieurs à la norme que la quantité d'information à maintenir en mémoire de travail augmente. Ce phénomène est indépendant du temps imparti pour réaliser la tâche, ce qui indique bien un déficit de la mémoire de travail (Lengenfelder et al., 2006). Or, la mémoire de travail joue un rôle essentiel dans l'encodage d'informations (Desgranges et Eustache, 2020). Par exemple, si un individu essaie de mémoriser une liste de mots, le mécanisme de répétition subvocale exécuté par la boucle phonologique permet le traitement des mots par les différents systèmes de la mémoire à long terme avant d'être stockés en mémoire épisodique. Ainsi, l'hypothèse principale concernant les troubles de la mémoire épisodique dans la SEP pourrait se résumer par ces perturbations interconnectées : le ralentissement de la vitesse de traitement amplifie les difficultés pré-existantes en mémoire de travail, et ce déficit combiné de la vitesse de traitement et de la mémoire de travail rend difficile l'encodage des informations en mémoire épisodique. Le ralentissement de la vitesse de traitement et les déficits en mémoire de travail sont fortement corrélés et donc s'affectent mutuellement (Chiaravalloti & De Luca, 2008). Il apparaît nécessaire d'adresser leurs interactions avec les troubles exécutifs observés dans la SEP.

Les fonctions exécutives permettent d'élaborer des comportements orientés vers un but et de les adapter en fonction de l'environnement. Ces fonctions renvoient aux capacités de planification, de prise de décision, de maintien d'information en mémoire de travail, l'adaptation au feed-back, l'inhibition et la flexibilité mentale (Sachdev et al., 2014). Parmi les déficits exécutifs dans la SEP, les déficits de planification ont été mis en évidence à l'aide de tests tel que la tour de Hanoi (Arnett et al., 1997), mais également à l'aide de tests plus écologiques comme le test du Zoo (Cerezo Garcia, Martin Plasencia & Aladro Benito, 2015 ; Chanial et al., 2015). Dans une récente étude, l'ensemble des fonctions exécutives ont été testées auprès d'un large panel de patients SEP (Cerezo Garcia et al., 2015). Il en ressortait que la fonction exécutive la plus impactée était la flexibilité mentale, avec 76% des patients atteints de SEP qui obtenaient un score déficitaire au Comprehensive Trail Making Test (CTMT –

Reynolds, 2002). Ensuite, les capacités d'inhibition apparaissent également souvent impactées, avec environ 43% des patients atteints de SEP qui obtenaient un score déficitaire au STROOP. Enfin, les capacités d'abstraction, évaluées à l'aide du Wisconsin Card Sorting Test (WCST – Heaton et al., 1993), étaient déficitaires chez 27,4% des patients atteints de SEP. Ces résultats concordent avec les déficits de l'inhibition et de la flexibilité mentale précédemment rapportés (Drew, Tippet, Starkey & Isler, 2008). En outre, Cerezo Garcia et al. (2015) ont montré que les déficits au CTMT, au STROOP et au WCST étaient significativement corrélés à la vitesse de traitement de l'information des participants, testée à l'aide du subtest « Codes » de la WAIS-IV. La vitesse de traitement pourrait donc partiellement expliquer les déficits exécutifs observés dans la SEP, étant donné que ces tests sont chronométrés et qu'il est demandé aux participants de travailler le plus vite possible. Toutefois, les auteurs relativisent cette hypothèse explicative, remarquant que seuls 30,6% des patients SEP présentent un déficit de la vitesse de traitement au subtest « Codes », alors que 76% d'entre eux ont des scores déficitaires au CTMT. Selon les auteurs, cette différence suggère qu'il y a bien un déficit exécutif dans la SEP, partiellement dû à l'impact du ralentissement de la vitesse de traitement.

L'évaluation des fonctions exécutives comporte une limite majeure que certains auteurs ont qualifié de « problème de l'impureté des tâches », et qui fait référence à l'impossibilité de mesurer une fonction cognitive de manière parfaitement isolée, puisque le fonctionnement exécutif implique forcément d'autres fonctions cognitive (Miyake, Emerson & Friedman, 2000). Le fait de pouvoir évaluer les fonctions exécutives dans la SEP, sans être biaisés par l'impact de la vitesse de traitement de l'information ou de la mémoire de travail, est une problématique majeure. Macniven et al. (2008) ont ainsi étudié les performances des patients SEP au test STROOP, en essayant de questionner et d'examiner les influences respectives de la vitesse de traitement, des capacités attentionnelles, et des capacités exécutives. En effet, une tâche de STROOP permet de tester un « effet d'interférence », qui correspond à un ralentissement de la vitesse de traitement et/ou une augmentation du nombre d'erreurs, dans une tâche interférente. La tâche est dite « interférente » car les participants doivent annoncer à voix haute la couleur dans laquelle sont écrits des mots, alors même que ces mots sont des noms de couleurs différentes. Les participants doivent alors inhiber la procédure de lecture (automatique chez un bon lecteur) afin d'allouer leur attention à la dénomination de la couleur de l'encre. Dans l'étude de Macniven et al. (2008), l'absence de différence significative entre le groupe SEP et le groupe contrôle en termes de nombre d'erreurs, suggère un déficit de la vitesse de traitement plutôt qu'un déficit des capacités d'inhibition. Par ailleurs, les performances des patients SEP au STROOP étaient significativement prédites par les niveaux

de difficultés en termes de vitesse de traitement, établis avec des tâches de la « *Graded Conditional Discrimination Tasks* » (GCDT ; Davis et al., 2000). Cette étude renforce l'hypothèse d'un ralentissement de la vitesse de traitement comme facteur explicatif des faibles performances aux tâches exécutives des participants atteints de SEP.

Enfin, parmi les différentes fonctions exécutives, reste la flexibilité mentale dont le fonctionnement dans la SEP a également été étudié. La flexibilité mentale prend deux formes : la flexibilité spontanée et la flexibilité réactive (Elsinger & Grattan, 1993). La flexibilité spontanée est la capacité à produire soi-même de nouveaux éléments dans une activité donnée. Par exemple, elle est examinée avec le WCST, quand il est demandé aux participants de produire une nouvelle règle de tri des cartes. C'est aussi la flexibilité spontanée qui est mobilisée, en plus des capacités langagières, lors des tâches de fluence verbale. Les patients SEP présentent des performances significativement inférieures à celles du reste de la population aux tests de fluence verbale phonémique comme catégorielle, tout en ayant des capacités langagières parfaitement préservées. Ce constat suggère que la flexibilité spontanée est atteinte chez les patients SEP (pour revue, voir Henry & Beatty, 2006). La flexibilité réactive est rarement testée, alors même qu'une toute récente étude suggère que le Trail Making Test (Reitan & Wolfson, 1992), qui évalue la flexibilité réactive, serait un excellent indicateur du niveau de handicap dans la SEP, aux vues de sa corrélation significative avec le score à l'EDSS (Kabiri et al., 2023). Enfin, il apparaît que les difficultés exécutives détectées dans la SEP sont très fortement corrélées aux troubles psychiatriques tels que l'anxiété et la dépression (Julian & Arnett, 2008).

Pour finir, les troubles visuo-spatiaux, bien que peu étudiés dans la SEP, représentent une catégorie de troubles cognitifs importants pour les personnes souffrant de la SEP. En testant les capacités de perception visuo-spatiale à l'aide de tâches de discrimination de formes, de jugement d'orientation de lignes et de reconnaissance de visages, Rao et al. (1991) ont observé des performances significativement inférieures pour le groupe SEP comparé au groupe contrôle. En revanche, concernant le raisonnement visuo-spatial, les scores issus du Hooper Visual Organisation Test (Hooper, 1958), n'étaient pas significativement différents entre SEP et contrôles (Rao et al., 1991).

La recherche en psychologie cognitive adresse progressivement les interactions entre les fonctions cognitives dans la plainte cognitive globale des patients SEP. Dès lors, le défi qui se pose aux psychologues praticiens – entre autres - concerne la possibilité d'identifier les troubles cognitifs efficacement, sans être biaisés par le ralentissement psychomoteur global

induit par la SEP, ainsi que la fatigabilité et les troubles sensorimoteurs. La présence avérée de troubles cognitifs dans la SEP a progressivement conduit au développement d'un panel de tests dont plusieurs batteries complètes de tests conçues pour l'évaluation des fonctions spécifiquement impactées par cette pathologie. Dans la partie suivante, nous présentons ces épreuves tout en soulevant la question de leur pertinence et de leurs qualités psychométriques.

2.2. Évaluation des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques

Face à la présence fréquente et précoce des troubles cognitifs dans la SEP, un test rapide de dépistage a été mis au point par les médecins neurologues : le *Symbole Digit Modality Test* (SDMT ; Smith, 1982). Le principe consiste à « traduire » des lignes de symboles en indiquant le chiffre correspondant sous chaque symbole, en utilisant le code de référence visible en haut de la feuille. Le patient doit ainsi essayer de traduire un maximum de code en 90 secondes. La limite de ce test réside dans l'implication de la motricité fine, souvent perturbée par les troubles sensorimoteurs induits par la SEP, pouvant ainsi biaiser les résultats. Toutefois, cette difficulté peut être aisément contournée en remplaçant la modalité de réponse écrite par une réponse verbale. Selon Deloire et al. (2006), le SDMT est le test le plus sensible et le plus spécifique pour dépister une atteinte cognitive au stade précoce de la phase rémittente. Ce constat n'a rien de surprenant, puisque le SDMT évalue la vitesse de traitement de l'information qui est l'atteinte cognitive la plus fréquente dans la SEP. Un score total égal ou inférieur à 55 items traités en 90 secondes au SDMT permet de catégoriser 72% des patients, facilitant ainsi la sélection des patients nécessitant un bilan neuropsychologique plus complet (Parmenter et al., 2007).

Au-delà d'un test de dépistage de la présence ou non de difficultés cognitives, il est indispensable de pouvoir disposer de batteries de tests complètes, adaptées à l'évaluation des capacités cognitives des patients atteints de SEP, pour dresser un tableau exhaustif des difficultés propres à chaque patient. Les batteries les plus utilisées à ce jour sont : (1) le *Brief International Cognitive Assessment for Multiple Sclerosis* (BICAMS, Benedict et al., 2012) ; (2) le *Minimal Assessment of Cognitive Function In MS* (MACFIMS, Benedict et al., 2002) ; (3) la *Brief Repeatable Battery of Neuropsychological tests* (BRB-N, Rao et al., 1991).

Le BICAMS est une version raccourcie du MACFIMS, qui permet d'opérer une première exploration des troubles cognitifs de patients SEP. Une version française du BICAMS (Deloire et al., 2018) et du MACFIMS ont été validées (Maubeuge et al., 2021).

Le MACFIMS comprend sept tests couvrant l'ensemble des fonctions cognitives connues pour être atteintes par la SEP. Ce sont les suivants : (1) le *Brief Visuospatial Memory Test-*

revised (BVMRT) qui évalue la mémoire visuelle ; (2) le *Controlled Oral Word Association Test* (COWAT) qui évalue la fluence verbale ; (3) l'épreuve de classement de cartes de Champagne (ECC) qui – à l'instar du WCST- évalue le raisonnement et la flexibilité spontanée ; (4) le *French Learning Test* (FLT) qui évalue la mémoire verbale ; (5) le *Judgment of Line Orientation Test* (JLOT) qui évalue les capacités visuo-spatiales ; (6) le *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT) version 3 secondes d'intervalle, qui évalue la mémoire de travail et l'attention soutenue ; et (7) le *Symbol Digit Modalities Test* (SDMT) qui évalue la vitesse de traitement de l'information. Tous les tests de cette batterie sont standardisés, valides, fiables et sensibles. La batterie MACFIMS a permis d'identifier une déficience cognitive chez 32,7% des patients SEP, ce qui correspond aux estimations basses relevées dans la littérature scientifique, de la prévalence des troubles cognitifs dans la SEP. Dans l'étude de validation de la MACFIMS, les fonctions cognitives les plus touchées étaient : l'encodage en mémoire verbale ; la vitesse de traitement de l'information ; la récupération en mémoire verbale et visuelle ; les fluences verbales ; la mémoire de travail (Maubeuge et al., 2021). Concernant les capacités de perception visuo-spatiale, aucune différence significative n'était observée entre le groupe SEP et le groupe contrôle, tout comme pour les capacités de raisonnement évaluées à l'aide de l'ECC. Par ailleurs, les auteurs de cette validation française du MACFIMS se sont assurés qu'il n'y avait aucune corrélation entre les résultats à ces tests et les niveaux de fatigue, dépression, et anxiété des patients atteints de SEP.

Pour la BRB-N, une version française a également été créée, la batterie BCCogSEP (Dujardin et al., 2004) qui comprend : (1) le SRLT pour tester mémoire épisodique verbale ; (2) le 10/36 pour tester mémoire épisodique visuelle ; (3) le test des fluences verbales phonémiques et catégorielle, pour tester la flexibilité mentale ; (4) le PASAT pour tests l'attention, et la mémoire de travail ; (5) le test du Code (équivalent au SDMT) pour tester la vitesse de traitement.

L'un des avantages de la batterie BCCogSEP, par rapport à la BRB-N, est l'ajout de deux épreuves d'évaluation des fonctions exécutives : le subtest « Ordres contraires » pour évaluer la flexibilité réactive (Godefroy et al., 1992), et le subtest « Go no Go » pour évaluer l'inhibition (Dubois et al., 2000). Les subtests des empan envers et endroit de la WAIS-IV ont également été ajoutés pour évaluer la mémoire à court terme et la mémoire de travail. Dujardin et al. (2004) ont analysé le pourcentage de variance expliqué par les différents tests du BCCogSEP, et ils ont observé une variance expliquée majoritairement par les résultats au PASAT et au test des fluences verbales. Les autres tests expliquant une partie de la variance étaient les tests d'empan envers et endroit, ainsi que le test 10/36 et le test des codes. En outre, la variance expliquée par

le test de mémoire verbale et les subtests évaluant la flexibilité cognitive et l'inhibition n'étaient pas significative. La comparaison du groupe contrôle et du groupe SEP (forme peu évoluée, EDSS < 3) ne révèle pas de différence significative. Aucune différence significative entre les deux groupes n'a été observée sur les performances aux tests de mémoire visuelle et de fluences verbales. En revanche, avec des patients atteints de SEP (forme évoluée, EDSS > 3), une différence significative est observée pour l'ensemble des scores aux tests du BCCogSEP. Le BCCogSEP s'avère donc sensible pour identifier différents troubles cognitifs lorsque les participants souffrent d'une forme évoluée de la SEP. De plus, il s'avère utile pour surveiller l'évolution des troubles cognitifs dans la SEP. En effet, les tests pour lesquels les performances ne sont pas significativement différentes entre le groupe contrôle et le groupe SEP peu évoluée, sont suffisamment sensibles pour détecter une différence significative entre les scores du groupe SEP peu évoluée et ceux du groupe SEP forme évoluée. Par conséquent, les tests de mémoire verbale et de flexibilité réactive et inhibition présents dans le BCCogSEP ont leur importance dans la surveillance de l'évolution des troubles cognitifs dans la SEP.

2.3 Remédiation des troubles cognitifs dans la sclérose en plaques

L'utilisation de batteries de tests psychologiques est indubitablement essentielle pour détecter les troubles cognitifs dans la SEP, notamment en vue de proposer une ou des stratégies de remédiation des incapacités fonctionnelles engendrées par ces dysfonctionnements. Les traitements médicamenteux immunomodulateurs et immunosuppresseurs ont d'ores et déjà un impact sur l'évolution des troubles cognitifs dans la SEP. En effet, une récente méta-analyse (Landmeyer et al., 2020) a montré un effet léger à modéré de ces traitements sur une amélioration de la vitesse de traitement de l'information et sur une amélioration de l'attention et de mémoire de travail (évaluées avec le PASAT). Cependant, la remédiation cognitive, par entraînement spécifique d'une fonction cognitive – par des exercices répétés – présente des effets bénéfiques plus importants, notamment dans les domaines de l'attention, la vitesse de traitement, la mémoire et les fonctions exécutives (Benedict et al., 2020).

Un des outils de remédiation cognitive utilisé dans la SEP est le *Computerized Cognitive Training* (CCT). Ce programme d'entraînement consiste à cibler une fonction cognitive, et à proposer des exercices répétés, adaptés aux besoins du patient, dans le but d'améliorer les performances d'une fonction spécifique. Une récente méta-analyse des résultats du programme CCT (Lampit et al., 2019) a souligné des bénéfices légers à modérés sur la vitesse de traitement ; les fonctions exécutives ; la mémoire verbale et visuelle. En revanche, cet entraînement n'améliore pas les capacités de mémoire de travail. De manière générale, le CCT est un outil

souvent utilisé dans la remédiation des troubles cognitifs, qui semble adapté à la SEP. Toutefois, le CCT présente quelques inconvénients dont la longueur des séances (souvent 1 heure), qui sont répétées sur plusieurs semaines. De plus, les bénéfices sont globalement limités aux exercices effectués durant les séances, sans généralisation des bénéfices aux activités de la vie quotidienne (Lampit et al., 2019).

D'autres approches de remédiation cognitive visent à permettre aux patients atteints de SEP de développer des stratégies de compensation plutôt que d'entraîner spécifiquement une fonction cognitive lésée. Mousavi et al. (2018) ont proposé un programme de huit semaines visant à améliorer les capacités de mémoire de travail de patients SEP. Ce programme consistait à présenter différents types d'aides externes, des stratégies mnémotechniques, des exercices de stimulation tels que l'apprentissage sans erreur, et des conseils pour améliorer la concentration. Ce programme de compensations multiples a entraîné une amélioration des performances en mémoire de travail qui étaient significativement plus élevées dans le groupe avec remédiation comparé à une groupe « placebo ». Toutefois, il est apparu que cette différence n'était pas maintenue au-delà de cinq semaines après le programme. Dans la même veine, pour améliorer les capacités d'encodage en mémoire épisodique, Chiaravalloti et al. (Chiaravalloti, Moore, Nickelshpur & De Luca, 2013) ont proposé un programme d'entraînement visant à développer l'attention portée au contexte lors de l'encodage et à utiliser l'imagerie mentale pour renforcer le stockage des informations encodées. Les performances des patients SEP étaient significativement et durablement améliorées à l'issue de cinq semaines d'entraînement. Ernst Blanc, De Seze et Manning (2015) ont aussi proposé un programme d'entraînement à l'imagerie mentale pour améliorer la mémoire autobiographique des participants SEP ainsi que la capacité à se projeter dans le futur. Suite à ce programme, les patients, comparés aux participants contrôles, ont présenté une amélioration significative de leur capacité à évoquer des souvenirs autobiographiques et à se projeter dans le futur. Cette amélioration était maintenue 6 mois après le programme. L'imagerie mentale est une stratégie de facilitation du fonctionnement de la mémoire, classiquement utilisée dans les programmes de remédiation cognitive et peut s'avérer utile et efficace pour les patients SEP. Cette technique de remédiation est abordée de manière détaillée dans le chapitre III de cette thèse.

3. Les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques

3.1. Évaluation des troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques

Les troubles de la MP peuvent avoir des conséquences extrêmement dommageables pour les patients SEP. Ils sont corrélés aux échecs d'observance du traitement (Bruce et al.,

2010), ou encore aux limitations d'opportunités d'emploi (Honan, Brown & Batchelor, 2015). Pourtant, si les difficultés liées au fonctionnement de la mémoire épisodique, versant rétrospectif, des patients SEP ont largement été étudiées, en revanche, les difficultés associées au versant prospectif de la mémoire épisodique ont bénéficié de très peu d'intérêt. Rendell, Jensen et Henry (2007) ont rapporté seulement deux études ayant testé le fonctionnement de la MP auprès de patients atteints d'une SEP. La première, conduite par McIntosh-Michaelis et al (1991), consistait à tester les performances de participants SEP et contrôle à une tâche EB, extraite du RBMT (Wilson, Cockburn & Baddeley, 1985). Cette tâche requiert des participants de penser à récupérer un objet personnel à la fin de la session, qu'ils avaient au préalable laissé à l'examineur. Il s'avère que 58% des patients atteints de SEP échouaient contre 47% des participants du groupe contrôle. L'objectif de cette étude était d'établir la prévalence des déficits en MP ce qui explique l'absence de comparaison statistique entre les deux groupes de participants. Dans la deuxième étude, Bravin Kinsella, Ong et Vowels (2000) ont demandé aux participants atteints de SEP et contrôles de mémoriser et d'exécuter deux intentions TB : (1) marquer son nom au bas d'une feuille au bout de cinq minutes ; (2) demander à l'examineur de prendre son pouls au bout d'une heure. Pour l'intention (1), les scores de réussite n'étaient pas statistiquement différents entre les deux groupes de participants contrairement à l'intention (2). Toutefois, cette différence se manifestait uniquement pour la composante rétrospective de la tâche (i.e. les participants se souvenaient qu'il fallait faire quelque chose au bout d'une heure, mais il ne se rappelaient pas quelle tâche). Cette étude mettant en évidence une difficulté des patients SEP à réaliser une tâche prospective a ainsi ouvert la voie à l'exploration des déficits de la MP dans cette pathologie.

Honan et al. (2015), ont relevé que dans les réponses à un questionnaire portant sur la MP (PRMQ), les patients SEP rapportaient significativement plus de troubles de la MP que le reste de la population, et que ces plaintes corrélaient avec le niveau de dépression des patients. Toutefois, les questionnaires restent des mesures subjectives. Il est donc préférable de s'appuyer sur des indicateurs objectifs afin de mieux cerner les troubles en question. Il est notamment essentiel de pouvoir déterminer si les troubles de la MP dans la SEP sont globaux ou s'ils diffèrent en fonction de la nature de l'indice TB et EB ; s'ils dépendent plutôt de la récupération de l'indice (composante prospective de la MP) ou de l'action à réaliser (composante rétrospective), ou bien les deux ? Pour répondre à ces questions, Miller et al. (2014) ont montré, à l'aide du MIST (Raskin, 2009), que les patients SEP manifestaient plus de difficultés pour les tâches TB que pour les tâches EB. Toutefois, ce constat n'a pas été retrouvé avec la *Virtual Week*, pour laquelle les patients SEP échouaient autant aux tâches EB que TB (Rendell et al.,

2007 ; Rendell et al., 2012). La première étude qui a comparé les performances des patients atteints de SEP sur les composantes prospectives et rétrospectives de la MP, a affirmé un déficit uniquement pour la composante rétrospective (Bravin et al., 2000). A l'inverse, Rendell et al. (2007) ont observé un déficit pour la composante prospective. Cette instabilité des résultats repose probablement sur les tests utilisés pour évaluer la MP. En effet, dans la *Virtual Week* (Rendell et al., 2007), le nombre important d'intentions à exécuter augmente le nombre d'indices prospectifs à mémoriser et à récupérer et, par conséquent, les risques d'oubli. Inversement, le délai important (1 heure) entre l'encodage et l'exécution dans la *Pulse Task* (Bravin et al., 2000) a pu majorer les difficultés de récupération de la tâche à réaliser (composante rétrospective de la MP). Par ailleurs, d'autres études ont montré la présence de difficultés dans chacune des deux composantes de la MP (Kardiasmenos et al., 2008 ; Dagenais et al., 2016a ; 2016b). Il ne fait donc plus aucun doute aujourd'hui, que la MP est une activité cognitive affectée par la SEP. Cette atteinte est pleinement intégrée au tableau clinique complexe, avec des difficultés cognitives variées. En faisant varier les caractéristiques méthodologiques des études de la MP associées à l'évaluation de fonctions cognitives diverses, comme la mémoire de travail, la mémoire épisodique, les fonctions exécutives, l'attention et la vitesse de traitement de l'information, les chercheurs ont pu clarifier les fonctions impliquées dans les troubles de la MP chez les personnes souffrant de la SEP.

3.2. Lien entre l'atteinte cognitive globale et les troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques

Les études portant sur les troubles de la MP dans les populations cliniques rapportent des atteintes d'intensité variable, corrélées à divers facteurs. Pour les personnes atteintes du SIDA (Carey et al., 2006), ou de la maladie de Parkinson (Raskin et al., 2011), voire même les participants âgés sains (Park et al., 1997), les perturbations de la MP sont particulièrement marquées pour les tâches TB comparées aux EB. Ce constat repose sur le rôle prépondérant du contrôle exécutif dans la réalisation des intentions TB. En effet, il a été montré que les intentions TB mobilisent davantage de processus contrôlés que les intentions EB (Martin, Kliegel & McDaniel, 2003). Concernant les composantes prospective et rétrospective de la MP, il a été relevé que les difficultés étaient plus marquées pour la composante prospective (surveillance et récupération de l'indice) pour des participants présentant un *Mild Cognitive Impairment* (MCI ; Costa et al., 2010). Qui plus est, ces déficits étaient davantage marqués pour les intentions TB, dus à un déficit exécutif plutôt que mnésique (Costa et al., 2010). Les personnes atteintes de la SEP présentent de nombreuses similitudes quant à la nature des troubles cognitifs avec d'autres

pathologies comme celles évoquées en amont. Les chercheurs se sont alors centrés sur les relations entre le fonctionnement exécutif et les troubles de la MP chez les personnes atteintes de la SEP, d'autant plus que les déficits de la MP touchent majoritairement sur la composante prospective de la MP (Rendell et al., 2007 ; West, 2007).

Déficits de la composante prospective pour les intentions TB et EB

Dans la SEP, certaines études ont constaté un déficit pour les intentions TB et EB (Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012) alors que d'autres ont relevé des difficultés nettement plus marquées pour les intentions TB (Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). Ces variations pourraient s'expliquer par les tests utilisés. Avec la *virtual week*, des scores faibles sont identifiés pour les deux types d'indices EB et TB (Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012). En revanche, avec le *MIST*, les performances déclinent uniquement pour les indices TB (Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). Toutefois, des critiques ont été émises sur le test *MIST* car les indices prospectifs (TB et EB) sont présentés 2 minutes seulement après l'encodage, soit un délai trop court pour s'assurer d'évaluer réellement la mémoire à long terme et donc la MP (Rouleau et al., 2020). D'ailleurs, il a été affirmé que les performances des participants SEP n'étaient pas significativement plus faibles que celles des participants contrôles lorsque les indices TB survenaient 2 minutes après la phase d'apprentissage (Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). Toutefois, une différence très nette est confirmée quant à l'exécution des intentions TB et EB lorsqu'elles sont proposées 15 minutes après la phase de mémorisation, dans la *virtual week*. Ces résultats divergents peuvent provenir du manque de sensibilité des tests utilisés car dans le cas du *MIST*, des effets plafonds sont couramment observés pour les participants contrôles et atteints de SEP pour les indices EB, expliquant alors les moindres scores pour les indices TB (Weber et al., 2019). Pour ce qui est de la *Virtual Week*, des indices externes réduisent la difficulté liée au contrôle du temps pour les tâches TB, réduisant ainsi la différence de scores entre les tâches TB et EB.

En explorant les fonctions cognitives susceptibles d'expliquer les erreurs/oublis dans la détection des indices TB, les auteurs ont relevé une corrélation positive significative ($r = .415$) entre les performances aux subtests TB du *MIST* et les capacités exécutives des participants SEP, notamment, la mémoire de travail et l'inhibition (Weber et al., 2019). Le fait qu'il n'y ait en revanche pas de corrélation significative entre les capacités exécutives et les performances aux subtests EB du *MIST* appuie l'hypothèse de l'utilisation de processus plus automatiques dans la détection des indices EB et la récupération de l'intention associée. Il y aurait un moindre effort de contrôle exécutif dans le cas des indices EB puisqu'ils sont la majorité du temps

présents dans l'environnement alors que les indices TB demandent sur une surveillance régulière et une détection auto-initiée (i.e. vérifier le temps).

Toutefois, d'autres facteurs sont à prendre en compte pour étudier les déficits de la MP dans la SEP. Il apparaît effectivement que le contrôle exécutif, et plus précisément, la mémoire de travail et l'inhibition, jouent un rôle dans la détection des indices TB (Weber et al., 2019). Mais des déficits sont également observés dans la détection des indices EB chez les patients atteints de SEP (Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012), et, pour comprendre ces déficits, il faut questionner dans quelle mesure la détection des intentions EB repose partiellement ou entièrement sur des processus automatiques. En effet, les processus cognitifs mobilisés dans la MP dépendent de la nature des indices (EB vs TB), mais aussi de la nature de la tâche concurrente (focale ou non-focale), qui va avoir un impact sur l'inhibition et la flexibilité mentale requises pour initier l'exécution de l'intention prospective (Hefer, Cohen, Jaudas & Dreisbach, 2017). De même, la saillance des indices prospectifs influe sur le contrôle exécutif nécessaire à la détection de l'indice. Ainsi, Dagenais et al. (2016a) ont réparti les participants SEP dans deux groupes : (1) un groupe avec des capacités exécutives identifiées comme réduites ; (2) un groupe avec des capacités exécutives efficaces. Les participants du groupe (1) avaient des performances en MP significativement inférieures à celles du groupe (2) avec des indices non-saillants. A contrario, lorsque les indices étaient particulièrement saillants, il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes.

Déficits de la composante rétrospective pour les intentions TB et EB

Bien que le déficit de MP soit plus marqué pour la composante prospective dans la SEP, les processus cognitifs qui pourraient faire défaut dans la composante rétrospective de la MP ont également été explorés dans la SEP. Dans une récente étude, Dagenais et al. (2016b) ont ainsi montré qu'en augmentant la force du lien sémantique entre l'indice prospectif et l'intention associée, les performances des patients SEP étaient significativement améliorées pour les tâches EB, l'association sémantique favorisant tout particulièrement la récupération de l'intention de la MP (Dagenais et al., 2016b). Ce constat soutient l'hypothèse d'une altération des capacités de récupération en mémoire épisodique dans la SEP (Rao et al., 1989). Le fait de renforcer le lien entre l'indice et l'intention aurait ici permis de compenser les difficultés de récupération, à travers le processus *reflexive-associative* (McDaniel & Einstein, 2000), selon lequel, lorsque l'indice prospectif - fortement associé à l'intention - est perçu par l'individu, il active automatiquement la récupération de l'intention. Toutefois, nous l'avons vu dans la partie précédente sur les troubles cognitifs dans la SEP (p. 33-38), les difficultés en mémoire

épisodiques dans la SEP sont également attribuées à un déficit des capacités d'apprentissage (De Luca et al., 1994 ; De Luca et al., 1998).

En utilisant une procédure de mémorisation sélective, McKeever et al (2017) ont exploré l'implication des difficultés d'apprentissage en mémoire épisodique, dans les déficits de la composante rétrospective de la MP chez les patients SEP. La mémorisation sélective est une procédure qui consiste, lors de l'apprentissage d'une série d'items et après chaque rappel immédiat, à présenter uniquement les items n'ayant pas été rappelés précédemment et ce, jusqu'à ce que la totalité des items soient appris. Cette procédure permet de distinguer si les oublis résultent d'un défaut de récupération ou d'apprentissage car, si des difficultés au moment de la récupération subsistent alors que le participant a bénéficié d'un apprentissage sélectif, ces difficultés pourront être pleinement attribuées aux déficits des stratégies de récupération. En comparant les scores de participants SEP ayant bénéficié de cet apprentissage sélectif à ceux d'une condition contrôle, il a été montré une nette amélioration des performances des participants SEP dans la condition de mémorisation sélective (McKeever et al, 2017). Par ailleurs, cet apprentissage sélectif permet d'améliorer la récupération des intentions EB comme TB. Ce résultat est concordant avec ceux issus des recherches menées sur la mémoire rétrospective attribuant les difficultés rencontrées par les participants SEP aux épreuves de mémoire épisodique, à des déficits d'apprentissage (De Luca et al., 1994 ; De Luca et al., 1998). Il semble donc que les déficits de MP des patients atteints de la SEP puissent reposer sur plusieurs processus cognitifs. D'un côté, la détection des indices (composante prospective) semble dépendre des capacités de flexibilité et inhibition des patients atteints de SEP (Dagenais et al., 2016a ; 2016b). D'un autre côté, les déficits d'apprentissage en mémoire épisodique semblent également jouer un rôle dans les performances en MP des patients atteints de SEP (McKeever et al., 2017). Partant de ces constats, des stratégies de remédiation de la MP pour les patients atteints de SEP ont été développées et testées.

3.3. La remédiation des troubles de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques

Comme remarqué par Rouleau et al. (2020), il n'existe à ce jour pas de programme de remédiation spécifiquement dédié à l'amélioration des difficultés des patients atteints de SEP à exécuter des tâches de MP. Cependant, il existe plusieurs programmes de remédiation cognitive conçus à cet effet, qui ont été testés auprès d'autres populations cliniques atteintes de lésions cérébrales (Fish, Wilson & Manly, 2010 ; Raskin, Aiken & Williams, 2020). Certains d'entre eux sont centrés sur la remédiation de la mémoire épisodique en vue d'améliorer la récupération de l'intention à exécuter (composante rétrospective). Ainsi, des techniques telles que

l'apprentissage espacé et l'apprentissage sans erreur permettent d'améliorer significativement les performances en MP de patients atteints de la maladie d'Alzheimer (Kixmiller, 2002). Toutefois, ces techniques semblent plus adaptées dans le cadre de pathologies entraînant des troubles de la mémoire épisodique majeurs. Chez les patients atteints de traumatismes crâniocéphaliques, les difficultés sont davantage axées sur le contrôle exécutif nécessaire à la détection des indices, et les programmes de remédiation de la MP chez ces patients visent généralement davantage l'amélioration des capacités attentionnelles et exécutives pour améliorer la composante prospective (Raskin et al., 2020). Ainsi, certains programmes de remédiation de la MP vont se centrer sur le développement de stratégies facilitant la détection de l'indice prospectif en renforçant la saillance de l'indice et la préparation attentionnelle en portant attention au contexte d'apparition de l'indice dès la phase d'encodage. C'est notamment le cas des programmes d'entraînement à l'implémentation d'intention et à l'imagerie mentale. (Raskin et al., 2020).

A notre connaissance, aucun programme de remédiation de la MP n'a, à ce jour, été testé auprès de patients atteints de SEP. Toutefois, Kardiasmenos et al. (2008) ont testé le processus d'implémentation d'intentions avec des patients atteints de SEP. A cet effet, les auteurs ont proposé aux participants une technique d'implémentation d'intention qui consiste à formuler à voix haute l'intention à l'aide de deux indices « *Quand (indice prospectifs), alors (tâche à exécuter)* ». Kardiasmenos et al. (2008) ont obtenu un effet significatif de cette technique sur l'identification de l'indice prospectif mais pas sur la récupération de l'intention elle-même, que ce soit pour les participants SEP ou contrôles. L'hypothèse avancée par les auteurs est que l'implémentation d'intention permet d'augmenter l'attention portée au contexte dans lequel l'indice est supposé apparaître. Cette stratégie d'encodage appuyant l'attention portée au contexte d'apparition de l'indice le rendrait alors plus saillant et donc plus facilement détectable. Toutefois, les mécanismes par lesquels cette technique d'implémentation d'intention améliore les performances en MP nécessitent d'être mieux précisés. En effet, les consignes d'implémentation d'intention varient d'une étude à l'autre, et leurs effets sur la MP sont tout aussi variables. Dans leur étude, Kardiasmenos et al. (2008) invitent les participants à se représenter mentalement le contexte (sous forme d'image mentale) pendant qu'ils implémentent l'intention prospective. De fait, une piste intéressante, qu'il reste à explorer, est celle de l'imagerie mentale visuelle dans la remédiation de la MP et, *a fortiori*, dans la SEP. Ce point est abordé dans le chapitre suivant

Chapitre 3. Images mentales et mémoire prospective

Introduction

Avec l'approche fondamentale de la recherche, il nous est possible de dessiner progressivement, et de plus en plus précisément, les contours de processus cognitifs complexes, tels que celui de la MP. En parallèle, la recherche appliquée explore des pistes avec une visée pratique, comme le fait la recherche sur les techniques de remédiation des troubles cognitifs. Et, bien souvent, la recherche fondamentale et la recherche appliquée se croisent et se nourrissent l'une et l'autre. Ainsi, les recherches sur l'effet des images mentales sur la mémoire épisodique ont à la fois ouvert un important champ de recherche sur la remédiation mnésique en clinique, et, à la fois, permis de mieux comprendre le fonctionnement de la mémoire épisodique elle-même. Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les connaissances théoriques dont nous disposons sur les images mentales, afin d'identifier au mieux les processus cognitifs en jeu lorsque nous nous créons des images mentales et, *a fortiori*, quand nous les utilisons pour mieux mémoriser. Et, dans un second temps, nous présentons l'impact de la SEP sur les capacités d'imagerie mentale des patients. Enfin, nous exposons les éléments apportés par la recherche concernant l'effet de l'imagerie mentale sur la MP.

1. Les images mentales et la mémoire

1.1 Définition et modèles théoriques

Lorsque nous nous remémorons un événement vécu, ou lorsque nous inventons des scénarios imaginaires au cours de nos rêveries, nous opérons une simulation mentale de la scène. Ce phénomène complexe est globalement regroupé sous le terme « imagerie mentale ». Richardson (1969) a défini les images mentales comme des entités représentant « (1) toutes les expériences de quasi-sensation ou quasi-perception, (2) dont nous avons conscience, et qui, (3) existent pour nous en l'absence des éléments concrets qui donnent lieu à ces expériences lorsque nous les vivons réellement, et qui, (4) peuvent évoluer de manière différente comparative-ment à leur équivalent réel. » (Richardson, 1969 ; [traduction libre] *pp.* 2-3). Elles peuvent concerner toutes les modalités de la perception : visuelle, motrice, auditive, etc.

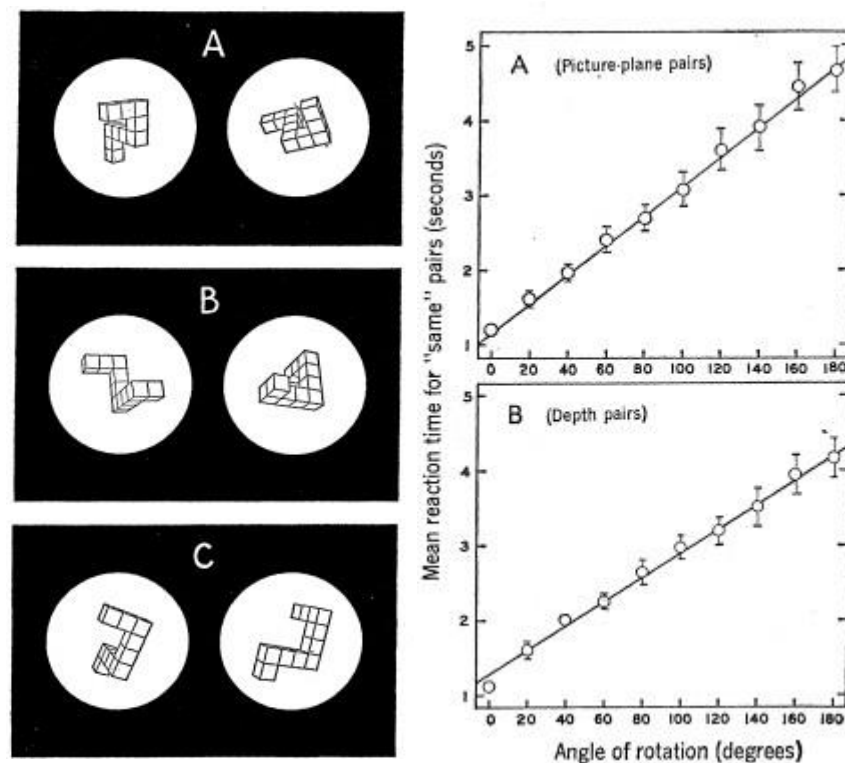
La nature des images mentales a longtemps fait débat, donnant naissance à deux courants théoriques : le courant propositionnaliste et le courant imagiste. Le courant propositionnaliste (Pylyshyn, 1973) suggère que les images mentales sont des épiphénomènes et que les représentations mentales que nous nous faisons lorsque nous pensons, renvoient à des

codes amodaux. Ces codes, de nature conceptuelle voir propositionnelle, désignent les caractéristiques perceptives de l'objet imaginé. Il est effectivement admis que l'ensemble des caractéristiques perceptives du monde qui nous entoure peuvent être stockées, évoquées et traitées sous forme de codes amodaux, lors d'activités de raisonnement simple. Par exemple, je n'ai pas besoin de me faire une représentation mentale analogue lorsque j'affirme que « le chien aboie ». Et selon la théorie propositionnaliste, même si je veux statuer sur la race du chien auquel je pense – par exemple, un berger allemand – cette représentation mentale se fera sous forme d'un ensemble de propositions caractérisant le berger allemand dans ma mémoire sémantique (par exemple : il fait partie des grands chiens, pelage noir et marron, oreilles pointues, etc.). Les propositionnalistes appuient leur hypothèse sur un argument d'économie ; selon eux, il est plus simple pour le cerveau de fonctionner avec des codes amodaux qu'avec des représentations mentales complexes (Denis, 1989). Toutefois, il peut facilement être argué que, dans de nombreuses situations, les codes amodaux ne suffisent pas pour mener un raisonnement à bien. Par exemple, Shepard (1966) fait remarquer que : « Si l'on me demande maintenant le nombre de fenêtres de ma maison, je constate que je dois visualiser la maison, vue depuis différents côtés ou depuis l'intérieur des différentes pièces, puis compter les fenêtres présentées dans ces diverses images mentales. Aucune machination purement verbale ne semble suffire » (p. 203, cité par Marre, 2023).

La nature analogique des images mentales a d'abord été démontrée par des études comportementales. Ainsi, Kosslyn, Ball et Reiser (1978) ont examiné les caractéristiques analogiques des images mentales en mettant au point le paradigme d'exploration mentale. Avec ce paradigme, ces auteurs ont mis en évidence que la durée qu'il fallait à un participant pour explorer mentalement d'un point à un autre d'un objet imaginé, était proportionnelle à la durée pour explorer visuellement d'un point à un autre du même objet, physiquement présenté. De même, Shepard et Metzler (1971) avaient observé dans leur étude une durée plus longue pour effectuer une rotation mentale d'un objet, à mesure que le degré de rotation de l'objet était augmenté. Pour cette étude, les participants devaient regarder deux figures en 3D, présentées côte à côte (voir figure 1). Il leur était indiqué que, parfois, les deux figures étaient identiques mais que la figure de droite avait seulement subi une rotation plus ou moins importante sur un axe horizontal. Les participants devaient donc effectuer la rotation mentale de la figure de gauche pour estimer si elle pouvait correspondre à la figure de droite. Les auteurs ont ainsi constaté que le temps de réaction des participants pour décider si la figure de droite était bien identique à la figure de gauche suivait une augmentation linéaire, proportionnelle à l'augmentation du degré de rotation des figures. Ces résultats suggèrent que l'exploration

mentale des figures en 3D a nécessité aux participants de faire passer les figures par tous les degrés de rotations, entraînant une réponse plus rapide quand la solution se trouvait à seulement 20° de rotation, comparativement à celles qui nécessitaient de continuer la rotation mentale jusqu'à 160°. Les images mentales conserveraient donc les caractéristiques et les lois physiques du monde perceptif.

Figure 1 – Matériel utilisé et résultats de l'expérience de rotation mentale. Reproduit à partir de « Mental Rotation of Three-Dimensional Objects » par Shepard, R. N. & Metzler, J., 1971, *Science*, 171, p.702.



Si les images mentales reproduisent les caractéristiques de la perception, il est vraisemblable que les aires cérébrales mobilisées dans l'activité d'imagerie mentale soient – au moins en partie – les mêmes que celles mobilisées dans l'activité de perception. Cette hypothèse a notamment été appuyée par l'observation d'un phénomène d'interférence entre l'imagerie mentale et la perception. En effet, il a été observé que, lorsque des participants sont invités à se représenter mentalement des objets ou des sons, tout en regardant d'autres objets ou en écoutant d'autres sons, la vivacité de leurs images mentales s'en trouvent significativement réduite (Baddeley & Andrade, 2000). L'utilisation de techniques d'imagerie cérébrale dans la recherche en psychologie cognitive a permis de préciser cette hypothèse. Plusieurs études ont d'abord montré l'activation de réseaux neuronaux dans le cortex visuel primaire, lorsque les individus

produisent des images mentales (Farah, 1985 ; Farah, Peronnet, Gonon & Giard, 1988 ; Kosslyn et al., 1993 ; Kosslyn, Thompson, Kim, & Alpert, 1995 ; Kosslyn et al., 1999). Cependant, d'autres études n'ont pas observé cette activation des aires visuelles primaires (Roland & Gulyas, 1994 ; Mellet, Tzourio, Denis & Mazoyer, 1995 ; Mellet, Tzourio, Denis & Mazoyer, 1998). Dans une méta-analyse évaluant l'ensemble des études menées sur le sujet, Kosslyn et Thomson (2003) ont pu montrer que des variations méthodologiques pouvaient expliquer ces différences de résultats. Ils observent ainsi, notamment, que les études avaient moins de chance de détecter une activité dans les aires visuelles primaires en l'absence de *baseline* (i.e. données de neuroimagerie au repos), et que le niveau de sensibilité des techniques d'imagerie cérébrales influençait également les résultats. Il existe toutefois un consensus concernant l'implication d'autres aires cérébrales dans l'activité d'imagerie mentale : les voies occipito-pariétale et occipito-temporale (Mellet et al., 1998). La voie occipito-pariétale, aussi appelée « voie dorsale » est impliquée dans l'identification de l'organisation spatiale d'une scène visuelle perçue (Haxby et al., 1991). Elle est communément appelée la « voie du où ». La voie occipito-temporale, aussi appelée « voie ventrale » est, elle, impliquée dans l'identification des éléments présentés visuellement. Elle est communément appelée la « voie du quoi » (Haxby et al., 1991). Dans le cadre des images mentales visuelles, ces deux voies semblent être utilisées de manière similaire à l'utilisation qui en est faite lors du traitement d'informations visuelles perçues. Ainsi, lorsqu'il est demandé à des participants d'effectuer des manipulations spatiales d'images mentales visuelles, c'est la voie dorsale qui est majoritairement activée (Mellet et al., 1998). A l'inverse, lorsque l'activité d'imagerie mentale visuelle requiert de se représenter les caractéristiques perceptives (et non spatiales) d'objets ou de scènes, c'est la voie ventrale qui est majoritairement activée (Mellet et al., 1998). En somme, les études comportementales, associées à ces données de neuroimagerie indiquent que l'activité d'imagerie mentale reproduit la perception, et peut même être qualifiée de « simulation », voire d'« émulation » du réel (Moulton & Kosslyn, 2009).

1.2 Les images mentales et la mémoire épisodique

Une fois établie la nature analogique des images mentales, il est important de questionner leur implication dans les processus cognitifs, et, en l'occurrence, dans les processus mnésiques. Le lien entre l'imagerie mentale et la mémoire à long terme a été un sujet d'intérêt majeur dans la recherche en psychologie cognitive. Dans un premier temps, les chercheuses ont pu constater que la mémorisation d'un matériel purement verbal (i.e. liste de mots) était moins bien réussie que la mémorisation des mêmes mots présentés sous la forme de dessins : il s'agit du « *picture*

superiority effect » (Paivio, Roger & Smythe, 1968). Plus tard, il a été montré que les dessins n'avaient pas besoin d'être présentés physiquement pour obtenir encore un effet facilitateur sur la mémorisation : le fait de se représenter une image mentale pour chaque mot permettait également une meilleure mémorisation (Bower, 1972 ; Paivio & Csapo, 1973).

Théorie du double codage (Paivio, 1971)

De ces constats est née la théorie du double codage (Paivio, 1971 ; Paivio, 1991), selon laquelle il existe deux systèmes indépendants permettant de coder les informations en mémoire : un système de représentation verbale (*logogen*) et un système de représentation analogique (*imagen*). Le codage imagé est automatiquement réalisé lors de la présentation d'items figuratifs (dessins, photographies, objets réels, etc.), auquel s'ajoute quasi-automatiquement un codage verbal permettant d'assigner à l'objet une étiquette verbale. A l'inverse, en présence d'un matériel verbal, le codage verbal est réalisé de manière automatique alors que le codage imagé est optionnel et dépend de la valeur d'imagerie du stimulus et des capacités individuelles d'imagerie. Si le matériel verbal est concret, comme le mot « chaussure », c'est-à-dire qu'il renvoie à une entité physiquement présente dans l'environnement dont on a eu une expérience perceptive préalable, alors il pourra être représenté sous la forme d'une image mentale. Au contraire, si le matériel verbal est abstrait (comme le mot « théorème »), il ne fera pas l'objet d'un codage imagé. Le caractère optionnel du codage imagé pour le matériel verbal suggère que l'activité d'imagerie repose sur des processus dépendants de valeur d'imagerie du matériel verbal (concret vs abstrait), mais aussi d'autres facteurs plus stratégiques comme le type de tâche (par exemple : trouver le chemin le plus court entre deux trajets), ou encore de l'inclination des individus à mettre en œuvre cette stratégie d'imagerie. Le double codage verbal et imagé entraîne une facilitation de la récupération grâce à l'additivité de la trace verbale et de la trace imagée. Lors de la récupération, l'individu dispose de deux traces mnésiques distinctes pour le même élément, ce qui double ses possibilités de récupération. Toutefois, l'hypothèse de l'existence de deux traces mnésiques a été remise en question à plusieurs reprises, avec notamment l'argument de la nécessaire existence d'un troisième système de codage amodal, notamment pour faire la jonction/traduction entre les deux systèmes de codage verbal et imagé (par exemple, lorsqu'on décrit verbalement des éléments d'un dessin) (Kosslyn, 1980 ; Potter, Kroll, Yachzel, Carpenter, & Sherman, 1986). La théorie qui a alors émergé est celle d'un système de stockage en mémoire à long terme qui serait unique et amodal, mais effectivement associé à deux systèmes de traitement distincts (verbal et imagé) qui seraient mobilisés lors de l'encodage, puis de nouveau lors de la récupération (Marshark, Cornoldi & McDaniel, 1990).

Théorie de l'encodage relationnel et spécifique (Marschark & Hunt, 1989)

En parallèle de la théorie du double codage, d'autres théories viennent expliquer l'effet de l'imagerie mentale sur la mémorisation. Selon Marschark et Hunt (1989), ce n'est pas l'additivité d'une trace verbale et imagée qui permet d'améliorer la mémorisation, mais bien le traitement spécifique que permet l'image mentale. Ils expliquent leur théorie par le fait qu'ils n'observent pas d'effet bénéfique de la concrétude des mots mémorisés en situation de rappel libre. En revanche, lorsque le rappel est indicé (i.e. un des deux mots de la paire mémorisée est donné en indice de rappel), les paires de mots concrets sont plus facilement récupérées que les paires de mots abstraits. Selon eux, ces résultats suggèrent que l'effet du codage imagé sur la mémorisation est dû à une association entre traitement relationnel et traitement spécifique. Le traitement relationnel à l'encodage permet d'organiser les informations sur la base de ce qui les relie entre elles, ce qui facilite la récupération mnésique en termes de quantité. Le traitement spécifique, lui, met l'accent sur ce qui fait la spécificité de chaque information encodée, ce qui permet une récupération plus efficace en termes de qualité discriminative (Hunt & Einstein, 1981). Marschark et Hunt (1989) concluent que l'encodage relationnel verbal est un prérequis au bénéfice de l'encodage spécifique permis par le codage imagé. Toutefois, d'autres études ont observé un bénéfice du codage imagé (toujours manipulé en faisant varier la valeur d'imagerie des mots appris) en rappel libre, suggérant bien un bénéfice du codage imagé, même en dehors de sa fonction distinctive due au traitement spécifique (Begg, 1972 ; Paivio, Walsh & Bons, 1994). Par ailleurs, l'imagerie mentale en elle-même a montré un formidable potentiel en tant que support au traitement relationnel.

Images mentales et mémoire associative

Plusieurs études ont ainsi démontré un effet supérieur de l'imagerie mentale quand les participants recevaient pour consigne de se représenter mentalement les items interagissant entre eux dans une même image, plutôt qu'en se représentant une image pour chacun des items individuellement (Bower, 1970 ; Marschark & Hunt, 1989). Paivio (1971) lui-même avait d'abord mis en évidence cet effet de mémoire associative dans l'imagerie mentale avec la « *conceptual peg hypothesis* », selon laquelle l'utilisation d'un item « pivot » auquel on « accrocherait » les items à mémoriser, est particulièrement efficace dans le système imagé. Cet effet privilégié du code imagé se manifeste par la facilitation de ces associations avec des mots concrets. Par exemple, les individus sont plus à même de mémoriser la paire de mots « moteur rouillé » et de bénéficier de l'indice « rouillé » pour retrouver le mot « moteur » ; qu'avec la paire de mots « vérité absolue » (Begg, 1972). C'est d'ailleurs sur ce même principe que repose

le moyen mnémotechnique de la table de rappel : l'individu mémorise une table composée d'un certain nombre d'items-pivots concrets ; il associe ensuite des items qu'il souhaite mémoriser à chacun des items-pivots de sa table de rappel ; ces items-pivots sont stables en mémoire et facilement accessibles, et en les récupérant, l'individu récupère alors par association les items mémorisés (Van Der Linden, Coyettes & Meulemans, 1995). Cet effet fonctionne seulement à condition que les deux éléments mémorisés soient visualisés dans une même image, en interaction spatiale (Bower, 1970). Si je mémorise la paire de mots « chat- fourchette » en créant une image mentale de chat, et une image mentale de fourchette, la probabilité que je récupère le mot « fourchette » lorsque me sera présenté le mot « chat » sera bien plus faible que si je me représente une image associant les deux (par exemple, un chat tenant une fourchette dans sa gueule). Cet effet est dû à la mémoire associative, qui implique que l'association de deux éléments lors de l'encodage est remobilisée lors de la récupération, ce qui implique que la récupération de l'un entraîne automatiquement la récupération de l'autre.

Images mentales et récupération mnésique

En dehors du contexte expérimental dans lequel les participants créent des associations au travers d'images mentales intégratives pour mieux récupérer des paires de mots, le fait de s'appuyer sur des indices imagés pour récupérer une information est une des manières les plus fréquemment utilisée pour récupérer des souvenirs en mémoire autobiographique (Greenberg & Knowlton, 2014). Parfois, c'est à partir d'une image physique que nous récupérons un souvenir (par exemple, en regardant une photo), et parfois, c'est en mobilisant une image mentale que nous récupérons les différents éléments d'un souvenir. Par exemple, lorsque je cherche à récupérer des éléments constituant le souvenir de mon dernier anniversaire, je peux produire l'image mentale du lieu où se déroulait la fête. L'image mentale de ce contexte va progressivement mobiliser – par association – d'autres éléments visuels, et peut-être même auditifs, gustatifs, émotionnels, etc. Et je vais ainsi pouvoir retrouver d'autres éléments de ce souvenir, tel que les personnes qui étaient présentes en visualisant les visages, et même quel gâteau a été servi ce soir-là en ré-évoquant le goût. Cette stratégie de récupération peut parfois faire défaut chez certaines populations cliniques et plusieurs études ont ainsi montré qu'en améliorant les capacités d'imagerie mentale de patients atteints de SEP, on observait une amélioration significative de la récupération en mémoire autobiographique (Ernst et al., 2013 ; 2015). Cette amélioration est due à l'effet d'indilage permis par l'activité d'imagerie mentale, qui facilite la récupération en mémoire épisodique (Huijbers, Pennartz, Rubin & Daselaar, 2011).

L'imagerie motrice

La recherche sur l'effet de l'imagerie mentale sur la mémoire s'est principalement centrée sur les images mentales visuelles. Parallèlement, un champ entier de recherche en neuroscience se développait sur l'imagerie motrice. L'imagerie motrice est la représentation mentale de la réalisation d'une action motrice, sans qu'aucun mouvement ne soit physiquement produit (Decety & Grezes, 1999). Comme l'activité d'imagerie visuelle, l'imagerie motrice induit l'activation d'aires cérébrales normalement impliquées dans l'action motrice physique, à savoir : les cortex pariétaux et préfrontaux, des aires pré-motrices et motrices, le cervelet et les ganglions de la base (Tacchino et al., 2013). Selon la théorie de la simulation (Jeannerod, 1995), l'imagerie motrice correspondrait à la reproduction des activations cérébrales mobilisées durant le mouvement mais sans l'activation musculaire. Durant l'activité d'imagerie motrice, le cerveau simule à la fois les commandes motrices du mouvement imaginé et les feed-back sensoriels attendus à chaque étape. L'imagerie motrice et l'activité motrice mobilisent les mêmes zones cérébrales, on note cependant une intensité de l'activation environ 30% moins forte en situation d'imagerie motrice qu'en situation d'activité motrice, dans les aires motrices primaires et dans les aires somato-sensorielles (Porro et al. 1996). Comme l'imagerie visuelle, l'imagerie motrice produirait ainsi une représentation analogue aux percepts de l'exécution physique de mouvement. Cette hypothèse de l'analogie est soutenue par les données de neuroimagerie, mais aussi par des données expérimentales. En effet, plusieurs études ont obtenu une corrélation significative entre la durée de production d'une action motrice (pointage d'une cible, marche sur une distance donnée, etc.) et la durée de simulation mentale de la même action motrice (pour revue voir, Guillot, Hoyek, Louis, & Collet, 2012).

L'imagerie motrice a surtout été explorée dans l'entraînement sportif (pour revue, voir Feltz & Landers, 1983), puis dans la rééducation de troubles sensorimoteurs chez diverses populations cliniques (Jackson et al., 2001 ; Zimmermann-Schlatter et al., 2008). Concernant l'effet de l'imagerie motrice sur la mémorisation, les études sont plus rares. A l'instar de la recherche sur l'imagerie visuelle qui a débuté avec le *picture superiority effect*, la recherche sur l'imagerie motrice a débuté avec l'*enactment effect* qui correspond à la meilleure mémorisation de phrases d'actions quand les participants effectuent l'action que lorsqu'ils se contentent de la lire (pour revue, voir Engelkamp & Cohen, 1991). Dans la continuité du parallèle fait avec l'imagerie visuelle, quelques études ont exploré le potentiel bénéfique sur la mémoire, de la simulation mentale de l'action, à la place de son exécution réelle. Tout d'abord il est important de distinguer la simulation mentale de mouvement depuis un point de vue égocentré, qui fait appel à l'imagerie motrice, de la simulation d'un mouvement d'un point de vue allocentré, qui

fait appel à l'imagerie visuelle (Engelkamp, Zimmer & Denis, 1989). Engelkamp et al. (1989) ont ainsi observé que la mémorisation de paires verbes d'actions entraînait de meilleurs résultats dans la condition « imagerie motrice », que dans la condition « imagerie visuelle » en rappel libre, et que l'effet contraire était observé en rappel indicé. Ils en concluent que l'imagerie motrice renforce davantage un traitement spécifique à l'encodage, mais appauvrit le traitement relationnel, pourtant très utile pour réussir le rappel indicé. Par la suite, d'autres études ont comparé l'encodage par imagerie motrice à l'encodage verbal de phrases d'actions, et ont démontré que l'imagerie motrice permettait une meilleure mémorisation de ces phrases, comparativement à l'encodage verbal simple (Nilsson et al., 2000 ; Robin & Garnier, 2022 ; Watanabe, 2003). Comme pour l'imagerie visuelle, il est postulé que l'imagerie motrice enrichit la trace mnésique de codes moteurs, qui sont réutilisés lors de la récupération, la facilitant alors grâce à la spécificité de l'encodage moteur (Koriat & Pearlman-Avnion, 2003).

2. Les capacités d'imagerie mentale dans la sclérose en plaques

Dès l'émergence des modèles théoriques visant à expliquer la nature des images mentales et leur implication dans le fonctionnement cognitif humain, des chercheurs ont pointé l'existence de différences inter-individuelles concernant la vivacité des images mentales produites par les individus, mais aussi concernant la propension des individus à utiliser des images mentales lors de diverses activités mentales (Kosslyn, Brunn, Cave & Wallach, 1984). La vivacité d'une image mentale correspond au degré de richesse, de détail et de clarté d'une image mentale, par rapport à la perception du stimulus imaginé (D'Angiulli & Reeves 2007). La vivacité des images mentales est généralement évaluée à l'aide de questionnaires d'auto-évaluation. Ces évaluations préalables des capacités d'imagerie des participants sont primordiales afin de mettre en perspective les résultats des études portant sur les effets de l'imagerie mentale sur la mémoire. Dans le cas de la SEP, l'utilisation de l'imagerie mentale, et plus spécifiquement de l'imagerie motrice, a montré divers effets bénéfiques sur le fonctionnement sensorimoteur et la qualité de vie des patients (Agostini et al., 2021 ; Gil- Bermejo-Bernardez-Zerpa, Moral-Munoz, Lucena-Anton & Luque-Moreno, 2021). Toutefois, ces effets sont parfois modulés par certaines limites que peut entraîner la SEP sur les capacités d'imagerie mentale (Heremans et al., 2012 ; Seebacher, Reindl & Kahraman, 2023 ; Tabrizi et al., 2013). Dans un premier temps, nous présentons les principaux outils permettant d'évaluer les capacités d'imagerie mentale des patients, puis nous présentons les facteurs pouvant potentiellement réduire leurs capacités d'imagerie mentale.

2.1 Mesurer les capacités d'imagerie mentale

Parmi les outils de mesure utilisés pour évaluer les capacités d'imagerie mentale des participants SEP, il existe d'abord des tests portant sur des mesures comportementales. Par exemple, le « O'Clock Test » (Grossi, Modafferi, Pelosi & Trojano, 1989) permet de tester non seulement la capacité à produire une image mentale, mais aussi la capacité à manipuler mentalement et « scanner » cette image. Dans ce test, une planche avec les dessins de 30 horloges est présentée au sujet. Une première phase dite « perceptive » consiste à demander au sujet de comparer les horloges deux à deux et d'indiquer sur quelle horloge il observe l'angle le plus ouvert entre les deux aiguilles. Puis, dans la phase d'imagerie, le sujet doit se représenter mentalement les horloges par paires, indiquant deux horaires différents, proposés par l'expérimentateur. Quand cette image mentale est formée, le sujet doit ensuite opérer mentalement la comparaison entre les deux horloges afin de décider laquelle des deux horloges présente l'angle le plus ouvert entre ses deux aiguilles. Ce test permet d'évaluer la production et le « scanning » d'images mentales visuelles.

Dans la continuité des tests de « scanning », les tests d'asynchronie peuvent être utilisés pour objectiver la nature analogue des images mentales produites par l'individu. Ces tests, à l'instar des protocoles expérimentaux développés par Kosslyn en 1980, consistent à effectuer dans un premier temps un balayage visuel d'un point à un autre d'un écran. Ensuite, le participant doit se représenter mentalement l'écran et les deux points qui lui ont été présentés, et effectuer mentalement le balayage visuel d'un point à l'autre. Une comparaison est ensuite effectuée entre le temps nécessaire au balayage visuel réel et celui nécessaire au balayage visuel effectué mentalement. Une différence marquée entre ces deux temps indique une perturbation des capacités de balayage visuel mental. Concernant l'imagerie motrice, cette asynchronie est régulièrement testée à l'aide d'un test de pointage réel *versus* mental (Guillot, Hoyek, Louis & Collet, 2012). Au cours de ce test, les participants doivent, à un rythme normal, lever le bras jusqu'à pointer du doigt une cible qui se trouve face à eux. Puis, ils doivent reproduire mentalement le même geste, et annoncer quand ils se retrouvent avec le doigt mentalement pointé sur la cible. Ainsi, la durée d'exécution réelle du mouvement peut être comparée à la durée d'exécution mentale du mouvement. Plus les capacités d'imagerie mentale sont élevées, plus les deux durées seront similaires. Ces tests permettent d'évaluer l'efficacité de l'activité d'imagerie mentale lorsqu'elle est mobilisée, mais n'indiquent pas la propension qu'ont les individus à utiliser l'imagerie mentale dans la vie de tous les jours, ni les qualités phénoménologiques (la vivacité) de leurs images mentales.

Pour évaluer la capacité à produire des images mentales vivaces en réponse à des items

verbaux, plusieurs questionnaires ont également vu le jour. Un des questionnaires les plus utilisés est le VVIQ (*Vividness of Visual Imagery Questionnaire*, Marks, 1973). Ce questionnaire comprend 16 items pour lesquels il est demandé au participant d'auto-évaluer, sur une échelle de 1 à 5, la vivacité de l'image mentale qu'il s'est formée. Le VVIQ présente une excellente cohérence interne ($\alpha = .95$) et une bonne validité concordante attestée par sa corrélation significative ($r = .58, p < .001$) avec le questionnaire d'imagerie mentale de Betts (1909) (Burton & Fogarty, 2003). Si le VVIQ teste la qualité d'images mentales visuelles en suggérant la visualisation d'objets, paysages et même de scènes complexes, il ne permet pas d'explorer la vivacité des images motrices. Le MIQ-3 (Motor Imagery Questionnaire - 3, Williams et al., 2012) a été développé pour répondre à cet objectif d'évaluer des capacités d'imagerie motrice. Le MIQ-3 est une adaptation du MIQ-R (Hall & Martin, 1997), qui vient compléter l'évaluation de l'imagerie motrice permise par ce questionnaire, en distinguant 3 formes d'imagerie mentale pour se représenter un mouvement : (1) l'Imagerie Visuelle Externe (IVE), par laquelle l'individu se voit en train d'exécuter un mouvement ; (2) l'Imagerie Visuelle Interne (IVI), par laquelle l'individu visualise ce qui se passe pendant le mouvement avec un point de vue à la première personne ; (3) l'Imagerie Kinesthésique (IK), par laquelle l'individu se représente les sensations dans son corps au cours de la simulation mentale du mouvement (mais sans bouger). Le MIQ-3 comprend 12 items décrivant chacun un mouvement. Le participant est d'abord invité à exécuter une fois le mouvement, puis à se représenter mentalement le mouvement qui vient d'être exécuté, soit via l'IVE, soit via l'IVI, soit via l'IK. Enfin, le participant évalue sur une échelle de 1 à 7, l'aisance avec laquelle il a pu se représenter le mouvement. Le MIQ-3f (version française du MIQ-3, Robin, Coudevylle, Guillot et Toussaint, 2020) présente une excellente cohérence interne pour chacune des trois dimensions IVE, IVI et IK ($\alpha = .88, \alpha = .92, \alpha = .92$) et une bonne fiabilité test-re-test pour chacune des trois dimensions (Robin et al., 2020).

Enfin, pour évaluer la propension des individus à utiliser l'imagerie mentale dans la vie de tous les jours, il existe la *Spontaneous Use of Imagery Scale* (SUIS ; Reisberg, Pearson, & Kosslyn, 2003). Cette échelle est composée de 12 items présentant des situations de la vie quotidienne, pour lesquelles le participant doit évaluer sa fréquence d'utilisation de l'imagerie sur une échelle allant de « toujours complètement approprié » à « jamais approprié ». Les qualités psychométriques de la SUIS montrent une cohérence interne correcte ($\alpha = .72$ à $.76$ sur les 3 échantillons) et une bonne validité concordante en corrélant significativement avec le VVIQ (Nelis, Holmes, Griffith & Raes, 2019).

2.2 Impacts des troubles sensorimoteurs sur les capacités d'imagerie mentale

Rappelons brièvement que la pathologie de la SEP se caractérise, au-delà des troubles cognitifs, par une atteinte du fonctionnement sensorimoteur. Dans le cadre de la remédiation des capacités sensorimotrices, l'imagerie mentale est utilisée comme technique de réhabilitation des fonctions sensorimotrices, par exemple auprès de patients post-AVC (Ietswaart et al. 2011 ; Stevens & Stoykov, 2003), ou de patients Parkinsonniens (Tamir, Dickstein & Huberman, 2007). Dans ces programmes de réhabilitation sensorimotrice, la consigne d'imagerie invite le plus souvent les patients à s'imaginer en train de réaliser un mouvement (imagerie motrice) comme effectuer des gestes, ou encore marcher, en détaillant le plus précisément possible les étapes du mouvement et en ressentant les sensations (articulatoires et musculaires) associées au mouvement (imagerie kinesthésique). Il est reconnu que l'imagerie motrice active les circuits neuronaux habituellement sollicités lors de l'exécution d'une activité motrice physique (Jeannerod, 1995). Cette technique permet donc de préparer en amont la facilitation de récupération de fonctions motrices, suite à une atteinte neurologique, à condition que l'activité d'imagerie motrice en amont respecte la séquentialité et l'organisation temporo-spatiale du mouvement réel. L'imagerie motrice permet alors de stimuler la plasticité cérébrale et donc de favoriser la récupération de capacités motrices (Di Rienzo et al., 2014).

Cependant, il existe un effet paradoxal concernant l'utilisation de l'imagerie motrice auprès de populations cliniques, car certaines pathologies sont justement marquées par une atteinte des capacités d'imagerie motrices elles-mêmes. Dans une revue de littérature portant sur l'impact des atteintes neurologiques sur les capacités d'imagerie motrice, Di Rienzo et al. (2014) rapportaient les chiffres suivants : dans 43 % des études, un écart entre la durée du mouvement exécuté et la durée du mouvement imaginé était observé chez les participants présentant un déficit moteur. Une des hypothèses pouvant expliquer ce déficit des capacités d'imagerie motrice dans ces pathologies neurologiques est que l'atteinte des aires cérébrales impliquées dans le contrôle sensorimoteur entraîne d'emblée une atteinte de l'imagerie motrice, puisque l'imagerie motrice mobilise les mêmes aires cérébrales (Seebacher et al., 2023). L'hypothèse selon laquelle le déficit en imagerie motrice serait directement lié au déficit sensorimoteur est soutenue par l'observation d'un déficit des images mentales spécifiquement pour l'hémicorps atteint chez des patients amputés (Malouin et al., 2009) ou encore chez des patients hémiparésiques (Dettmers et al., 2012). Mais d'autres études observent également un déficit de représentation de certains mouvements pourtant toujours parfaitement réalisables physiquement par les participants (pour revue, voir, Di Rienzo et al., 2014). Ces résultats suggèrent que le déficit d'imagerie motrice peut ne pas être seulement dû à un déficit sensorimoteur, mais aussi

à un déficit cognitif fronto-temporal (déficit en mémoire de travail, visuo- spatial) (Malouin, Richards & Durand, 2012 ; Yan et al., 2012).

Il existe une littérature conséquente concernant les bénéfices de l'imagerie motrice sur la rééducation sensorimotrice dans la SEP, entraînant des améliorations sur la vitesse et les distances de marches, sur la fatigue, et sur la qualité de vie (pour revue, voir Gil-Bermejo-Bernardez-Zerpa et al., 2021). Cependant, d'autres études mettent en avant des perturbations des capacités d'imagerie motrice chez les patients atteints de SEP (pour revue, voir Seebacher et al., 2023). Ce déficit des capacités d'imagerie motrice est généralement mis en évidence par l'observation d'une asynchronie entre la représentation mentale du mouvement et son exécution réelle (Heremans et al., 2012 ; Tacchino et al., 2013). Dans leur étude, Heremans et al. (2012) ont testé l'asynchronie de l'imagerie motrice chez les patients atteints de SEP en comparant la durée qu'ils mettaient à exécuter une tâche motrice simple, à la durée qu'ils mettaient à reproduire mentalement cette tâche, en l'imaginant d'un point de vue égocentré. La tâche motrice consistait à transférer 20 morceaux de bois, d'une boîte à une autre, séparée d'une distance de 2,5 mètres. Les patients atteints de SEP présentaient une asynchronie significativement plus marquée entre l'exécution de cette tâche et sa simulation mentale, comparé au groupe contrôle. Dans cette étude, l'asynchronie observée chez les patients atteints de SEP était corrélée au niveau de handicap des patients, évalué à l'aide du score à l'EDSS (Expanded Disability Status Scale). En parallèle, la précision de l'imagerie motrice était évaluée à l'aide d'une tâche de rotation mentale de la main : les participants voyaient des dessins de mains sous différents points de vue et différents niveaux de rotation, et devaient décider s'il s'agissait d'une main gauche ou main droite (sans bouger ou regarder leur propre main). Les patients atteints de SEP faisaient significativement plus d'erreurs de jugement sur cette tâche de rotation mentale que les participants du groupe contrôle, et ce résultat corrélait significativement avec les performances des participants à une batterie de tests évaluant la mémoire de travail et vitesse de traitement (Heremans et al., 2012).

Il est établi que la SEP entraîne plusieurs troubles moteurs (ataxie, faiblesse musculaire, ralentissement, spasticité) (Gallien, Nicolas & Guichet, 2012). Or, étant donné les preuves des interactions entre les processus sensorimoteurs et les processus d'imagerie motrice (Di Rienzo et al., 2014), il est possible que le déficit des capacités d'imagerie motrice observé chez les patients atteints de SEP soit en partie lié au déficit sensorimoteur dont souffrent ces patients. Toutefois, l'atteinte cérébrale dans la SEP est diffuse, et il n'y a pas, à notre connaissance, de données de neuroimagerie soutenant le lien entre une atteinte des aires cérébrales impliquées dans l'activité sensorimotrice et le déficit d'imagerie motrice dans la SEP. Par ailleurs, les

études portant sur le lien entre les déficits sensorimoteurs et le déficit d'imagerie motrice dans la SEP restent imprécises sur les caractéristiques des atteintes sensorimotrices de leurs participants atteints de SEP. Ainsi, contrairement aux études qui établissaient un lien direct entre l'hémicorps atteint chez des patients post-AVC et leurs difficultés d'imagerie motrice pour ce même hémicorps (Dettmers et al., 2012), il nous est difficile d'établir ce même lien dans le cas de la SEP. En effet, le plus souvent, les déficits sensorimoteurs des participants atteints de SEP sont évalués seulement à l'aide de l'EDSS, qui regroupe un ensemble de huit fonctions sensorimotrices, vésico-sphinctériennes et même cognitive (pour revue, voir Seebacher et al., 2023). Le lien entre le déficit sensorimoteur et le déficit d'imagerie motrice dans la SEP mériterait donc d'être plus clairement exploré. Toutefois, de nombreux éléments, et notamment le fait que des perturbations de l'imagerie motrice soit observées chez des patients ayant pourtant des capacités sensorimotrices normales, suggèrent une implication majeure des difficultés cognitives dans ce déficit de l'imagerie motrice chez les patients atteints de SEP (Trabizi et al., 2013).

2.3. Impacts des troubles cognitifs sur les capacités d'imagerie mentale

Dans une récente revue de littérature, Gil-Bermejo-Bernardez-Zerpa et al. (2021) ont rapporté un bénéfice significatif de l'imagerie motrice sur les capacités de marche, d'équilibre, sur la fatigue et sur la qualité de vie des patients SEP. Toutefois, certaines études montrent au contraire un bénéfice très limité, voire inexistant de l'imagerie motrice chez les patients atteints de SEP (Bovend'Eerd et al. 2009 ; Bovend'Eerd et al. 2010). Parmi les observations des auteurs concernant ce résultat peu concluant, il est noté que la remédiation par imagerie motrice avait été difficile à mettre en place à cause des « difficultés cognitives » des patients (p. 944, Bovend'Eerd et al. 2010). Toutefois, il n'y avait pas d'évaluation cognitive dans cette étude pour corroborer cette hypothèse. Face à ces résultats mitigés, des recherches sur les déficits cognitifs potentiellement impliqués dans la perturbation de l'imagerie motrice ont été menées. L'asynchronie entre l'exécution réelle d'un mouvement et sa simulation mentale, observée chez les patients SEP pourrait être due à une atteinte des aires impliquées dans la mémoire de travail, le raisonnement et la vitesse de traitement de l'information (Tacchino et al., 2013). Les données en imagerie cérébrale permettent effectivement d'observer, de manière générale, que les patients cérébrolésés présentant une atteinte du cortex pariétal et du lobe frontal, ont des capacités d'imagerie motrice significativement réduites (pour revue, voir McInnes, Friesen & Boe, 2016). Cette topographie des atteintes cérébrales est concordante avec les données aux tests neuropsychologiques. En effet, les difficultés d'imagerie motrice observées via l'asynchronie

chez les patients SEP, sont significativement corrélées aux déficits de la mémoire de travail et à la vitesse de traitement évaluées à l'aide du PASAT (Trabizi et al., 2013). En testant l'imagerie motrice à l'aide de tâches d'imagerie visuo-spatiale comme la rotation mentale de la main, Heremans et al. (2012) ont aussi remarqué que les difficultés des participants concernant la précision du mouvement imaginé étaient significativement corrélées à un déficit de la mémoire de travail des patients SEP.

Ces études offrent un premier aperçu des facteurs pouvant influencer sur les capacités d'imagerie mentale des patients SEP, mais elles ont pour limite d'évaluer exclusivement les capacités d'imagerie motrice, et non les capacités d'imagerie visuelle. La seule étude, à notre connaissance, ayant exploré les performances d'imagerie visuelle des patients SEP et leurs interactions avec le fonctionnement cognitif global, a été réalisée par Canellopoulou et Richardson (1998). Ces auteurs ont montré que les patients SEP bénéficiaient de l'imagerie visuelle pour améliorer la mémorisation d'un trajet et d'une liste de courses, lorsque cette activité d'imagerie était guidée par les consignes de l'expérimentateur. Quand les patients atteints de SEP étaient invités à créer des images mentales par eux-mêmes, l'effet bénéfique de l'imagerie était moindre. Cette étude portait principalement sur le rôle des fonctions exécutives dans la mobilisation d'une stratégie d'imagerie visuelle chez les patients atteints de SEP. Il s'avère que les performances des patients aux tests des fonctions exécutives ne sont pas corrélées aux scores de rappel indicé à l'issue d'un apprentissage avec une consigne d'imagerie visuelle. En revanche, en rappel libre, une corrélation significative entre l'effet de l'imagerie et les capacités exécutives était observée. Cette étude n'apporte pas de preuves d'un impact direct des capacités exécutives sur l'habileté des patients SEP à produire des images mentales, mais elle suggère qu'elles sont impliquées dans les processus mnésiques complexes qui mobilisent l'imagerie mentale. Par ailleurs, cette étude suggère que, en dépit des effets limitants des troubles cognitifs sur les performances d'imagerie mentale des patients SEP, la technique de l'imagerie mentale pourrait s'avérer être une technique de remédiation tout de même efficace pour cette population. Dans la partie suivante, nous allons présenter les effets de l'imagerie mentale sur la remédiation de la MP et ouvrir sur la question de l'utilisation de l'imagerie mentale comme technique de remédiation de la MP dans la SEP.

3. Images mentales et remédiation de la mémoire prospective

Nous avons présenté, au début de ce chapitre, les théories expliquant les bénéfices de l'imagerie mentale sur la mémoire épisodique. La question subsidiaire est alors : peut-on obtenir des bénéfices similaires en utilisant l'imagerie mentale dans le cadre d'une tâche de MP ? En effet, la MP partage des processus communs avec la mémoire épisodique (voir chapitre 1) et pourrait donc bénéficier de l'effet de l'imagerie mentale. Les recherches portant sur les bénéfices de l'imagerie mentale sur la MP ont vu le jour assez récemment, mais apportent d'ores et déjà des preuves solides d'un effet de l'imagerie sur la MP (Faytall et al., 2017 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Hussey et al., 2012 ; Pereira et al., 2018 ; Potvin et al., 2011-b ; Raskin et al., 2019). Toutefois, dès le début de ce courant de recherche, une confusion a pu exister entre l'imagerie mentale et l'implémentation d'intention. Nous commençons donc cette partie par présentation de cette distinction entre imagerie mentale et implémentation d'intention, puis nous exposons les théories explicatives des effets de l'imagerie mentales sur la MP. Enfin, nous ouvrons sur la question de la remédiation de la MP chez les patients atteints de SEP.

3.1. Remédiation de la mémoire prospective : différence entre implémentation d'intention et imagerie mentale

L'implémentation d'intention, telle qu'elle a été développée par Gollwitzer (1999), consiste à produire à voix haute une affirmation suivant la structure suivante : « **Quand** je rencontrerai la situation x, **alors** je ferai y ». Initialement, l'implémentation d'intention a été présentée par Gollwitzer (1999) comme une stratégie favorisant l'atteinte d'objectifs. Selon lui, le fait de produire cette affirmation permet à la fois de favoriser l'initiation du projet, en spécifiant le contexte dans lequel il sera initié ; et de favoriser également le déroulement du projet grâce à son déclenchement automatique à la rencontre du contexte d'initiation déterminé en amont. La structure de l'affirmation utilisée dans l'implémentation d'intention est alors essentielle : formuler à voix haute « je ne me laisserai pas distraire », a significativement moins d'effet que d'affirmer « lorsque la distraction se présentera, je l'ignorerai » (Gollwitzer & Schaal, 2013). Dans le cadre de la recherche sur la MP, l'implémentation d'intention a montré un effet bénéfique à de nombreuses reprises (pour revue, voir Chen et al., 2015). Toutefois, comme le font remarquer Chen et al. (2015), l'implémentation d'intention est parfois accompagnée d'une consigne d'imagerie mentale. Par exemple, dans l'étude de Chasteen, Park & Schwarz (2001), les participants sont invités à produire l'affirmation d'implémentation d'intention "Quand (*je rencontrerai cet indice*), Alors (*j'exécuterai cette intention*)", tout en se faisant une image

mentale de l'indice et de l'exécution de l'intention associée. Certains auteurs ont alors questionné l'implication respective de l'implémentation d'intention et de l'imagerie mentale dans l'amélioration des performances en MP (Abel et al., 2024 ; McFarland & Glisky, 2012 ; Meeks & Marsh, 2010 ; Scullin, Kurinec & Nguyen, 2017). McFarland et Glisky (2012) ont comparé les performances de leurs participants à une tâche de MP, dans des conditions d'implémentation d'intention, d'imagerie mentale et des deux combinées. Dans leur étude, la combinaison de l'imagerie et de l'implémentation n'augmente pas les performances par rapport à ces deux techniques utilisées individuellement. Les auteurs interprètent cela comme le fait que ces deux techniques sont indépendantes (l'imagerie ne nécessite pas d'implémentation pour fonctionner et l'implémentation ne nécessite pas d'imagerie pour fonctionner). En revanche, le fait que la combinaison des deux stratégies n'apporte pas de plus-value suggère, selon ces auteurs, qu'elles soutiennent des processus similaires dans l'amélioration des performances en MP. Toutefois, des résultats plus récents montrent, au contraire, une additivité des effets de l'imagerie mentale et de l'implémentation d'intention, avec des performances en MP significativement meilleures en condition « implémentation + imagerie », qu'en condition « implémentation » ou « imagerie » seule (Abel et al., 2024 ; Scullin et al., 2017). L'une des premières hypothèses pour expliquer l'effet bénéfique de l'implémentation d'intention sur la MP, postule que le fait d'identifier clairement l'indice avec l'affirmation « Quand..., Alors... » augmenterait la saillance de l'indice prospectif, ainsi que la force de l'association indice-intention (McDaniel, Howard, & Butler, 2008). Cependant, Meeks et Marsh (2010) ont suggéré que, pour que l'indice soit rendu saillant, il fallait qu'il soit précisément connu à l'encodage, quand l'implémentation d'intention est utilisée. Leur hypothèse est que l'implémentation d'intention peut marcher quand l'indice est précisément défini (par exemple, si l'indice est le mot « vache » contrairement à « n'importe quel mot appartenant à la catégorie des animaux »). Pourtant, leurs résultats montrent que l'implémentation d'intention associée à une activité d'imagerie mentale améliore les performances à la tâche de MP, même quand l'indice n'est pas précisément défini à l'encodage (i.e. catégorie). Ce constat remet en question l'hypothèse du traitement spécifique qui augmenterait la saillance de l'indice. Meeks et Marsh (2010) suggèrent alors que l'implémentation d'intention améliore les performances en MP en appuyant l'importance de cette tâche, lui allouant alors plus de ressources attentionnelles qu'en condition contrôle.

Scullin et al. (2017) poursuivent ces recherches en questionnant la production d'exemples spécifiques quand l'indice prospectif est en fait une catégorie entière de mots, en condition « implémentation d'intention » et en condition « imagerie ». Dans leur étude, les participants sont

informés qu'ils devront appuyer sur la touche « Q », chaque fois qu'ils verront un nom de fruit apparaître à l'écran. Les participants sont répartis en quatre groupes pour l'encodage de cette intention : « contrôle », « implémentation », « imagerie » et « implémentation + imagerie ». Après avoir reçu la consigne de MP associée à la stratégie d'encodage de leur groupe, les participants devaient décrire ce à quoi ils avaient pensé durant l'encodage. En condition « contrôle » et « implémentation d'intention », les participants rapportaient très peu d'exemples spécifiques ; alors qu'en condition « imagerie », les participants rapportaient avoir visualisé significativement plus d'exemples spécifiques que le groupe contrôle (par exemple : « je visualisais le mot « banane » sur l'écran, et j'appuyais sur la touche « Q » ») ; en condition « implémentation + imagerie », les participants produisaient également significativement plus d'exemples spécifiques (Scullin et al., 2017). Ces résultats suggèrent que l'hypothèse d'une augmentation de la saillance des indices n'est pas viable pour expliquer l'effet de l'implémentation d'intention, et soutient l'hypothèse d'une plus grande allocation de ressources attentionnelles à la détection des indices prospectifs grâce à l'implémentation d'intention (Meeks & Marsh, 2010). D'un autre côté, l'imagerie mentale, elle, semble supporter un traitement spécifique qui rendrait les indices prospectifs plus saillants.

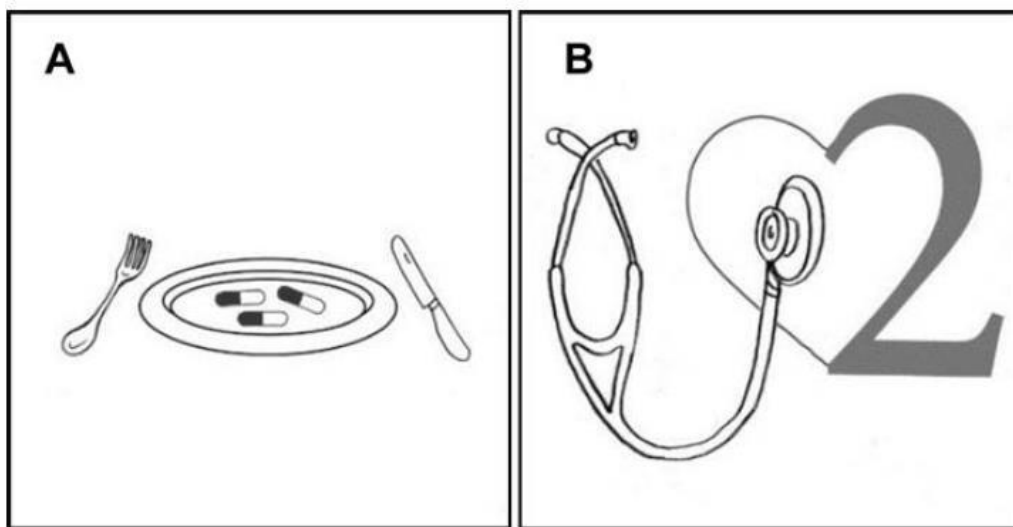
3.2. Remédiation de la mémoire prospective : les effets de l'imagerie mentale

Les effets de l'imagerie mentale sur la MP ne peuvent pas être abordés exactement de la même manière que pour la mémoire épisodique. En effet, comme nous l'avons évoqué dans le Chapitre 1 de cette thèse, la MP se divise en deux composantes : la composante prospective, qui correspond à la détection de l'indice prospectif ; et la composante rétrospective, qui correspond à la récupération de l'intention associée (Einstein & McDaniel, 1990). S'il peut être attendu que la composante rétrospective de la MP puisse bénéficier, comme la mémoire épisodique, d'un double codage imagé facilitant sa récupération, cela laisse en suspens la question de la composante prospective. En effet, la réussite d'une tâche prospective nécessite en premier lieu de détecter l'indice prospectif. Plusieurs théories ont alors émergé pour expliquer comment l'imagerie mentale facilitait la détection des indices prospectifs.

Tout d'abord, Brewer et Marsh (2010) ont mis en avant que le fait de se représenter mentalement le contexte de survenue de l'indice prospectif permettait de faciliter sa détection. Dans leur étude, ils ont comparé les performances en MP dans trois conditions : (1) pas de lien indice-contexte ; (2) lien indice-contexte normal ; (3) lien indice-contexte renforcé. Dans la condition (1), les participants étaient informés qu'ils devraient appuyer sur la touche « espace » du clavier dès qu'ils verraient un animal, mais sans être informé que l'animal apparaîtrait sous

forme écrite, au cours d'une tâche de décision lexicale. Dans la condition (2), les participants étaient informés qu'ils allaient faire une tâche de décision lexicale, et qu'au cours de cette tâche ils devraient appuyer sur la touche « espace » dès qu'ils verraient un nom d'animal. Dans la condition (3), ils recevaient les mêmes informations que dans la condition (2) mais associée à une consigne d'implémentation d'intention et d'imagerie mentale dans laquelle ils devaient se visualiser en train de compléter la tâche de décision lexicale, puis affirmer « quand je verrai un nom d'animal, alors j'appuierai sur la touche « espace » ». Les résultats montrent une amélioration significative des performances entre la condition (1) pas de lien et la condition (2) lien normal ; ainsi qu'une amélioration significative des performances entre la condition (2) lien normal et la condition (3) lien renforcé. Brewer et al. (2010) interprètent ces résultats comme un effet du traitement approprié au transfert (« *transfer-appropriate processing* », Morris, Brandsford, & Franks, 1977), selon lequel le fait de mobiliser le même type de traitement à l'encodage et lors de la récupération facilite le processus de récupération. En effet, selon Brewer et al. (2010), le fait d'avoir simulé mentalement la complétion de la tâche de décision lexicale lors de l'encodage, puis d'être en train de compléter la tâche de décision lexicale au moment de la récupération, facilite cette récupération. Toutefois, dans de nombreuses études montrant un bénéfice de l'imagerie mentale sur la MP, la consigne d'imagerie ne met pas spécifiquement l'accent sur le contexte d'apparition des indices prospectifs (Faytall et al., 2017 ; Lajeunesse et al., 2021 ; McFarland & Glisky, 2012 ; Potvin et al., 2011b ; Raskin et al., 2019). Dans ces études, les participants du groupe « imagerie » sont simplement invités à se former une image dans laquelle apparaissent l'indice prospectif et l'intention associée. Dans certaines études, l'accent est même mis sur le fait de se créer une image interactive (Lajeunesse et al., 2022 ; Potvin et al., 2011b), dans laquelle apparaissent ensemble l'indice et l'intention prospective (voir figure 2).

Figure 2 –Exemples (A) d'une image interactive EB représentant l'association entre l'indice prospectif "au dîner" et l'action prévue "prenez vos médicaments", et (B) une image interactive TB représentant l'association entre l'indice prospectif "à 2 heures" et l'action prévue "aller chez le médecin". Reproduit à partir de « Effectiveness of a Visual Imagery Training Program to Improve Prospective Memory in Older Adults with and without Mild Cognitive Impairment: A Randomized Controlled Study» par Lajeunesse, A. et al., 2022, *Neuropsychological Rehabilitation*, 32(7), p.8.



Les résultats de ces études montrent que le fait de visualiser ensemble l'indice et l'intention prospective permet d'améliorer significativement les performances en MP. L'hypothèse alors avancée est celle d'une augmentation de la saillance de l'indice prospectif, et d'un renforcement du lien indice-intention, permettant de faire reposer la détection de l'indice et la récupération de l'intention sur des processus automatiques. Cette hypothèse s'inscrit dans la *multiprocess theory* (McDaniel & Einstein, 2000), selon laquelle la MP peut, dans certains cas, s'appuyer sur des processus automatiques qui s'avèrent moins coûteux sur le plan attentionnel que d'autres processus contrôlés. McDaniel et Einstein (2000) identifient notamment le renforcement du lien indice-intention comme favorisant les processus automatiques. Dans leur étude, ils observent ainsi une amélioration des performances à une tâche de MP lorsqu'ils augmentent la force du lien indice-intention en faisant varier leur proximité sémantique (par exemple, écrire le mot « sauce » quand on voit apparaître le mot « spaghetti »). De la même manière que le fort lien sémantique permet une récupération automatique de l'intention à la rencontre de l'indice, le lien créé entre deux éléments grâce à l'image mentale interactive permet de récupérer automatiquement le deuxième élément à la rencontre du premier.

Il est effectivement admis que l'indiciage par un des deux éléments d'une image mentale interactive, entraîne la récupération automatique du deuxième élément de cette image (voir *conceptual peg hypothesis* ; Paivio, 1971). Cette théorie permet d'expliquer l'effet de l'imagerie mentale sur la composante rétrospective de la MP, mais n'explique pas pourquoi, dans les études portant sur l'effet de l'imagerie mentale sur la MP, il y a également une amélioration des performances sur la composante prospective (Ihle et al., 2018 ; McFarland & Glisky, 2012). L'effet de l'imagerie mentale sur la composante prospective peut être expliqué par la théorie du processus « *reflexive-associative* » (McDaniel & Einstein, 2000), selon laquelle le simple traitement de l'indice (par exemple, être en train de dîner) va, par association, évoquer le contenu de l'intention (par exemple, prendre des médicaments), ce qui va alors permettre de reconnaître l'indice comme tel et donc sa détection, suivi de l'exécution de l'intention qui a été récupérée automatiquement. Potvin et al. (2011b) interprètent ainsi l'amélioration de la composante prospective grâce à l'imagerie mentale [traduction libre] : « l'apparition des indices prospectifs parmi les distracteurs moins familiers et moins saillants pourrait avoir mobilisé involontairement les ressources attentionnelles et déclenché un rappel automatique des intentions en raison de la forte association entre l'indice et l'action » (p.920).

Certains auteurs arguent alors que l'activité d'imagerie serait moins efficace pour les intentions TB par rapport aux intentions EB, car la détection des indices TB nécessitent un processus contrôlé de time-monitoring (Altgassen et al., 2015 ; Paraskevaides et al., 2010). Pourtant les résultats montrent que l'imagerie mentale permet d'améliorer significativement les performances aux intentions TB (Altgassen et al., 2015 ; Potvin et al., 2011b). Et par ailleurs, Potvin et al. (2011b) notent que le nombre de fois où les participants vérifient le temps au cours de la tâche, ne varie pas entre la condition contrôle et la condition avec imagerie mentale. Il semblerait donc que l'effort de time-monitoring n'ait pas été excessivement coûteux dans ces études (Altgassen et al., 2015 ; Potvin et al., 2011b), et que la fréquence à laquelle les participants contrôlaient le temps était suffisante pour avoir des chances de traiter les indices TB. L'imagerie mentale aura alors simplement permis de rendre plus saillants les indices TB, permettant aux participants de les repérer lors de leurs vérifications régulières du temps. Une autre potentielle limite évoquée concernant l'effet de l'imagerie mentale sur les intentions TB concernait la création même des images mentales pour ces indices (Lajeunesse et al., 2022 ; Potvin et al., 2011b). En effet, les indices TB (exemple : « au bout de 2 minutes ») sont beaucoup plus abstraits que les indices EB (exemple : « quand je passerai devant la boulangerie »), et sont donc bien moins faciles à représenter sous forme d'images mentales. Toutefois, puisque la détection des indices TB a été significativement améliorée par l'imagerie il apparaît que les

participants ont malgré tout pu se créer une image mentale de ces indices TB. Il reste tout de même des éléments qui suggèrent que la création des images mentales pour les intentions TB peut être plus difficile. En effet, Paraskevaides et al. (2010) ont constaté que les consignes d'imagerie étaient plus efficaces pour la réalisation des intentions EB comparées aux intentions TB chez les participants ayant consommé de l'alcool. De plus les participants ayant consommé de l'alcool notaient leurs images mentales pour les intentions TB comme étant significativement moins vivaces que leurs images mentales pour les intentions EB.

En conclusion, le fait de se créer des images mentales lors de l'encodage des intentions prospectives permet d'améliorer significativement la détection des indices TB et EB, et la récupération des intentions associées, en favorisant des processus automatiques. De ce fait, l'utilisation de l'imagerie mentale pourrait être une stratégie efficace dans la remédiation des troubles de la MP dans la SEP.

3.3. Remédiation de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques : quid de l'imagerie mentale ?

L'activité d'imagerie mentale a montré des effets bénéfiques sur la MP auprès de populations cliniques variées présentant des troubles cognitifs, tels que des patients atteints de traumatismes crânio-encéphaliques (Grilli & McFarland, 2011 ; Potvin et al., 2011-b ; Raskin et al., 2017), des patients souffrant de Mild Cognitive Impairment (Perreira et al., 2018), des patients atteints d'Alzheimer (Hussey et al., 2012), ou encore des patients atteints du SIDA (Faytell et al., 2017) etc. Dans une revue de littérature portant sur la remédiation de la MP chez les patients atteints de SEP, Rouleau et al. (2020) notaient que l'imagerie mentale n'avait pas encore été testée auprès des patients atteints de SEP, mais qu'elle pourrait s'avérer être une technique de remédiation tout à fait adaptée.

En effet, comme nous l'avons vu, l'imagerie mentale permet d'améliorer la récupération des intentions prospectives en renforçant le lien indice-intention, ce qui facilite la récupération des intentions. Dans une récente étude, Dagenais et al. (2016a) exploraient justement comment le fait de favoriser la récupération automatique permettrait d'améliorer les performances en MP des patients atteints de SEP, et ce en lien avec les difficultés exécutives observées dans cette pathologie. Dans leur étude, les participants doivent mémoriser 4 mots-indices (composante prospective), qui apparaîtront parmi d'autres mots au cours d'une tâche de décision lexicale, et chacun de ces 4 mots est associé à une action à exécuter (composante rétrospective). Il y avait deux conditions : (1) lien indice-action faible (par exemple : quand apparaît le mot « argent »,

il faut « arroser la plante ») et (2) lien indice-action fort (par exemple : quand apparaît le mot « médicament » il faut « ouvrir la boîte de médicaments »). En réalisant une régression linéaire pour étudier les facteurs influant sur les performances en MP des patients SEP, Dagenais et al. (2016a) observent que 25% des déficits en MP chez les patients SEP sont prédits par leurs performances aux tests des fonctions exécutives, tandis que les performances aux tests de mémoire épisodique ne prédisent pas significativement les performances en MP des patients SEP. Par ailleurs, en divisant le groupe SEP en deux sous-groupes : (1) capacités exécutives faibles ; (2) capacités exécutives fortes ; les auteurs observent que le groupe (1) a des performances en MP significativement inférieures au groupe (2). De plus, le groupe (2) ne voit pas ses performances en MP améliorées par le lien indice-action fort, indiquant que la facilitation des processus automatique a moins d'utilité chez les participants SEP n'ayant pas de difficultés exécutives. A partir de ces résultats, il peut être postulé que les patients atteints de SEP pourraient bénéficier de la favorisation des processus automatiques permise par l'imagerie mentale, et ce surtout dans le cas où ils présentent des déficits exécutifs.

Par ailleurs, Kardiasmenos et al. (2008) ont testé l'effet de l'implémentation d'intention, associé à une consigne d'imagerie mentale, chez les patients atteints de SEP et ont observé un effet bénéfique significatif uniquement sur la détection des indices prospectifs (composante prospective). Selon eux, la consigne d'implémentation d'intention a permis d'améliorer les performances des patients atteints de SEP sur cette composante prospective en augmentant l'attention apportée au contexte d'apparition de l'indice prospectif, le rendant donc plus facile à détecter. Il est important de noter que la consigne d'implémentation d'intention utilisée par Kardiasmenos et al. (2008) comprend bien une partie d'imagerie mentale, mais que l'activité d'imagerie mentale est ici centrée sur le fait de se représenter mentalement le contexte de survenue de l'indice, comme dans l'étude de Brewer et al. (2010). De fait, Kardiasmenos et al. (2008) n'invitent pas les patients atteints de SEP à se représenter l'indice prospectif et l'intention associée dans une image mentale interactive. Or, il est établi que cette association permet de faciliter la récupération en mémoire (Paivio, 1971). Il serait donc intéressant, à l'avenir, de tester l'effet d'une consigne d'imagerie mentale dans laquelle les patients atteints de SEP sont invités à se représenter à la fois l'indice prospectif et l'intention associée, afin de confirmer son impact sur les performances aux composantes prospectives et rétrospectives de la MP. Et, il serait également intéressant de vérifier si l'imagerie mentale a un effet sur les intentions EB comme TB.

Enfin, concernant les potentielles limites des capacités d'imagerie mentales des patients atteints de SEP que nous avons évoquées dans la partie précédente de ce chapitre, plusieurs

études suggèrent qu'elles ne constituent pas un frein réel à l'utilisation de l'imagerie mentale comme technique de remédiation cognitive auprès des patients atteints de SEP. Par exemple, Ernst et al. (2012) ont développé un programme de réhabilitation de la mémoire autobiographique via l'imagerie mentale visuelle qu'ils ont proposé à des patients atteints de SEP. La récupération de souvenirs en mémoire autobiographique est un processus coûteux sur le plan cognitif, qui requiert un contrôle attentionnel et exécutif dans l'application de stratégies de récupération adaptées. L'utilisation de l'imagerie mentale comme stratégie de récupération du souvenir autobiographique est tout à fait pertinente. En effet, les indices visuels, associés à tous les autres détails phénoménologiques, sont d'excellentes « portes d'entrée » vers le souvenir (Huijbers et al., 2011). Le programme de remédiation proposé par Ernst et al., (2013) se découpait en séances individuelles de deux heures par semaine, pendant 6 semaines. L'objectif général était de réaliser un travail de reconstruction des souvenirs en utilisant l'imagerie mentale visuelle comme stratégie de facilitation. Ce travail comprenait quatre étapes visant à produire des images visuelles de plus en plus vivaces et riches en détails :

- (1) Avant la mise en place de la remédiation, les auteurs évaluaient la capacité d'imagerie visuelle des participants à l'aide du *Screening Test* (De Renzi & Lucchelli, 1994)
- (2) Des exercices de visualisation externes étaient proposés, durant lesquels les participants devaient se représenter des objets puis des actions à faire avec ces objets.
- (3) Des exercices de construction étaient proposés, durant lesquels les participants devaient se représenter une scène complexe avec plusieurs personnages.
- (4) Des exercices de Self-visualisation, durant lesquels les participants devaient se représenter eux-mêmes en train de faire une action en portant attention à leurs propres sensations.

Les résultats montrent que l'imagerie mentale est une stratégie d'apprentissage qui améliore significativement les capacités des patients SEP à récupérer des souvenirs autobiographiques. En outre, les témoignages des patients SEP recueillis après l'étude montrent que le bénéfice de l'activité d'imagerie sur la récupération des souvenirs autobiographiques s'est transféré à certaines activités de la vie quotidienne. Les participants mettent spontanément en œuvre une stratégie d'imagerie sachant que cette technique leur permet de compenser certaines difficultés de mémoire. Par ailleurs, le transfert est d'autant plus possible que les patients sont jeunes, que le déficit cognitif est moyen et spécifique, et qu'il existait déjà l'utilisation de stratégies avant l'apparition des troubles (Evans et al., 2003).

Malgré les perturbations des capacités d'imagerie motrice (Seebacher et al., 2023) et d'imagerie visuelle (Richardson & Canellopoulou, 1998) qui ont pu être observées dans la SEP,

l'imagerie mentale pourrait être une stratégie tout à fait opportune pour améliorer les performances en MP des patients atteints de SEP. En effet, l'imagerie mentale permet de réduire l'effort cognitif mobilisé pour récupérer les intentions en MP et pourrait ainsi répondre aux difficultés rencontrées par les personnes atteintes de SEP, en lien avec leurs difficultés mnésiques et exécutives.

Chapitre 4. Adaptation et validation du Test Ecologique de Mémoire Prospective en Réalité Virtuelle : le TEMP-RV

Introduction

Dans cette thèse, nos principaux objectifs de recherche étaient de (1) proposer un outil d'évaluation de la MP à la fois complet et écologique ; (2) d'évaluer les troubles de la MP dans la SEP rémittente ; et (3) de tester l'effet de l'imagerie mentale sur l'amélioration des performances en MP des patients atteints de SEP rémittente. Pour ce faire, trois études ont été réalisées pour répondre à ces objectifs. Dans un premier temps, nous devions procéder à la sélection d'un test suffisamment fiable et sensible pour évaluer les capacités des participants SEP dans la réalisation de tâches de mémoire prospective. Une revue détaillée de la littérature, nous a conduit à sélectionner le Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP) conçu par Potvin et al. (2011a). Les critères qui nous ont conduits à choisir ce test sont présentées dans la première partie de ce chapitre. Puis, nous évoquons les raisons qui nous ont conduits à adapter ce test en réalité virtuelle : le Test Ecologique de Mémoire Prospective en Réalité Virtuelle (TEMP-RV). Ensuite, nous exposons les adaptations qui ont été apportées au TEMP suivies de la présentation des éléments de validation du TEMP en réalité virtuelle, de ses avantages mais aussi de ses limites.

1. Critères de choix du Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP)

1.1. Le TEMP parmi les autres tests mesurant la mémoire prospective

Le Test Ecologique de Mémoire Prospective – TEMP- a été adapté et développé par Potvin et al. (2011a), à partir de la procédure *Prospective Remembering Video Procedure* (PRVP – Titov & Knight, 2001). Le TEMP a été pensé dans le but de proposer et créer des tâches d'évaluation de la MP plus proches de situations « écologiques » de la vie quotidienne. En effet, comme évoqué dans le Chapitre 1 (p. 16), les tâches classiques d'évaluation de la MP reposent, dans un premier temps, sur une procédure simple et d'administration rapide. Ces premiers protocoles expérimentaux (e.g. Einstein & McDaniel, 1990) ont permis d'obtenir une grande quantité de données et d'explorer divers facteurs influençant les performances en MP (nature *event-based* ou *time-based* des indices, nature focale ou non de la tâche concurrente, etc.) Dans cette dynamique expérimentale, une divergence de résultats a parfois été constatée entre certains résultats issus de ces premières tâches expérimentales et les difficultés rapportées par les

participants dans des tâches de la vie quotidienne (voir Jones et al., 2021 pour une jolie discussion sur cette question). Aussi de nouveaux tests sont apparus au début des années 2000, comprenant des items et des mises en situation plus proches des activités de la vie quotidienne. Nous avons analysé les qualités respectives des tâches uniques et des tests standardisés qui existent pour évaluer la MP. Etant donné les différences de performances qui peuvent exister chez les populations cliniques entre les tâches « *event-based* » (EB) et « *time-based* » (TB), ainsi qu'entre la composante prospective et la composante rétrospective de la MP, nous avons questionné la possibilité d'évaluer ces différents facteurs pour chacun des tests/tâches de MP standardisé. Nous avons également pris en compte les qualités psychométriques de ces tests/tâches, l'existence ou non de versions parallèles (essentielle pour éviter l'effet test-retest dans notre étude) et l'existence ou non d'une version française. L'ensemble des propriétés de ces tests/tâches évaluant la MP est résumé dans le tableau 1. Le test qui évaluait l'ensemble des éléments d'intérêt dans la MP, qui présentait de bonnes qualités psychométriques, et qui était disponible en version française était le TEMP (Potvin et al., 2011a).

Tableau 1. Caractéristiques des tâches et tests standardisés évaluant la mémoire prospective

Critères / Instruments	Durée	Version française	Indices EB et TB	Validité	Fiabilité	Sensibilité	Version parallèle
RBMT	30 min	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
CBPMT	40 min	NON	OUI	NON	OUI	OUI	NON
CAMPROMPT	30 min	NON	OUI	OUI	OUI	NON	NON
MIST	40 min	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
RPA-ProMem	15 min	NON	OUI	OUI	NON	OUI	NON
Test de l'enveloppe	15 min	OUI	NON	NON	NON	OUI	NON
Test de la carte d'invitation	Indéfinie	OUI	NON	Non testée	Non testée	OUI	NON
Test du téléphone	5 min	OUI	NON	Non testée	NON	OUI	NON
PRVP	20 min	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	NON
TEMP	40 min	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Virtual Week	1 heure	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Actual week	1 semaine	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON

Le PRVP proposé par Titov et Knight (2001) a été développé dans la perspective de disposer d'un test *plus* écologique dont les stimuli et les tâches sont semblables à ceux des activités de MP de la vie quotidienne. Précisément, le contexte expérimental dans lequel se déroulent les tâches de MP revêt une apparence proche de l'environnement de notre quotidien, puisque les intentions mémorisées sont supposées s'effectuer dans différents magasins qui apparaissent dans le champ visuel des participants, à mesure qu'ils visionnent un film déroulant l'exploration d'une zone commerciale du point de vue d'un piéton. Les participants ne réalisent pas *physiquement* les actions prospectives, mais ils doivent les rappeler à voix haute dès qu'ils voient l'un des magasins « indices » mémorisés. Partant de l'intérêt, voire de cette nécessité de disposer d'une mesure écologique de la MP, Potvin et al. (2011a) sont partis du format PRVP pour développer le TEMP. Ce développement a consisté à réaliser une vidéo, qui adopte le point de vue d'un automobiliste, évoluant dans une zone commerciale, comme s'il se trouvait dans une voiture. Le principe du test est le même que dans le PRVP : le participant doit visionner la vidéo, appuyer sur un bouton « pause » quand il aperçoit un des indices prospectifs mémorisés, pour ensuite rappeler à voix haute le contenu de l'action associée à l'indice repéré. Les auteurs ont filmé, à bord d'une voiture, une petite zone urbaine du Canada, dans la région de Montréal. Ainsi, l'environnement et les magasins sont relativement typiques des zones urbaines canadiennes, familiers pour les participants. Cependant, les auteurs ont pris soin de recruter des participants qui ne connaissaient pas les lieux lors de leurs expérimentations.

Une plus-value du TEMP, comparé au PRVP, est que l'évaluation porte aussi bien sur des tâches EB que TB, et ainsi se conforme aux tâches/activités de la MP de la vie quotidienne. De plus, les intentions prospectives correspondent à des actions que tout un chacun a pu rencontrer dans son quotidien, telles que « *acheter une serviette de plage* » ou « *aller chercher un invité à l'aéroport* ». Ces actions sont intégrées à deux scénarii, déclinant deux versions parallèles du TEMP : la version A « *Préparer un départ en vacances* » et la version B « *Préparer un dîner d'anniversaire* ». Pour les intentions EB, ce sont les vitrines des magasins, dont les noms ont été mémorisés, qui apparaissent dans la vidéo, qui sont reconnus par le participant et qui, en principe, doivent lui rappeler d'exécuter l'action associée à ce magasin. Pour les intentions TB, c'est au participant de faire apparaître sur l'écran un chronomètre afin de contrôler le temps et de rappeler oralement l'action associée, au bon moment lorsque le chronomètre atteint un temps *t* affiché en minutes. La modalité de surveillance du temps, et donc des indices TB, peut sembler perdre quelque peu de son caractère écologique, pour lequel une horloge, une montre, aurait été plus représentative des moyens habituels utilisés par les individus pour vérifier le temps. Par exemple « à 15h, j'irai chercher un invité à l'aéroport », plutôt que « au bout de 5 minutes, j'irai

chercher un invité à l'aéroport ». Toutefois, en termes d'effort cognitif de contrôle du temps, la situation reste similaire à celles rencontrées dans la vie quotidienne puisque lorsqu'une personne a une intention TB basée sur un horaire (exemple : « à 15h »), elle va détecter l'arrivée de cet indice TB en surveillant le temps sous forme de durée (par exemple : il est 14h30, je dois être à l'aéroport dans 30 minutes »).

Au-delà de l'absence d'intentions TB dans le PRVP, une autre limite soulignée par Potvin et al. (2011a) était le délai trop court entre la phase de mémorisation des intentions et la phase de test, soit 1 minute après avoir mémorisé les intentions. Potvin et al. (2011a) ont remédié à cette problématique en proposant un délai de 15 minutes qui permet de statuer sur un stockage de l'information en mémoire à long terme. Cette proposition d'un délai de 15 minutes est en phase avec la plupart des travaux de recherches évaluant la MP, qui utilisent des délais de 10 minutes (Huppert et al., 2000), 15 minutes (Einstein & McDaniel, 1990 ; Lecouvey et al., 2021 ; Raskin et al., 2004), ou encore 20 minutes (Burkard et al., 2014 ; Wilson et al., 2005). Toutefois, un délai de 15 minutes ne reflète pas toutes les situations habituellement rencontrées dans la vie quotidienne dont la réalisation est bien souvent différée de plusieurs heures. Plusieurs batteries de tests de la MP, telles que le MIST (Raskin et al., 2004) ou le RPA-ProMem (Radford et al., 2011) proposent des intentions prospectives différées, de 24 heures pour le MIST et d'une semaine pour le RPA-ProMem. Bien que la récupération différée semble plus écologique, elle présente des inconvénients concernant la standardisation du test puisque ces items sont réalisés à domicile par le participant, qui doit rappeler l'examineur après avoir effectué l'action. Le participant peut alors mettre en place différentes stratégies et recevoir des aides externes, qui biaisent l'évaluation de la MP en tant que processus cognitif interne. Le délai de 15 minutes utilisé dans le TEMP semble être un bon compromis pour répondre efficacement à cette problématique. Ce délai est suffisamment long pour dépasser le stade de tâche de mémoire à court terme et éviter la répétition subvocale, les participants étant occupés par une tâche distractive comme dans la vie quotidienne (par exemple : « lorsque le matin je me rappelle que je dois partir plus tôt au travail (dans 15 minutes) et que, pendant ce temps, je finis de me préparer »).

Enfin, les concepteurs du TEMP se sont inspirés du PRVP concernant la tâche de MP qui consiste à détecter les indices et récupérer les intentions en regardant la vidéo d'un déplacement dans une zone commerciale. Plonger le participant dans un environnement naturel à partir du visionnage d'une vidéo permet de préserver le contexte écologique. En effet, en comparant les résultats des participants auxquels les expérimentateurs ont administré le PRVP et son équivalent dans un environnement réel (i.e. effectuer un itinéraire similaire dans la même zone

commerciale que celle de la vidéo), Titov et Knight (2001) ont obtenu des performances identiques dans les deux versions du test. Contrairement aux tâches expérimentales du type « se rappeler de donner une enveloppe à la fin d'un entretien » ou exécuter des tâches MP totalement décontextualisées, l'environnement expérimental dans lequel sont insérées les tâches de MP dans les tests PRVP et TEMP, avec un format vidéo, permet de confronter les participants à une variété de stimuli visuels et auditifs, aussi rencontrés dans la vie quotidienne. De même, la tâche concurrente proposée dans le TEMP, qui consiste à écouter un bulletin radio tout au long du test, est plus écologique qu'une tâche concurrente de complétion de questionnaires ou de décision lexicale. Le TEMP, par son contexte de passation (vidéo d'une zone commerciale) et la nature des stimuli (actions réalisées dans le quotidien) est apparu plus enclin à évaluer plus écologiquement les déficits de la MP. Dans cette perspective Potvin et al. (2011a ; 2011b) ont examiné les qualités psychométriques du TEMP.

1.2. Les propriétés psychométriques du TEMP

La qualité psychométrique d'un test se mesure à travers deux propriétés principales : la validité et la fiabilité (Cook & Beckman, 2006). La fiabilité d'un test correspond à sa capacité à fournir des résultats constants, stables (Souza, Alexandre & Guirardello, 2017). Cette fiabilité s'évalue à travers la constance au sein même du test, d'un item à l'autre (i.e. cohérence interne). La fiabilité se teste également avec la constance au fil des utilisations de ce test (i.e. fiabilité test-retest), et avec la constance des résultats quel que soit l'examineur (i.e. fiabilité inter-examineur). La validité d'un test correspond à sa capacité à évaluer réellement la fonction testée (Souza et al., 2017). Elle comprend notamment la validité de construit, qui implique que les items choisis et le construit du test permettent bien d'évaluer la fonction visée. De même, le test doit prendre en compte la validité de critère, soit la concordance des résultats du test avec les résultats d'autres tests évaluant les mêmes fonctions. Enfin, il est possible d'appuyer la validité d'un test au travers de sa capacité à discriminer des populations cliniques de populations contrôle, ce qui correspond à la « sensibilité » du test.

Concernant les propriétés psychométriques du TEMP, la fiabilité a été testée à l'aide d'une comparaison test-retest à 3 mois d'intervalles. Ainsi, le TEMP présente une fiabilité test-retest élevée ($r = 0.93, p < .05$). Par ailleurs, la fiabilité entre les deux versions du TEMP est appuyée par l'absence de différence significative au score total du TEMP entre la version A et la version B du test ($t(43) = 0.38, p = 0.70, r = 0.06$). En revanche, la cohérence interne du test n'a pas été testée avec les mesures statistiques habituelles (Alpha de Cronbach). Il n'y a donc pas de mesure permettant d'affirmer que chacun des items du TEMP permet de mesurer équitablement la MP.

Toutefois, la validité du TEMP a été examinée et apporte des éléments confirmant la capacité du TEMP à mesurer la MP. Tout d'abord, le TEMP présente une bonne sensibilité, attestée par sa capacité à discriminer les performances de participants contrôles de celles de participants présentant différentes atteintes cognitives. Par exemple, des déficits de MP ont été observés à l'aide du TEMP chez des participants atteints de troubles cognitifs légers (Lajeunesse, Potvin, Labelle, Joubert & Rouleau, 2021 ; Rouleau et al., 2016) ; ainsi que chez des participants atteints de traumatismes crânio-encéphaliques (Lajeunesse et al., 2019 ; Potvin et al., 2011a ; Potvin, Rouleau, Audy, Charbonneau & Giguère, 2011b). La validité de critère a également été testée en comparant les résultats du TEMP à ceux du test de l'enveloppe (Huppert et al., 2000), ainsi qu'aux réponses des patients avec traumatisme crânio-encéphalique et de leurs proches au questionnaire CAPM (*Comprehensive Assessment of Prospective Memory* ; Waugh, 1999), conçu pour évaluer les difficultés de MP dans la vie quotidienne. La validité de critère du TEMP est appuyée par des corrélations significatives entre le score total au TEMP et les réponses des proches au questionnaire CAPM ($r = 0.51, p < 0.05$), et avec le test de l'enveloppe ($r = 0.47, p < 0.05$) (Potvin et al., 2011a). En revanche, aucune corrélation significative a été relevée entre les performances au TEMP et les capacités auto-évaluées des participants au CAPM ($r = 0.06, p = 1.00$). Cette différence de résultats entre la version remplie par les proches et celle auto-complétée par les participants atteints de traumatisme crânio-encéphalique au CAPM n'était pas surprenante. De manière générale, il a été montré que les réponses des proches aux questionnaires d'évaluation des troubles mnésiques étaient davantage représentatives des difficultés réelles des patients que les réponses des patients eux-mêmes (Slavin et al., 2010).

Les analyses de validité de critère du TEMP sont particulièrement importantes en ce qui concerne la recherche de validité écologique du test. En effet, cet objectif de validité de critère est présenté par Titov et Knight (2001) comme la capacité d'un test à prédire les performances des participants à des tâches similaires dans la vie quotidienne. Le fait que le TEMP corrèle significativement avec les performances en MP des patients, estimées par leurs proches à l'aide du CAPM, suggère que ce test peut être représentatif des capacités réelles des patients dans leur quotidien. Au regard de ses propriétés psychométriques susmentionnées, le TEMP s'avère être un outil prometteur dans l'évaluation écologique de la MP. Toutefois, cet outil ayant été conçu dans un environnement empreint de la culture canadienne, ce test, bien que francophone, est éloigné des environnements urbains français. En conséquence, une adaptation du TEMP était nécessaire pour pouvoir conserver sa nature écologique. Dans un premier temps, nous avons décidé de produire une vidéo d'un environnement urbain français. Cependant, dans le contexte

de pandémie COVID de 2020, cette option n'était plus envisageable (la présence des masques sur les visages et le confinement rendant les espaces urbains et ruraux déserts). Aussi, nous avons opté pour une adaptation du TEMP en réalité virtuelle. Cet objectif nous a permis d'enrichir le caractère écologique du test, outre le fait qu'il était particulièrement innovant en 2020-21 puisqu'il n'existait alors pas de test en réalité virtuelle de la MP.

2. Adaptation du TEMP en réalité virtuelle : le TEMP-RV

2.1. Adaptation linguistique et culturelle

Un des avantages certains du TEMP, outre son évaluation complète des différentes étapes de la MP et son aspect écologique, est que les instructions et les tâches de MP sont en français. L'adaptation du TEMP en réalité virtuelle n'a donc pas exigé de traduction. Toutefois, le français Canadien, du point de vue du lexique et de la syntaxe, comprend des expressions que nous n'utilisons pas en France et qui sont même, pour certaines, difficiles à comprendre. Nous avons donc adapté en français (France) le TEMP en changeant certains termes et parfois la syntaxe. Par exemple, « *acheter des chandelles* » a été remplacé par « *acheter des bougies* » pour le scénario « anniversaire ». En modifiant certains termes dans les phrases-tests exprimant les intentions prospectives à mémoriser, nous avons pris bien soin de maintenir la faible relation sémantique entre l'indice et l'action pour les intentions EB - la question ne se posant pas pour les intentions TB. L'objectif est d'éviter que les participants infèrent l'action à effectuer à partir de l'indice au lieu de la récupérer explicitement en mémoire. Dans le TEMP original, les intentions ont été construites de manière à ne pas être sémantiquement et fortement associées à l'indice, comme « *acheter une baguette à la boulangerie* ». En effet, les personnes qui présentent des difficultés de MP, sont particulièrement affectées lorsque l'indice et l'action cible ne sont pas ou peu sémantiquement/contextuellement associées. Nous avons donc contrôlé cette variable lors de l'adaptation de l'outil. Cette adaptation des consignes et des intentions a été validée par M. J. Potvin et I. Rouleau à l'origine de l'élaboration du TEMP et a été pré-testée auprès de sept volontaires.

Une autre modification importante a concerné les indices EB. En effet, les devantures et noms des magasins/enseignes commerciales pour les versions A et B ont été remplacés par des enseignes et vitrines propres aux environnements urbains français. Par exemple, le magasin « Sport expert », principalement implanté au Canada a été remplacé par l'un des magasins les plus connus en France « Décathlon », qui vend aussi du matériel et des vêtements de sport. Comme l'ont souligné Titov et Knight (2001), la familiarité de l'environnement et des magasins

joue un rôle non négligeable dans l'exécution d'une tâche en MP. A partir de ce constat, Potvin et al. (2011a) ont proposé un nombre équivalent d'indices EB familiers et non-familiers. Lors de l'adaptation transculturelle de ces indices EB, nous avons nous aussi sélectionné cinq indices familiers (grandes enseignes telles que la « Fnac ») et cinq indices non-familiers (des noms de boutiques indépendantes telles que la bijouterie « La poudre d'or »). Une fois les enseignes déterminées, des photos des façades de ces enseignes ont été sélectionnées sur Google Image. Nous avons pris soin de sélectionner des devantures prises en photo de face (plus faciles à intégrer dans l'environnement virtuel), avec une bonne qualité d'image. Les photos ont ensuite été intégrées dans la ville virtuelle afin de donner l'impression qu'il s'agissait d'enseignes réelles présentes dans la ville virtuelle. Après cette première phase d'adaptation transculturelle du TEMP, nous avons construit l'environnement via la réalité virtuelle.

2.2. De l'environnement vidéo à la réalité virtuelle

La deuxième étape a consisté à « transposer » le format vidéo de l'environnement TEMP en réalité virtuelle : TEMP-RV. Pour ce faire, en collaboration avec une équipe de chercheurs du laboratoire LARIS (polytech, Angers) et avec le *User-lab* de l'université d'Angers, une ville virtuelle américaine a été achetée sur <https://assetstore.unity.com/>, puis a été modifiée afin de répondre aux différentes exigences du TEMP. La ville virtuelle a été modifiée de manière à ressembler à une ville française, notamment en supprimant les enseignes à néons, en abaissant les tours des gratte-ciels afin d'obtenir des immeubles dont la taille correspond à ceux qui existent dans notre environnement, en France. Ainsi, la ville virtuelle a été rendue, visuellement, relativement familière, tout en conservant son caractère fictif et inconnu des participants. Ce dernier point est important (voir Potvin et al., 2011a), aucun participant ne devant être avantagé par ses connaissances antérieures sur l'environnement.

La vidéo du TEMP durant 20 minutes environ, les parcours que nous avons créés dans la ville virtuelle du TEMP-RV durent aussi, chacun 20 minutes. Afin de respecter la fréquence et l'ordre d'apparition des enseignes telles qu'elles apparaissent dans la vidéo TEMP, nous avons adapté la temporalité de la vidéo à celle de la ville virtuelle. Par exemple, si l'animalerie apparaissait 17 minutes après le début de la vidéo dans le TEMP original, alors l'animalerie apparaissait sur le parcours 17 minutes après le début du trajet dans la ville. Conserver la fréquence et l'ordre d'apparition des indices EB (les enseignes) était essentiel pour éviter qu'ils apparaissent à la même minute que les indices TB, lors du parcours. La procédure du TEMP-RV est globalement fidèle au TEMP original. Les consignes ont été conservées telles quelles dans leur ensemble.

Afin de correspondre au mieux aux situations habituelles dans lesquelles les individus effectuent des tâches de MP (Ellis & Kvavilashvili, 2000), nous avons introduit une tâche concurrente, à l'instar du TEMP original. Dans la plupart des tests, cette activité concurrente est une tâche décision lexicale (Einstein & McDaniel, 1990), ou de réponse à des questions de culture générale, ou encore de réalisation de puzzle (Raskin & Sohlberg, 2009). Ces tâches sont plutôt éloignées de celles de la vie quotidienne. Or, il était essentiel de s'interroger sur la nature de la tâche en cours que nous allions utiliser si nous voulions conserver le plus possible le caractère écologique de notre outil. Dans le TEMP, Potvin et al. (2011a) ont proposé une tâche concurrente non-focale (i.e. ne portant pas sur les mêmes stimuli que ceux du test de MP) et qui était considérée par les auteurs comme relativement coûteuse en ressources attentionnelles. Pour s'assurer que les participants s'investiraient bien dans la tâche concurrente, ils ont insisté sur l'importance de cette tâche. La tâche concurrente du TEMP consistait à écouter attentivement un bulletin d'informations à la radio, diffusé dans la voiture, pendant toute la durée de la vidéo. Les participants étaient prévenus que des questions leurs seraient posées sur les informations transmises dans ce bulletin. Dans le TEMP-RV, nous n'avons pas repris cette tâche concurrente car la réalité virtuelle offrait intrinsèquement une tâche concurrente en rendant le participant actif dans l'exploration de la ville virtuelle (en opposition au format vidéo, dans lequel le participant est passif dans l'exploration de la ville). Notre tâche concurrente consistait donc pour le participant à veiller aux règles de conduite habituelles, à savoir : rester sur la chaussée, rouler à droite, respecter les signaux (feu, stop, etc.), céder le passage aux piétons, respecter les priorités pour les autres véhicules, etc. La conduite automobile et le respect de ces règles étaient supposés mobiliser une partie des ressources attentionnelles et du contrôle exécutif des participants (voir Gonneaud et al., 2012 ; Hogan et al., 2023). Des avatars de piétons ainsi que des véhicules ont été implémentés (avatars de cinq piétons et de trois autres voitures dans le trafic), afin de rendre la circulation dans la ville plus proche de la réalité et de créer des distracteurs comme en milieu naturel.

3. Evaluation des propriétés psychométriques du TEMP-RV

Après avoir adapté le TEMP en RV, nous avons procédé à sa validation, puis nous avons examiné les propriétés psychométriques de cette nouvelle version. L'objectif était de s'assurer que le TEMP-RV évalue bien la MP, notamment en examinant dans un premier temps sa fiabilité et sa validité de critère. La sensibilité du TEMP-RV a également été testée lors de l'étude 2, à travers la comparaison des performances de participants contrôles et de participants

atteints de la SEP à ce test.

3.1. Méthode

3.1.1. Participants

Afin de tester les qualités psychométriques du TEMP-RV, cinquante-huit participants adultes ont été recrutés par le biais d'annonces sur les réseaux sociaux et via les listes de diffusion de personnels de Nantes Université. Six participants ont été exclus de l'étude suite à l'apparition de vertiges et/ou de nausées dues à l'utilisation du casque de réalité virtuelle. Nos analyses ont donc porté sur un échantillon de 52 participants, répartis en deux groupes pour tester les deux versions du TEMP-RV. Les participants étaient âgés de 20 à 59 ans ($M = 39.54$ ans ; $SD = 13.54$) ; le sex-ratio était de 31 femmes pour 21 hommes. Les niveaux socio-culturels des deux groupes étaient équivalents, $t(50) = .53$, $p = .60$. Les critères d'inclusion étaient : être âgé entre 18 et 60 ans ; de ne pas présenter de maladie neurologique ou psychiatrique, être de langue maternelle française. Les participants se sont vu administrer de manière contrebalancée la version A ($n = 29$) ou la version B ($n = 23$) du TEMP- RV. En début de passation, les participants remplissaient et signaient un formulaire de consentement éclairé de participation à l'étude. Ils étaient informés que la passation durerait environ une heure. Cette étude et les suivantes, décrites dans cette thèse, ont été approuvées par le comité d'éthique de la recherche non interventionnelle de Nantes Université (n° référence 161020020).

3.1.2. Matériel

TEMP-RV

Les participants ont été immergés dans la ville virtuelle du TEMP-RV avec un casque de réalité virtuelle *Vive Pro eyes*. Le casque est équipé d'écouteurs qui permettent d'entendre les éléments audios ajoutés à la ville virtuelle (chants d'oiseaux, murmures d'une fontaine, etc.). Les participants devaient se déplacer dans la ville à l'aide d'un volant [*Logitech G29 Driving Force*](#), connecté à l'ordinateur. Ainsi, ils contrôlaient la direction de leur véhicule et avaient accès aux touches de commande de démarrage et d'arrêt du véhicule. La tâche consistait à suivre un itinéraire et à réaliser des actions prospectives au cours du parcours dans la ville virtuelle. Deux ordres de parcours ont été déterminés, correspondant chacun à l'un des scénarii du test original, un parcours pour la version A dans lequel les participants devaient préparer un départ en vacances ; un autre parcours dans la même ville pour la version B, dans lequel les participants devaient préparer une fête d'anniversaire.

Le TEMP-RV se déroulait en deux temps : (1) une phase d'apprentissage ; (2) une phase de

test. Lors de la mémorisation, le participant devait mémoriser 15 intentions : 10 *event-based* (EB) et 5 *time-based* (TB), présentées oralement au rythme de 15 secondes par intention. Après la présentation des 15 intentions, le participant réalisait une phase de rappel indicé (i.e. présentation de l'indice prospectif EB ou TB sur le Powerpoint avec pour consigne de rappeler l'intention associée). Puis, après un temps de latence de 15 minutes occupé par des tâches distractives, le participant mettait le casque de réalité virtuelle afin de s'immerger au volant d'une voiture dans une ville virtuelle dans laquelle il devait suivre un parcours audio-guidé, afin de réaliser les intentions qu'il venait de mémoriser. La cotation était la suivante :

(1) Phase d'apprentissage : 1 point par action correctement rappelée au rappel indicé ; 0.5 point lorsqu'elle était rappelée avec une modification lexicale qui ne modifiait pas le sens de l'action (par exemple « demander un gâteaux » au lieu de « commander un gâteau »). Pour les deux rappels indicés des 10 intentions EB, le score total était de 20 points ; pour les trois rappels indicés des 5 intentions TB, le score total était de 15 points.

(2) Phase de test :

Composante prospective : 1 point lorsque le participant détectait l'indice prospectif, avec un maximum de 10 points pour les intentions EB ; 5 points pour les intentions TB, soit un total de 15 points. Une tolérance de plus ou moins 10 secondes était accordée pour la détection de l'indice TB. Pour faire apparaître l'indice TB, le participant devait appuyer sur un bouton du volant afin de faire apparaître une horloge digitale lui indiquant le temps écoulé.

Composante rétrospective : 1 point était accordé lorsque l'action associée à l'indice était correctement rappelée ; 0.5 point lorsqu'elle était partiellement rappelée. Le score maximum était de 10 points pour les intentions EB ; 5 points pour les intentions TB, soit un total de 15 points.

Score total de MP : les performances à l'ensemble des sous-scores de la tâche de MP (composante prospective et composante rétrospective) forment le score total au TEMP-RV, avec un score maximum à 30 (15 points de détection + 15 points de récupération).

La grille de cotation de la TEMP-RV est présentée sur la feuille de passation en Annexe 1 (p.i).

Une fois la tâche de réalité virtuelle terminée, une tâche de reconnaissance était réalisée, avec 1 point par action correctement reconnue sur les 10 intentions EB et les 5 intentions TB, soit un total de 15 points. Pour cette tâche, chaque indice était de nouveau montré sur un PowerPoint, associé à trois choix d'intentions, dont seulement une était correcte. Le participant avait pour consigne d'indiquer quelle était la bonne intention parmi les trois proposées.

Prospective and Retrospective Memory Questionnaire (PRMQ)

Le *Prospective and Retrospective Memory Questionnaire* (PRMQ, Smith et al., 2000) est un auto-questionnaire fréquemment utilisé dans la pratique clinique. Il est composé de 16 questions, soit 8 questions portant sur la composante prospective de la mémoire épisodique et 8 questions sur la composante rétrospective. Une version française a été validée par Guerdoux-Ninot et al. (2019), dont l'indice de fiabilité est élevé (coefficient de Cronbach, $\alpha = .79$ pour le facteur rétrospectif et $\alpha = .88$ pour le facteur prospectif). La validité de critère (ou validité convergente) est bonne et repose sur des corrélations significatives entre les scores au PRMQ et ceux obtenus à la *Brief Cognitive Difficulties Scale* (BCDS, Derouesné et al., 1993), une échelle d'évaluation des difficultés mnésiques en vie quotidienne remplie par le patient ($r = .82$ pour la sous-échelle mémoire rétrospective, et $r = .78$ pour la sous-échelle mémoire prospective, $p < .001$). La fiabilité, évaluée par un effet test-retest à deux semaines d'intervalle, est élevée ($r = .71$ pour le facteur rétrospectif et $r = .80$ pour le facteur prospectif). D'autres questionnaires comme le *Prospective Memory Questionnaire* (PMQ, Hannon et al., 1995), le *Comprehensive Assessment of Prospective Memory* (CAPM, Roche et al., 2002) et le *Brief Assessment of Prospective Memory* (BAPM, Man et al., 2011) permettent de relever de potentielles difficultés de MP dans la vie quotidienne, ainsi que la fréquence de ces difficultés. Toutefois, aucune version française de ces tests anglophones n'a été, à notre connaissance, traduite et validée (Lecouvey et al., 2021).

Nous avons donc utilisé la version française du PRMQ (Guerdoux-Ninot et al., 2019). Pour chaque proposition, le participant devait indiquer avec quelle fréquence il oubliait de réaliser l'intention sur une échelle du type : (1) jamais ; (2) rarement ; (3) quelques fois ; (4) assez souvent ; (5) très souvent. Pour chacune des propositions, un point était accordé lorsque le participant cochait la case « jamais » ; deux points pour « rarement » ; trois points pour « quelques fois » ; quatre points pour « assez souvent » ; cinq points pour « très souvent ». De ce fait, un score de mémoire prospective et un score de mémoire rétrospective étaient obtenus, allant chacun de 8 à 40 points. Nous obtenions alors deux scores sur 40 maximum pour chacune des dimensions de la mémoire (rétrospective et prospective), un score élevé représentant des difficultés mnésiques importantes.

3.1.3. Procédure

La passation était individuelle et durait environ 1h30 pour chaque participant. Elle se déroulait dans une salle du Laboratoire de Psychologie des Pays de la Loire (LPPL), Nantes Université. Après avoir signé le formulaire de consentement libre et éclairé de participation à

l'étude, le participant écoutait les consignes enregistrées de la tâche expérimentale. La procédure du TEMP-RV est globalement fidèle au TEMP original. Les consignes ont été conservées telles quelles dans leur ensemble ; seuls quelques éléments ont dû être ajoutés/modifiés pour la réalité virtuelle.

Ainsi, comme l'environnement virtuel et la maîtrise du volant connecté étaient nouveaux pour les participants, une phase de familiarisation a été mise en place. La conduite du véhicule nécessite uniquement de tourner le volant et appuyer sur une touche *start/stop* pour démarrer et s'arrêter, afin que les participants n'ayant pas le permis de conduire ne soient pas désavantagés. La phase d'entraînement durait environ 10 minutes. Durant cette phase d'entraînement, les participants devaient mémoriser une intention EB et une intention TB qui étaient : "passer un test de la vue" (contenu de l'intention) "lorsqu'ils verraient le magasin Krys" (indice EB) ; "demander les heures d'ouverture de la cafétéria" (contenu de l'intention) après 30 secondes (indice TB). Une fois les consignes comprises et assimilées, la phase d'expérimentation pouvait commencer. Le participant était informé qu'il devait, soit préparer un départ en vacances (version A de la TEMP-RV), soit préparer un dîner d'anniversaire (version B de la TEMP-RV). Les consignes des différentes phases du TEMP-RV (phase d'entraînement et phase de test) sont présentées en Annexe 1 (p. i).

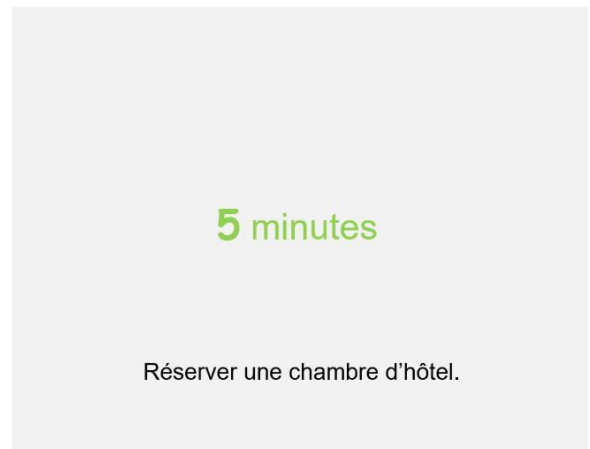
Pour la phase d'apprentissage, les participants mémorisaient les 15 intentions prospectives. Sur un Powerpoint, une capture d'écran de chacun des 10 indices EB, accompagnée à chaque fois du contenu de l'intention associée, était présentée visuellement au participant, accompagné d'un enregistrement audio présentant verbalement les indices et intentions associées (par exemple : « au Décathlon, acheter des sandales »). Il en était de même avec les 5 indices TB, pour lesquels était indiqué à chaque fois le temps *t* en vert au milieu du diaporama, accompagné de l'intention associée (voir Figure 1).

Figure 1

A – Power point de la phase d'apprentissage des intentions *event-based*.



B- Power point de la phase d'apprentissage des intentions *time-based*



A l'issue de la mémorisation des 15 intentions prospectives, l'expérimentateur donnait les instructions concernant le déroulement du test de MP dans la ville virtuelle. Les instructions données aux participants étaient les suivantes : (1) surveiller autour d'eux la survenue des magasins qu'ils avaient mémorisés ; (2) surveiller le temps en appuyant sur le bouton qui faisait apparaître le chronomètre, pour repérer la survenue des temps t mémorisés ; (3) arrêter la voiture lorsqu'ils avaient repéré un des indices prospectifs, et (4) rappeler à haute voix l'intention (c'est-à-dire l'action) associée. En ce qui concernait l'indice TB, les participants étaient informés qu'ils pouvaient vérifier le temps écoulé depuis le début de la tâche, à tout moment, en appuyant simplement sur un bouton situé sur le volant. Les participants recevaient également la consigne pour l'exécution de la tâche concurrente (i.e. conduire en faisant attention aux autres usagers de la route).

Une phase de rappel indicé était ensuite proposée, durant laquelle les participants devaient rappeler les actions associées à chaque indice qui leur était de nouveau présenté sur un Powerpoint. Ils effectuaient deux rappels pour les intentions EB, et trois rappels pour les intentions TB, afin de s'assurer que toutes les intentions avaient été correctement mémorisées. En effet, afin de mesurer la mémoire prospective des participants, nous devions nous assurer que ceux-ci mémorisaient bien les actions à réaliser lors de la tâche prospective, dès le début. Or, nous savons que les intentions sont liées à leur indice à différents degrés, ce qui a un impact sur leur récupération à la détection de celui-ci (McDaniel & Einstein, 2000). De ce fait il y avait un essai supplémentaire pour l'encodage des intentions TB, car les intentions EB sont plus faciles à mémoriser que les intentions TB, ces dernières ne bénéficiant d'aucune association avec leur indice. Après un délai de 15 minutes, durant lequel le recueil des données

sociodémographiques du participant et des tâches motrices simples étaient effectuées, le participant mettait le casque de réalité virtuelle et commençaient la tâche. Il devait alors conduire dans la ville sur un trajet audio-guidé pendant 20 minutes, en rappelant les intentions de MP précédemment apprises. La détection des indices prospectifs s'effectuait soit en apercevant l'indice dans son champ de vision pour les indices EB, soit en consultant l'horloge mise à sa disposition en cliquant sur un bouton du volant pour les indices TB. Le participant avait pour consigne de s'arrêter et rappeler oralement l'intention lorsqu'il avait vu l'indice associé. S'il avait déjà dépassé l'indice, il était encouragé à rappeler malgré tout l'intention associée, s'il s'en souvenait. Il pouvait aussi s'arrêter lorsqu'ils repéraient un indice, même s'il ne se souvenait pas de l'action associée, afin de signaler malgré tout qu'il avait repéré l'indice (composante prospective).

Une fois le parcours réalisé, le participant ôtait le casque, puis effectuait une tâche de reconnaissance des intentions qu'il avait mémorisées. Un débriefing était réalisé afin de recueillir d'éventuels commentaires sur l'expérience et de répondre aux questions éventuelles du participant. Enfin, le questionnaire PRMQ était transmis par email au participant, avec pour consigne de le renvoyer complété à l'expérimentateur.

4. Résultats

4.1. Analyses de la fiabilité du TEMP-RV

Plusieurs analyses statistiques ont été réalisées pour évaluer la fiabilité et la validité du TEMP-RV. Tout d'abord, la fiabilité inter-forme du TEMP-RV a été testée en comparant les performances aux versions A et B. Une analyse de variance avec mesures répétées a été réalisée avec la Version (A vs B) comme facteur inter-sujet et le type d'Indice (EB vs TB) comme facteur intra-sujet. Les variables dépendantes (VD) pour ces analyses étaient :

- VD 1 : le score total à la tâche de MP (/30), calculé en pourcentage de réussite
- VD 2 : le score de détection (/10) et de récupération (/10) des intentions EB, calculé en pourcentage de réussite aux intentions EB
- VD 3 : le score de détection (/5) et de récupération (/5) des intentions TB, calculé en pourcentage de réussite aux intentions TB

Les pourcentages de réussite totaux à la tâche de MP pour la version A et la version B du TEMP-RV, ainsi que les pourcentages de réussite aux deux types d'intention (EB vs. TB) sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1

Pourcentage de réussite au score total de MP, au score EB et au score TB, respectivement des versions A et B du TEMP-RV

	TOTAL		TOTAL EB		TOTAL TB	
	Version A (n = 29)	Version B (n = 23)	Version A (n = 29)	Version B (n = 23)	Version A (n = 29)	Version B (n = 23)
Moyenne (%)	88.51	87.46	89.31	91.09	86.90	81.96
Ecart Type	9.02	11.23	10.60	8.75	16.77	20.04

Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées mettent en évidence une absence d'effet significatif de la version (A vs B), $F(1,50) = 0.259$, $p = 0.613$, $n_p^2 = 0.005$. L'effet du type d'intention (EB vs TB) est significatif, $F(1,50) = 4.66$, $p = 0.036$, $n_p^2 = 0.085$. Le test post-hoc de Bonferroni indique que les intentions EB ($M = 90.29$ %) sont mieux rappelées que les intentions TB ($M = 84.52$ %), quelle que soit la version testée. L'effet d'interaction Version x Indice n'est pas significatif, $F(1,50) = 1.58$, $p = 0.215$, $n_p^2 = 0.031$.

4.2. Analyses de la cohérence interne du TEMP-RV

La cohérence interne des deux versions A et B du TEMP-RV a été évaluée à l'aide du test α de Cronbach. Les VD étaient les scores bruts aux 15 intentions du TEMP-RV pour évaluer la cohérence interne globale ; puis les scores bruts aux 10 intentions EB pour évaluer la cohérence interne de la composante EB ; et enfin, les scores bruts aux 5 intentions TB pour évaluer la cohérence interne de la composante TB.

La cohérence interne globale des versions A et B du TEMP-RV et de chacune des dimensions - EB et TB - des intentions a été considérée comme bonne lorsque ce coefficient était supérieur à 0.70. Le coefficient α de Cronbach calculé sur les 15 items de la version A ($\alpha = 0.452$) était considéré comme faible. Pour la cohérence interne de la version B, les items EB 3, 5, 9 et 10 ont dû être exclus de l'analyse car leur variance était trop faible. Le coefficient α de Cronbach calculé sur les 9 items restants de la version B étaient considérés comme étant à la limite de l'acceptable ($\alpha = 0.682$). Pour la version A du TEMP-RV, la cohérence interne de la dimension EB était également faible ($\alpha = 0.400$) ; la cohérence interne de la dimension TB était à la limite de l'acceptable ($\alpha = 0.646$). Pour la version B du TEMP-RV, la cohérence interne de la dimension EB n'a donc pu être évaluée qu'avec quatre items et était très faible ($\alpha = 0.218$) ; la cohérence interne de la dimension TB était à la limite de l'acceptable ($\alpha = 0.681$).

La cohérence interne des deux versions du TEMP-RV apparaît faible mais nous n'avons pas de point de comparaison car elle n'avait pas été testée dans le TEMP original (Potvin et al., 2011a). Cependant, la sensibilité et la spécificité que peut offrir le TEMP-RV dans la détection des déficits de la MP nécessite de comparer les performances d'un groupe contrôle à une population clinique. Dans la deuxième étude de cette thèse présentée dans le chapitre suivant (chap. 5, p. 94), nous avons mené cette analyse en comparant une partie de notre groupe contrôle à un groupe de participants atteints de la SEP.

4.3. Analyses de la validité de critère du TEMP-RV

Pour évaluer la validité du TEMP-RV, nous avons testé la validité de critère en comparant les performances au TEMP-RV avec les résultats au PRMQ, à l'aide du test de corrélation de Spearman. Les VD étaient :

- VD 1 : le score total à la tâche de MP (/30), traduit en pourcentage de réussite de la version A et de la version B
- VD 2 : le sous-score « mémoire rétrospective » du PRMQ (/40)
- VD 3 : le sous-score « mémoire prospective » du PRMQ (/40)

Nous avons procédé à la validation externe de la TEMP-RV en nous référant à un questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire rétrospective et prospective (PRMQ), à l'instar de Potvin et al. (2011a) qui ont testé la validité convergente avec un auto-questionnaire (CAPM ; Waugh, 1999) destiné à évaluer le fonctionnement de la mémoire prospective dans des activités de la vie quotidienne.

L'analyse des corrélations entre le score total au TEMP-RV et les réponses aux composantes prospective et rétrospective du PRMQ montrent que les coefficients de corrélation ne sont pas significatifs entre le score global au TEMP-RV et les assertions du PRMQ rétrospectives (version A : $r = -0.135$, $p = .486$; version B : $r = -0.115$, $p = .602$) et prospectives (version A : $r = 0.082$, $p = .674$; version B : $r = -0.339$, $p = .114$).

4.4. Analyses complémentaires

Enfin, pour compléter l'analyse des caractéristiques du TEMP-RV et sa correspondance avec le TEMP, nous avons testé, à l'instar de Potvin et al. (2011a) s'il existait une différence de performances entre les hommes et les femmes aux deux versions du TEMP-RV, à l'aide du test t de Student. La VD était le score total au TEMP-RV (/80) pour la version A et pour la version B.

Les performances au TEMP-RV ne varient pas en fonction du sexe (féminin vs masculin), les hommes et les femmes présentent des scores tout aussi élevés ($t(50) = 0.309$, $p = 0.759$, $d = 0.09$).

5. Discussion

L'adaptation du TEMP repose sur le constat des limites des outils d'évaluation de la MP, telles que la prise en compte de certaines composantes de la MP au détriment d'autres, la correspondance limitée avec des activités de la vie quotidienne, une tâche en cours peu coûteuse en ressources attentionnelles, ou encore le nombre limité de tâches francophones validées. Le TEMP présente de nombreux avantages. Cette tâche permet une exploration de chacune des fonctions de la MP avec l'introduction d'intentions EB et TB. Elle permet également d'explorer les composantes prospectives et rétrospectives de la MP, et ainsi de mieux définir la nature des déficits en MP. Le TEMP présente également deux versions de difficultés équivalentes qui permettent de contourner les effets test-retest. En se basant sur le TEMP, outil élaboré et validé par Potvin et al. (2011a), l'objectif de cette étude était de valider un test d'évaluation écologique de la MP en réalité virtuelle. Pour qu'une tâche soit utilisée, celle-ci doit répondre à trois critères de validation, elle doit être fiable, valide et sensible. Le TEMP a été testé sur ces critères psychométriques, et a ainsi été validé ; dans cette étude, nous avons adapté le TEMP en RV, et vérifié que la validité de cet outil était maintenue dans cette nouvelle version du TEMP.

La fiabilité d'un test psychométrique correspond à sa capacité à évaluer son objet de manière constante, que ce soit dans le temps (fiabilité test-retest), d'un examinateur à l'autre (fiabilité inter-examinateur), ou d'une version à l'autre (fiabilité inter-forme). Le TEMP présente une bonne fiabilité test-retest et une bonne fiabilité inter-forme (Potvin et al., 2011a). En prenant soin de reproduire fidèlement la structure et le contenu du TEMP sous un format de réalité virtuelle (voir partie 2 de ce chapitre, p.79), notre objectif était de conserver la fiabilité de ce test. Nous avons pu tester la fiabilité inter-forme (version A vs version B) du TEMP-RV, et avons retrouvé des résultats concordants avec ceux de Potvin et al. (2011a), soutenant la fiabilité de notre version de ce test. Ce constat est par ailleurs un point positif pour l'utilisation du TEMP-RV, qui peut servir dans le cadre d'une étude longitudinale puisque nous disposons de deux versions parallèles équivalentes pour ce test.

La validité d'un test correspond à la pertinence des items dont il est formé pour évaluer ce qu'il vise à évaluer. Pour qu'un test soit valide, il faut notamment une validité de construit, qui repose sur la prise en compte des connaissances théoriques sur le phénomène évalué. En l'occurrence, le TEMP-RV vise à évaluer la MP et reprend donc le construit validé par Potvin

et al. (2011a) pour le TEMP, lui-même basé sur les connaissances théoriques de la MP. Ainsi, le TEMP-RV respecte les recommandations concernant l'évaluation de la MP développées par Einstein et McDaniel (1990), à savoir : (1) être engagé dans une tâche concurrente au moment de la tâche de MP ; (2) avoir lié un indice prospectif défini avec une intention prospective définie ; (3) laisser un délai suffisamment long entre la phase d'apprentissage des intentions prospective et l'apparition des indices ; (4) prendre en compte dans le score la détection de l'indice (composante prospective) et la récupération de l'intention (composante rétrospective). Les recherches sur la MP ont par la suite permis d'agréments ces recommandations d'autres éléments importants pour évaluer la MP de manière complète et effective. Ainsi, le TEMP-RV évalue à la fois les intentions EB et TB, qui ont été montrées comme reposant sur des processus différents, et entraînant un niveau d'effort cognitif également différent (Einstein et al., 1995). L'analyse de variance que nous avons réalisée montre un effet significatif du type d'indice (EB vs TB) sur les performances des participants, qui obtenaient des résultats significativement supérieurs pour les intentions EB comparativement aux intentions TB. Ce résultat renforce la validité de construit du TEMP-RV, en confirmant la nécessité d'évaluer de manière distincte les performances en MP aux intentions EB et aux intentions TB.

Toujours concernant la validité interne du TEMP-RV, il est nécessaire de s'assurer que chacun des items d'un test évalue bien le phénomène visé. Pour ce faire, la cohérence interne du TEMP-RV a été testée et donne des résultats limités. Il est possible que certains des items du TEMP-RV évaluent moins efficacement la MP que d'autres. Une analyse avec un échantillon plus grand pourrait être utile à l'avenir pour déterminer avec plus de précision si certains items s'avèrent superflus. Il est également possible que l'utilisation de la cohérence interne soit difficilement évaluable avec un test comprenant un faible nombre d'items comme le TEMP-RV. En effet, la cohérence interne évaluée à l'aide de l'alpha de Cronbach a tendance à augmenter avec le nombre d'items du test (Tang, Cui & Babenko, 2014). Par ailleurs, le TEMP-RV présente un taux de réussite très haut et certains des items ont une variance nulle ou quasi-nulle, indiquant un possible effet plafond pour certains items, ne permettant pas une évaluation réelle de la cohérence interne.

Concernant la validité externe, que nous avons testée en comparant les résultats au TEMP-RV avec les auto-évaluations des participants au PRMQ, les résultats montrent une absence de corrélation entre ces deux mesures de la MP. Toutefois, l'absence de convergence avec les scores au PRMQ sont concordants avec ceux de Potvin et al. (2011a) qui, dans leur étude, n'ont pas relevé de corrélation avec un auto-questionnaire de la mémoire prospective, le CAPM. De plus, Kliegel et Jäger (2006) ont souligné la présence de divergences entre les auto-évaluations

de la MP en vie quotidienne et les difficultés objectivées par des tâches de laboratoire. Le TEMP corrélait par ailleurs significativement avec le test de l'enveloppe ($r = 0.47$, $p < 0.05$), une autre mesure de MP (Potvin et al., 2011a). Le fait que le TEMP-RV n'ait pas corrélé significativement avec les auto-évaluations des participants au CAPM ne signifie donc pas qu'il n'est pas valide pour l'évaluation de la MP. Pour tester la validité externe du TEMP-RV, il aurait été intéressant d'analyser ses corrélations avec d'autres mesures objectives de la MP, comme, par exemple, le test de l'enveloppe.

En adaptant le TEMP en TEMP-RV, nous espérions conserver les mêmes qualités psychométriques, grâce au maintien d'une structure et d'un contenu similaire. Malgré tout, l'introduction d'un format en réalité virtuelle peut avoir certains impacts sur les caractéristiques psychométriques du test. Dans un premier temps, l'un des impacts envisagés était l'apport, en théorie, de qualités écologiques supplémentaires, grâce au sentiment de « présence » permis par la réalité virtuelle. Nous avons d'ailleurs utilisé la richesse de cet outil pour intégrer une tâche concurrente très « naturelle » (i.e. conduite en ville) et considérée comme suffisamment engageante pour permettre de tester la capacité du participant à se « désengager » de cette tâche (inhibition) afin de basculer (flexibilité) sur la tâche de MP à la survenue de l'indice prospectif. Nous pouvions craindre de voir une modification des qualités psychométriques du TEMP en utilisant cette tâche concurrente à la place de la tâche concurrente d'écoute active d'un bulletin radio. En effet, la tâche du bulletin radio est non-focale, alors que la tâche de conduite peut être considérée comme focale pour les intentions EB (surveiller la route et surveiller les magasins sont deux tâches mobilisant les mêmes processus de balayage visuel et de vigilance). Toutefois, les résultats du TEMP-RV restent très proches de ceux du TEMP original en termes de pourcentage de réussite, suggérant que la tâche concurrente de conduite n'a pas rendu le test plus « facile ». Une des limites, toutefois, de cette adaptation du TEMP-RV est la présence d'effets cyber-malaises liés à l'immersion dans un environnement virtuel, qui n'est pas à négliger. En effet, comme l'ont souligné Le Gall et al. (2008), les tâches de réalité virtuelle ont souvent pour effet d'entraîner des symptômes de cyber maladie pendant, mais également après la passation des tests. En anticipation de cette problématique, il serait utile de proposer des questionnaires d'évaluation de la sensibilité au cybermalaise, tels que le *Virtual Reality Sickness Questionnaire* (VRSQ ; Kennedy et al., 1993), en amont de l'utilisation du TEMP- RV.

Dans l'ensemble, les modifications apportées au TEMP en RV ne modifient pas sa validité de construit, cet outil permet toujours d'identifier distinctement les performances à des tâches EB et à des tâches TB en MP. La fiabilité inter-forme (entre la version A et la version B) est

également retrouvée. Des analyses supplémentaires, telles qu'une comparaison avec d'autres tâches de MP, seraient utiles. Il est également essentiel de vérifier si le TEMP-RV est suffisamment sensible pour discriminer les performances d'une population clinique, par rapport à une population contrôle. Dans le chapitre suivant (Chapitre V, p. 94), nous présentons les résultats des comparaisons de performances entre un groupe de patients SEP et un groupe Contrôle, au TEMP-RV.

Chapitre 5. Evaluation de la mémoire prospective dans la sclérose en plaques rémittente

Introduction

En développant et en utilisant le TEMP-RV, nous nous inscrivons dans une volonté générale d'évaluation écologique du fonctionnement de la MP. Comme préalablement évoqué (Chapitre 1, p. 4), la MP mobilise divers processus cognitifs (cf. *Multiprocess Theory*, McDaniel & Einstein, 2000) à prendre en compte lors de son évaluation. L'utilisation d'un test écologique et complet comme le TEMP-RV est essentielle pour mieux identifier les difficultés rencontrées par les populations cliniques. Chez les patients atteints de SEP, les difficultés rencontrées en MP sont fréquemment rapportées par les patients, et ont pu commencer à être objectivées par quelques études déjà (pour revue, voir Rouleau et al., 2020). Dans la présente étude, nous poursuivons ce travail d'identification des difficultés en MP dans la SEP à l'aide du TEMP-RV.

1. Objectifs et hypothèses

A ce jour, les études portant sur troubles de la MP dans la SEP restent peu nombreuses et hétérogènes. Ces études varient d'abord concernant le nombre de patients constitutifs des échantillons testés, de $N = 20$ participants SEP (Rendell et al., 2007 ; Kardiasmenos et al., 2008 ; McKeever et al., 2019 ; Toko et al., 2021) à $N = 30-40$ (Bravin et al., 2000 ; Dagenais et al., 2016a ; Dagenais et al., 2016b ; Haupts et al., 1994 ; Rendell et al., 2012), jusqu'à un échantillon de $N = 96$ participants SEP (Miller et al., 2014). En outre, au sein d'une grande majorité de ces études, des patients atteints de SEP rémittente, principalement progressive et secondairement progressive étaient inclus dans leur échantillon « expérimental ». A notre connaissance, seule l'étude de Toko et al. (2021) a été réalisée auprès de patients atteints de SEP rémittente uniquement. Or, il a déjà été montré une différence significative entre les formes rémittentes et les formes principalement progressives de la SEP concernant les performances mnésiques, et, *a fortiori*, concernant les performances en MP (Haupts et al., 1994). Dans l'étude de Toko et al. (2021), les participants atteints de SEP rémittente ont des performances significativement inférieures aux participants du groupe « contrôle », suggérant que, malgré une moindre atteinte cognitive dans la forme rémittente de la SEP par rapport aux formes progressives, la MP peut effectivement être atteinte dans la SEP rémittente. Toutefois, l'étude de Toko et al. (2021) évalue la MP avec le RBMT (Wilson et al., 1985), qui ne comprend que des intentions EB. De ce fait, il était essentiel de poursuivre l'exploration des troubles de la MP dans la forme rémittente de la SEP, en prenant en compte les différents processus qui peuvent être impliqués

dans la MP.

Par ailleurs, il n'existe pas de réel consensus concernant (1) la nature des déficits de la MP dans la SEP, et (2) les fonctions cognitives impliquées dans ces déficits. Certains auteurs observent que les patients SEP ont des difficultés uniquement avec la composante rétrospective de la MP et que cette difficulté est significativement corrélée à un déficit en mémoire épisodique (Bravin et al., 2000). D'autres auteurs observent que le déficit en MP dans la SEP porte uniquement sur la composante prospective de la MP (Rendell et al., 2007) et n'observent par ailleurs pas de différence significative entre le groupe SEP et le groupe contrôle sur un test de mémoire épisodique. Ces résultats divergents peuvent s'expliquer par la variation des protocoles expérimentaux. D'un côté, il est fort probable que Bravin et al. (2000) n'aient pu identifier de déficit de la composante prospective à cause du faible nombre d'indices (2 indices TB) à détecter dans leur protocole. D'un autre côté, l'absence de déficit de la composante rétrospective rapportée par Rendell et al. (2007) n'a pas été observée par Kardiasmenos et al. (2008) qui, en utilisant le même test de MP (*Virtual Week*), ont observé un déficit des deux composantes, prospective et rétrospective. Ce déficit des deux composantes a également été observé par Dagenais et al. (2016b) qui, en testant les facteurs prédictifs de ces déficits, ont constaté qu'un dysfonctionnement exécutif prédisait significativement le déficit de la composante prospective comme de la composante rétrospective. Le score en mémoire épisodique n'était en revanche pas prédictif des performances à la composante rétrospective de la MP.

Le fait qu'un déficit dans la détection des indices prospectifs (composante prospective) soit observé dans la SEP et qu'il soit en grande partie expliqué par un déficit du contrôle exécutif rejoint les fondamentaux théoriques sur la MP et la SEP. En effet, la composante prospective de la MP mobilise les fonctions exécutives comme la planification, l'inhibition, et la flexibilité mentale (Kliegel et al., 2002 ; Kliegel et al., 2011). Des déficits de ces fonctions exécutives dans la SEP ont été rapportés par plusieurs études (Cerezo Garcia et al., 2015 ; Drew et al., 2008 ; Rao et al., 1991). Sur cette base empirique, un déficit plus marqué chez les patients atteints de SEP, pour les intentions TB que pour les intentions EB, est aussi envisageable. En effet, les intentions TB nécessitent la mobilisation de processus contrôlés pour la détection des indices temporels et la récupération des intentions associées ; les intentions EB reposent dans certains cas sur des processus plus automatiques (voire *Multiprocess Theory* ; McDaniel & Einstein, 2000). Concernant les intentions TB, les études confirment que les participants atteints de SEP ont des résultats significativement inférieurs aux participants contrôle, à condition toutefois, qu'il y ait un délai suffisamment long entre l'encodage et la survenue de l'indice. En effet, pour

les intentions TB à effectuer au bout de 2 à 5 minutes, aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes. A contrario, une différence était bien mise en évidence pour les intentions TB à 15 minutes ou 1 heure (Bravin et al., 2000 ; Miller et al., 2014). Pour les intentions EB, les résultats sont plus inconsistants : certaines études montrent que les patients atteints de SEP ont des performances significativement inférieures aux participants Contrôle (Dagenais et al., 2016a ; Dagenais et al., 2016b ; Haupts et al., 1994 ; Toko et al., 2014), et d'autres ne retrouvent pas de différence significative (McKeever et al., 2017 ; Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). Notons que ces trois études n'observant pas de déficit pour les intentions EB dans la SEP ont toutes évalué les performances en MP à l'aide du MIST (Raskin & Sohlberg, 2009). Cette absence de déficit chez les patients SEP pourrait être due à la nature des intentions EB dans le MIST, pour lesquelles les indices EB sont plutôt saillants, et présentent un lien sémantique élevé avec l'intention associée (par exemple : « *quand je vous tendrai un stylo rouge, vous signerez en bas de la feuille* »). Ces résultats pourraient s'expliquer par la mobilisation de processus de récupération implicites pour les intentions EB du MIST, contrairement aux intentions EB du RBMT (Wilson et al., 1985), utilisé dans d'autres études (Haupts et al., 1994 ; Toko et al., 2021), ou encore les intentions EB du protocole expérimental de Dagenais et al. (2016a ; 2016b). L'étude de Kardiasmenos et al. (2008) conforte ce constat. En comparant les performances de participants atteints de SEP sur des tâches EB présentant un fort lien sémantique entre l'indice et l'intention, et d'autres tâches EB où ce lien est plus faible voire inexistant, les auteurs ont montré que les participants SEP avaient des performances dans la norme pour les intentions présentant un fort lien sémantique entre l'indice et l'intention. La récupération réflexive-associative étant favorisée par le renforcement du lien sémantique entre l'indice et l'intention prospective, cela expliquerait les meilleurs résultats des patients atteints de SEP pour ces intentions. En sommes, et même si des difficultés ont été observées chez les patients atteints de SEP pour les intentions EB, l'hypothèse de Miller et al. (2014) selon laquelle les patients atteints de SEP sont plus en difficulté pour les intentions TB, car plus coûteuses en termes de contrôle exécutif, reste pertinente. Mais, les intentions EB peuvent elles aussi solliciter davantage de contrôle exécutif lorsqu'elles ne reposent pas sur des processus de récupération automatiques, notamment quand il n'existe pas de lien sémantique fort entre l'indice EB et l'intention associée.

L'exploration des troubles de la MP dans la SEP soulève la question des processus cognitifs impliqués dans ce déficit. En effet, la MP mobilise à la fois des processus mnésiques (encodage, stockage et récupération de l'intention), et des fonctions exécutives (mémoire de travail, planification, flexibilité, inhibition) (Kliegel et al., 2002 ; Kliegel et al., 2011). Dans la SEP,

des difficultés en mémoire épisodique ont pu être mises en évidence, que ce soit au niveau de l'apprentissage (De Luca et al., 1994 ; De Luca et al., 1998) ou de la récupération mnésique (Rao et al., 1989). Des difficultés exécutives ont également été observées, particulièrement de flexibilité mentale, d'inhibition et la mémoire de travail (Cerezo Garcia et al., 2015). Les rares études questionnant l'implication de ces déficits cognitifs dans les difficultés en MP des patients SEP rapportent des résultats contradictoires, mettant en avant l'implication des déficits en mémoire épisodique (Bravin et al., 2000) ou l'implication des déficits exécutifs (Dagenais et al., 2016b). Il est donc indispensable de mieux circonscrire le rôle des fonctions cognitives impliquées dans les difficultés de la MP observées dans la SEP.

Sur la base des éléments théoriques et empiriques susmentionnés concernant les troubles de la MP dans la SEP, nos hypothèses opérationnelles sont les suivantes :

- H1 : Les participants atteints de SEP rémittente présentent des performances globales au TEMP-RV significativement inférieures à celles des participants contrôle (pour revue, voir Rouleau et al., 2020), que ce soit pour les intentions EB ou les intentions TB (Kardiasmenos et al., 2008 ; Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012). La validation de cette hypothèse atteste de la sensibilité du TEMP-RV (voir Chapitre 6).
- H2 : Les difficultés de MP des participants SEP se manifestent à la fois sur les composantes prospectives et rétrospectives de la MP pour le groupe SEP (Dagenais et al., 2016b ; Kardiasmenos et al., 2008).
- H3 : Nous nous attendons également à ce que le déficit de la composante prospective soit en partie expliqué par un déficit du contrôle exécutif (Dagenais et al., 2016b).
- H4 : Le déficit de la composante rétrospective doit être, quant à lui, expliqué par un déficit des capacités de récupération mnésique épisodique (Bravin et al., 2000).

2. Méthode

2.1 Participants

Selon l'analyse *a priori* de puissance et du calcul du nombre de participants nécessaires réalisés avec le logiciel G-Power (Faul, Erdfelder & Buchner, 2007), un échantillon 54 participants, soit 27 participants dans chaque groupe était recommandé pour atteindre une taille d'effet correcte ($r_b \geq .50$) lors de nos analyses statistiques. Ce calcul de la taille d'échantillon est basé sur la principale analyse statistique envisagée, à savoir : une ANOVA à mesure répétées

avec le Groupe (SEP vs Contrôle) comme facteur inter-sujets, et le type d'indice (EB vs TB) et composante de la MP (prospective vs rétrospective) comme facteurs intra-sujet. Trente participants atteints de SEP ont participé à cette étude. Ils ont été recrutés parmi les patients de l'hôpital Laënnec de Nantes sur la base du volontariat et ont été sélectionnés selon les critères d'inclusion suivants : (1) être âgés de 18 à 60 ans ; (2) avoir une bonne maîtrise de la langue française ; (3) avoir un diagnostic établi de forme rémittente de SEP et ne pas avoir eu de poussée au cours de l'année qui précède l'étude ; (4) ne pas avoir d'autres maladies neurologiques ou psychiatriques.

Un groupe contrôle, constitué de vingt-neuf participants sains, appariés sur l'âge, le sexe et le niveau d'étude, a été constitué. Le recrutement des participants contrôle a été réalisé par voie d'annonce sur les réseaux sociaux et par bouche à oreille. Parmi les participants, deux participants atteints de SEP et deux participants contrôle ont éprouvé un sévère inconfort dû à la RV et ont été exclus de l'étude au cours de la passation. Par ailleurs, six participants SEP ne sont pas parvenus à mémoriser les 15 intentions du test de MP, même au bout de trois rappels indicés. Ces six participants SEP ont donc dû être exclus des analyses car les performances de récupération des intentions en MP étaient biaisées par un apprentissage incomplet. Au final, les analyses ont porté sur 22 participants dans le groupe SEP (Age : $M = 43.6$, $SD = 7.97$; 21 femmes [95%] ; Niveau d'étude (*en année*) : $M = 13.9$, $SD = 2.8$) et 27 participants dans le groupe de contrôle (Age : $M = 42.2$, $SD = 12.42$; 22 femmes [82%] ; Niveau d'étude (*en année*) : $M = 14.8$, $SD = 2.4$). Cette étude a été validée par le comité d'éthique de Nantes Université (CERNI – Comité d'éthique pour la recherche non-interventionnelle – avis n°16102020).

2.2 Matériel

Tâche expérimentale : le TEMP-RV

Les participants devaient se déplacer virtuellement en voiture dans une ville grâce à un casque Vive Pro. A l'aide d'un volant connecté à un ordinateur et de touches de commande « start/stop » placées sur ce volant, ils contrôlaient le déplacement du véhicule. La tâche consistait à suivre un itinéraire guidé par une voix GPS, et à exécuter des intentions prospectives pendant le trajet. Deux versions du parcours ont été mobilisées : une version A dans laquelle les participants suivaient un parcours afin de préparer un départ en vacances ; une version B, dans laquelle les participants devaient préparer une fête d'anniversaire. Les participants étaient affectés de manière contrebalancée à la version A ou la version B du TEMP-RV – le but étant,

dans une seconde étude (voir Chapitre 6), de proposer aux participants la version à laquelle ils n'ont pas encore été confrontés pour faire des comparaisons entre les deux études.

Evaluations neuropsychologiques

La Batterie Courte d'évaluation Cognitive destinée aux patients SEP a été utilisée afin d'évaluer les performances des patients SEP (BCCogSEP ; Dujardin et al., 2004). Cette batterie de tests neuropsychologiques est inspirée de la *Brief Repeatable Battery of Neuropsychological examination* (BRB-N ; Rao et al., 1991). Dans la BCCogSEP, des adaptations françaises des cinq tests inclus dans le BRB-N ont été reprises. Trois autres tests ont été ajoutés pour évaluer la mémoire de travail et les fonctions exécutives. La BCCogSEP comprend alors les huit tests suivants :

- Le *Selective Reminding Test* (SRT ; Buschke & Fuld, 1974), qui évalue la mémoire épisodique verbale. Pour pouvoir intégrer des participants SEP ayant bénéficié d'évaluations neuropsychologiques au sein du CHU de Nantes, le *California Verbal Learning Test* (CVLT - Delis et al., 1987), a été utilisé au lieu du SRT (puisque les neuropsychologues du CHU de Nantes utilisent le CVLT, plutôt que le SRT). Le CVLT évalue la mémoire épisodique verbale en quatre étapes : (1) présentation d'une liste de 16 mots (répartis en quatre catégories sémantiques qui ne sont pas précisées) suivie d'un rappel immédiat, répété cinq fois ; (2) rappel à court terme (après une tâche distractive) de la liste de 16 mots, d'abord en rappel libre puis en rappel indicé par catégories sémantiques (qui sont précisées à ce moment-là ; par exemple : « il y avait des outils dans la liste, pouvez-vous me les rappeler ? ») ; (3) rappel différé (après un délai de 20 minutes) de la liste de 16 mots, d'abord en rappel libre, puis en rappel différé ; (4) tâche de reconnaissance des 16 mots parmi une liste de distracteurs.
- Le test 10/36 *Spatial Recall Test* (SPART ; Rao et al., 1990), qui évalue la mémoire visuo-spatiale. Le test 10/36 consiste à présenter pendant 10 secondes une grille de 36 cases sur laquelle sont placées 10 pastilles noires, suivi d'un rappel immédiat du placement des 10 pastille sur une grille vierge. Il y a ainsi trois rappels immédiats. Après un délai de 7 minutes, un rappel différé du placement des 10 pastille sur une grille vierge est effectué.
- Le subtest "codes" de la WAIS-R (Wechsler, 1981), qui évalue la vitesse de traitement de l'information. Ce test consiste à « traduire » des lignes de chiffre en se référant à un

« code » (qui indique que chaque chiffre est associé à un symbole) en haut de la feuille, et ce le plus vite possible dans un délai de deux minutes.

- Le test de fluences verbales catégorielles et lexicales (Lezak, Howieson, Bigler & Tranel, 2012), qui évalue la flexibilité mentale. Ce test consiste à produire, en deux minutes, un maximum de noms d'animaux (fluences catégorielles) ; ou un maximum de mots commençant par la lettre « p » (fluences lexicales).
- Le PASAT (Gronwall, 1977), qui évalue les capacités attentionnelles et la mémoire de travail. Ce test consiste à additionner deux à deux des chiffres présentés à un rythme régulier (deux versions : toutes les 3 secondes ; toutes les 2 secondes).
- La tâche des ordres contraires qui évalue la flexibilité mentale (Dubois et al., 2000). Cette tâche consiste à taper avec un crayon sur la table : deux fois quand l'expérimentateur tape une fois ; et une fois quand l'expérimentateur tape deux fois.
- La tâche "go no go" qui évalue l'inhibition (Dubois et al., 2000). Cette tâche consiste à taper avec un crayon sur la table : une fois quand l'expérimentateur tape une fois ; et « ne pas taper » quand l'expérimentateur tape deux fois.
- Le subtest « mémoire des chiffres » de la WAIS-R (Wechsler, 1981), qui évalue la mémoire de travail. Ce test consiste à répéter des séries de chiffres de plus en plus longues dans le même ordre que l'expérimentateur (empans endroits) ; et à répéter des séries de chiffres de plus en plus longues dans l'ordre inverse à celui de l'expérimentateur (empans envers).

Les consignes pour ces tests ainsi que leur cotation sont détaillées dans l'annexe 2 (p. xv).

Tests cliniques

Les niveaux de dépression et d'anxiété des participants ont été évalués respectivement avec la version française du *Beck Depression Inventory - Fast Screen* (BDI-FS-fr - Alsaleh & Lebreuil, 2017) et la version française et raccourcie du *State Trait Anxiety Inventory-Y* (STAI-Y - Bruchon-Schweitzer & Paulhan, 1993). Ces deux questionnaires ainsi que leur cotation sont disponibles dans les annexes 3 (p. xxi) et 4 (p.xxii).

2.3. Procédure

Les passations ont eu lieu dans la salle expérimentale dédiée du laboratoire LPPL de Nantes Université. L'expérimentation se déroulait en deux sessions d'environ 1 heure : la première session était dédiée à la passation des tests du bilan neuropsychologique et des deux questionnaires BDI et STAI ; et la deuxième session était dédiée à la passation de la tâche expérimentale TEMP-RV. Les participants étaient informés en amont que la participation à cette étude était bénévole.

Lors de la première session, le participant remplissait d'abord un formulaire de consentement ; puis, il réalisait les tests neuropsychologiques pendant environ 50 minutes. En fin de session, il était invité à répondre aux questionnaires BDI et STAI. Lors de la deuxième session, le participant se voyait administrer la version A ou la version B du TEMP-RV. Pour le détail de la procédure de passation du TEMP-RV, voir la procédure présentée dans le chapitre 4 (p. 73).

3. Résultats

L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Jasp version 0.15.0.0, avec un seuil de significativité fixé à $p \leq 0.05$. Puisque la distribution de certains sous-scores du TEMP-RV ne suivait pas la loi normale (test de Shapiro-Wilk : $p > .05$), des tests statistiques non paramétriques ont été utilisés pour les comparaisons entre les groupes sur ces sous-scores (test U de Mann-Whitney).

3.1. Caractéristiques de l'échantillon

Les caractéristiques démographiques des groupes SEP et Contrôle ont été comparées à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney (âge et niveau d'éducation), et du test du χ^2 (répartition Homme/Femme dans chaque groupe).

Les analyses indiquent que les deux groupes sont appariés en ce qui concerne l'âge ($U = 301.0$, $p = .944$, $r_b = .013$), le niveau d'étude ($U = 365.5$, $p = .164$, $r_b = .231$) et le sexe-ratio ($\chi^2 = 2.203$, $p = .138$). Les scores obtenus au BDI (niveau de dépression) et au STAI (niveau d'anxiété) pour les deux groupes ne sont pas significativement différents (BDI : $U = 244.5$, $p = .281$; STAI état : $U = 224.0$, $p = .145$; STAI trait : $U = 292.5$, $p = .936$).

3.2. Performances au TEMP-RV

3.2.1. Phase d'apprentissage

Les performances des groupes SEP et Contrôle ont été comparées pour la phase d'apprentissage du TEMP-RV à l'aide d'un test *t* de Student. Les variables dépendantes étaient les suivantes :

- VD1 : le score à la phase d'apprentissage des 10 intentions EB. Constitué des deux sous-score sur 10 points, correspondant aux deux rappels immédiats indicés lors de phase d'apprentissage (EB1 et EB2). Les intentions correctement rappelées au mot pour mot (*verbatim*) sont cotées 1 point, les intentions rappelées avec des modifications minimales qui conservent le sens de l'intention sont cotées 0.5 point.
- VD2 : le score à la phase d'apprentissage des 5 intentions TB. Constitué des trois sous-score sur 5 points, correspondant aux trois rappels immédiats indicés lors de phase d'apprentissage (TB1, TB2, TB3). Les intentions correctement rappelées au mot pour mot sont cotées 1 point, les intentions rappelées avec des modifications minimales qui conservent le sens de l'intention sont cotées 0.5 point.

Les résultats montrent que les participants SEP ont des performances significativement inférieures à celles des participants contrôle lors de l'apprentissage des intentions EB et des intentions TB. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 1.

Tableau 1

Comparaison des scores moyens (et écart-types) du groupe SEP vs groupe Contrôle à la phase d'apprentissage du TEMP-RV

	Contrôle	SEP	T	Df	<i>p</i> value	<i>d</i> de Cohen
Apprentissage EB 1	8.59 (1.04)	7.54 (1.50)	2.634	47	0.011	0.756
Apprentissage EB 2	9.69 (0.37)	9.27 (0.61)	2.911	47	0.005	0.836
Apprentissage TB 1	2.50 (1.13)	1.75 (1.04)	2.395	47	0.021	0.688
Apprentissage TB 2	4.02 (1.01)	3.23 (1.12)	2.604	47	0.012	0.748
Apprentissage TB 3	4.72 (0.38)	4.43 (0.44)	2.480	47	0.017	0.712

Note : Les valeurs en gras correspondent aux tests présentant un résultat significatif ($p < .05$).

Les résultats montrent que les performances des deux groupes augmentent entre le premier et le dernier rappel, témoignant du processus d'apprentissage des intentions. Malgré un

rappel de la totalité des intentions EB et TB au dernier rappel, une différence significative subsiste entre les deux groupes. Cette différence est due au système de cotation permettant de distinguer un rappel *littéralement correct* (coté 1 point) et un rappel *sémantiquement correct* malgré des variations lexicales (coté 0.5 points). La différence entre les deux groupes au dernier rappel indique que les participants atteints de SEP ont plus de difficultés à mémoriser l'information de manière littérale (mot à mot) mais qu'ils conservent une trace/représentation sémantique de l'information.

3.2.2. Tâche de MP

Pour évaluer les performances à la tâche de MP, tout en prenant en compte l'effet du type d'indice et de la composante de MP sur ces performances, une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée avec le Groupe (Contrôle vs SEP) comme facteur inter-sujet, et le type d'indice (EB vs TB) ainsi que la composante de MP (prospective vs rétrospective) comme facteurs intra-sujet. Les variables dépendantes étaient les suivantes :

- VD1 : le score à la phase de détection (composante prospective) des 10 indices EB. Ce score est sur 10 points, coté 1 point pour chaque indice EB détecté moins de 10 secondes avant ou après son apparition.
- VD2 : le score à la phase de détection (composante prospective) des 5 indices TB. Ce score est sur 5 points, coté 1 point pour chaque indice EB détecté moins de 10 secondes avant ou après son apparition.
- VD3 : le score de récupération (composante rétrospective) des 10 intentions EB. Ce score est sur 10 points, coté 1 point si le participant rappelle l'intention mot pour mot, et 0,5 point s'il rappelle une paraphrase sémantiquement correcte.
- VD4 : le score de récupération (composante rétrospective) des 5 intentions TB. Ce score est sur 5 points, coté 1 point si le participant rappelle l'intention mot pour mot, et 0,5 point s'il rappelle une paraphrase sémantiquement correcte.

Les scores bruts aux différentes phases du TEMP-RV ont été convertis en pourcentages de réponses correctes, afin de pouvoir comparer les scores TB (/5) et EB (/10).

Les performances moyennes des deux groupes aux composantes prospectives et rétrospectives des intentions EB et TB sont détaillées dans le tableau 2.

Tableau 2

Pourcentage moyens (et écart-types) du groupe SEP vs groupe Contrôle aux composantes prospective et rétrospective des intentions EB et TB du TEMP-RV

	Contrôle	SEP
Prospective EB	90.37 (10.55)	85.91 (13.33)
Rétrospective EB	92.41 (7.77)	82.32 (13.53)
Prospective TB	82.96 (20.53)	63.64 (24.41)
Rétrospective TB	86.67 (17.97)	78.64 (18.85)

L'ANOVA à mesures répétées montre un effet significatif du groupe (SEP vs Contrôle), $F(1,47) = 13.736$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.082$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 montrent que les patients SEP ont des performances inférieures aux participants Contrôle. L'effet du type d'indice (EB vs TB) est significatif, $F(1,47) = 13.053$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.071$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 montrent que les performances sont meilleures pour les intentions EB que pour les intentions TB. De même, l'effet de la composante (prospective vs rétrospective) est significatif, $F(1,47) = 5.018$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.014$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 montrent que les performances sont meilleures à la composante rétrospective qu'à la composante prospective.

L'effet d'interaction Groupe*Indice n'est pas significatif, $F(1,47) = 1.400$, $p = .243$, $\eta^2_p = 0.008$. De même, l'effet d'interaction Groupe*Composante n'est pas significatif, $F(1,47) = 0.548$, $p = 0.463$, $\eta^2_p = 0.001$.

L'effet d'interaction Indice*Composante est significatif, $F(1,47) = 7.193$, $p < 0.05$, $\eta^2_p = 0.019$. Le test post-hoc de Bonferroni indique une différence significative entre les composantes prospectives et rétrospective pour les intentions TB, $t(47) = -3.478$, $p = 0.003$, $r_b = -0.566$, contrairement aux intentions EB, $t(47) = 0.289$, $p = 0.773$, $r_b = 0.047$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 nous indiquent que les performances de l'ensemble des participants sont meilleures dans la récupération des intentions TB que dans la détection des indices TB. Il y a également une différence significative entre les indices EB et les indices TB pour la composante prospective, $t(47) = 4.498$, $p < 0.001$, $r_b = 0.898$, mais pas pour la composante rétrospective, $t(47) = 1.428$, $p = 0.314$, $r_b = 0.285$. Les statistiques descriptives du tableau 2 nous indiquent que les performances sont meilleures dans la détection des indices EB que dans la détection des indices TB.

Enfin, l'effet d'interaction Groupe*Indice*Composante est significatif, $F(1,47) = 5.020$, p

< 0.05 , $n^2_p = 0.013$. Le test post-hoc de Bonferroni indique qu'il y a une différence significative entre les composantes prospectives et rétrospectives des intentions TB pour le groupe SEP, $t(47) = -3.758$, $p = 0.007$, $r_b = -0.907$, mais pas pour le groupe Contrôle, $t(47) = -1.028$, $p = 1.000$, $r_b = -0.224$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 montrent que les patients atteints de SEP ont plus de difficultés à détecter les indices TB qu'à récupérer les intentions associées. Il y a également une différence significative entre les indices EB et les indices TB pour la composante prospective pour le groupe SEP, $t(47) = 4.547$, $p < 0.001$, $r_b = 1.347$, mais pas pour le groupe Contrôle, $t(47) = 1.675$, $p = 1.000$, $r_b = 0.448$. Les statistiques descriptives présentées dans le tableau 2 montrent que les patients SEP ont plus de difficultés à détecter les indices TB que les indices EB. Enfin, il y a une différence significative entre le groupe SEP et le groupe Contrôle aux performances de détection des indices TB, $t(47) = 4.071$, $p = 0.002$, $r_b = 1.169$. Les statistiques descriptives nous indiquent que les participants SEP ont plus de difficultés que les participants Contrôle, pour détecter les indices TB.

3.2.3. Tâche de reconnaissance

Les performances des groupes SEP et Contrôle ont été comparées pour la phase de reconnaissance du TEMP-RV, à l'aide d'un test t de Student. La variable dépendante était le score de reconnaissance des 15 intentions EB et TB. Ce score est coté 1 point par intention correctement reconnue parmi des distracteurs (Total /15).

La différence de performances entre les deux groupes n'est pas significative pour le test de reconnaissance ($t(47) = 0.759$, $p = .451$, $r_b = .289$), avec une moyenne de 14.64 (± 0.58) chez les participants SEP, et de 14.78 (± 0.70) chez les participants contrôle.

3.3. Performances aux tests neuropsychologiques

Le test de Levene était significatif pour le PASAT 3sc, suggérant une violation de l'égalité de la variance pour ce test. Le test non paramétrique de Mann-Whitney a donc été effectué pour comparer les deux groupes sur leurs performances au PASAT 3sc. Pour toutes les autres mesures du BCCogSEP, un t de Student a été calculé pour comparer les performances entre le groupe SEP et le groupe Contrôle. Les données recueillies lors de l'évaluation neuropsychologique ont été converties en score z (CVLT) ou en score résiduel (10/36 ; Codes ; Ordres contraires ; Go No Go ; PASAT 3sc ; PASAT 2sc ; fluidité lexicale ; fluidité catégorielle ; MCE ; MCI).

Les résultats ne mettent pas en évidence de différence significative entre les scores du groupe SEP et ceux du groupe Contrôle pour les tests de mémoire épisodique verbale (CVLT)

et visuelle (10/36) ; de vitesse de traitement de l'information (Codes) ; de flexibilité mentale (Ordre contraires ; fluences verbales) ; de mémoire de travail (PASAT 3sc, PASAT 2sc). Les seules mesures du BCCogSEP pour lesquelles les participants SEP ont des scores significativement inférieurs à ceux du groupe Contrôle, sont les tests d'empan endroit (MCE ; $t(47) = 2.496, p < .05, r_b = .717$) et d'empan envers (MCI ; $t(47) = 3.096, p < .01, r_b = .889$), et les scores au test d'inhibition (Go no Go ; $t(47) = 2.027, p < .05, r_b = .582$). Les performances du groupe SEP et du groupe Contrôle au BCCogSEP sont détaillées dans le tableau 3.

Tableau 3.

Performances moyennes (et écart-types) au BCCogSEP pour le groupe SEP vs. groupe Contrôle, et résultats statistiques (valeurs p , d de Cohen) issus des tests de comparaison de moyennes

	Contrôle	SEP	T	Df	P	d de Cohen
Rappel 1 CVLT	0.95 (0.99)	0.52 (1.12)	1.412	47	0.164	0.406
Rappel 2 CVLT	1.96 (1.56)	1.86 (1.35)	0.231	47	0.818	0.066
Rappel 3 CVLT	1.84 (1.02)	2.03 (1.08)	-0.626	47	0.534	-0.180
Rappel 4 CVLT	1.52 (0.90)	1.49 (0.90)	0.122	47	0.903	0.035
Rappel 5 CVLT	0.84 (0.84)	0.89 (0.84)	-0.202	47	0.841	-0.058
Rappel Libre CVLT	0.82 (0.86)	0.78 (0.92)	0.152	47	0.880	0.044
Rappel Indiqué CVLT	0.86 (0.82)	0.82 (0.88)	0.190	47	0.850	0.055
Rappel Libre Différé CVLT	1.02 (0.82)	0.88 (0.98)	0.567	47	0.574	0.163
Rappel Indiqué Différé CVLT	1.11 (0.58)	1.01 (0.76)	0.550	47	0.585	0.158
Reco CVLT	0.56 (0.59)	0.59 (0.47)	-0.215	47	0.831	-0.062
Rappel 10/36	1.56 (5.56)	1.25 (4.74)	0.204	47	0.839	0.059
Rappel différé 10/36	1.07 (2.06)	0.51 (2.12)	0.921	47	0.362	0.265
Codes	-5.00 (10.11)	-6.62 (12.66)	0.500	47	0.619	0.144
Ordres Contraires	-1.000 (1.36)	-1.14 (1.64)	0.318	47	0.752	0.091
Go No Go	0.43 (0.70)	-0.05 (0.94)	2.027	47	0.048	0.582
PASAT 3sc	-1.34 (7.40)*	-6.43 (10.73)*	355.000*		0.079*	0.296*
PASAT 2sc	-3.84 (7.83)	-6.50 (9.24)	1.094	47	0.280	0.314
Fluences P	-0.52 (4.67)	-1.74 (4.90)	0.886	47	0.380	0.254
Fluences animaux	1.14 (5.74)	-1.15 (6.63)	1.294	47	0.202	0.372
MCE	-0.67 (1.81)	-1.97 (1.82)	2.496	47	0.016	0.717
MCI	-0.33 (1.75)	- 1.91 (1.80)	3.096	47	0.003	0.889

Note : Les valeurs en gras correspondent aux tests présentant un résultat significatif ($p < .05$). Les valeurs marquées d'un * correspondent aux résultats du Test non paramétrique U de Mann Whitney

CVLT, California Verbal Learning Test ; PASAT, Paced Auditory Serial Attention Test ; MCE, Mémoire des Chiffres Endroit ; MCI, Mémoire des Chiffres Inverse

3.4 Analyse de régression multiple

Pour étudier le poids des différentes fonctions cognitives - évaluées avec le bilan neuropsychologique - sur la variance expliquée des performances au différentes phases du

TEMP-RV, une régression linéaire multiple pas à pas a été menée. Les covariables de cette régression linéaire sont les performances aux tests neuropsychologiques du BCCogSEP. L'analyse de régression linéaire a uniquement été réalisée sur les données des patients SEP, afin d'examiner spécifiquement les fonctions cognitives impliquées dans les troubles de la MP des patients SEP. Nous avons d'abord exploré la variance expliquée du score total au TEMP-RV. Puis, une régression linéaire a été menée pour chaque phase du TEMP-RV, à savoir : (1) l'apprentissage des intentions EB ; (2) l'apprentissage des intentions TB ; (3) la détection des indices EB ; (4) la détection des indices TB ; (5) la récupération des intentions EB ; (6) la récupération des intentions TB. La variance expliquée de la phase de reconnaissance du TEMP-RV n'a pas été examinée car un effet plafond était observé à cette phase pour l'ensemble des participants.

Etant donné que la plupart des tests de la BCCogSEP sont corrélés entre eux, un diagnostic de covariance a été réalisé. Tous les tests dépassant un VIF = 10 ont été automatiquement exclus de l'analyse, car ils indiquaient une trop forte covariance, pouvant biaiser les résultats (Midi, Sarkar, & Rana, 2010). Les rappels immédiats 2, 3, 4, 5 du CVLT, ainsi que le rappel indicé et le rappel libre différé du CVLT ont ainsi été exclus d'emblés. Pour les tests dépassant un VIF = 2.5, leur intégration à l'analyse de régression linéaire a été questionné en termes de pertinence théorique. Nous avons ainsi progressivement exclu des tests qui évaluaient les mêmes fonctions cognitives (par exemple : enlever le PASAT 2sc car il y avait déjà le PASAT 3sc). Finalement, nous avons effectué une régression linéaire pas à pas avec les variables dépendantes issues des tests neuropsychologiques suivants : Rappel 1 CVLT, Rappel Indicé différé CVLT, Rappel Différé 10/36, Codes, Ordres contraires, Go No Go, PASAT 3sc, Fluences animaux, MCI.

L'analyse par régression linéaire pour le score total au TEMP-RV est significative ($F = 21.372, p < .001, R^2 = .499$), et indique que seul le score au Rappel 1 du CVLT est un prédicteur significatif du score total au TEMP-RV ($t = 4.623, p < .001$). Ce test explique à lui seul 49.9% de la variance ($R^2 = .499$) du score total au TEMP-RV. L'analyse de régression linéaire pour le score d'apprentissage EB n'est pas significative ($F = 0.531, p = .826, R^2 = .285$). En revanche, l'analyse de régression linéaire pour le score d'apprentissage TB est significative ($F = 13.113, p < .001, R^2 = .580$). Deux facteurs prédicteurs du score d'apprentissage TB sont identifiés : le test d'inhibition Go no Go et le test des fluences verbales sémantiques. Ces deux tests expliquent 58% ($R^2 = .580$) de la variance du score d'apprentissage TB. L'analyse de régression linéaire pour le score de détection EB est significative ($F = 10.070, p = .001, R^2 = .515$). Deux facteurs prédicteurs du score de détection EB sont identifiés : le test d'inhibition Go no Go, et le test de mémoire visuelle 10/36. Ces deux tests expliquent 51.5% ($R^2 = .515$) de la variance

du score de détection EB. L'analyse de régression linéaire est également significative pour le score de détection TB ($F = 4.868, p < .05, R^2 = .196$), et indique que près de 20% de la variance ($R^2 = .196$) est expliquée par le score au test d'inhibition Go no Go.

L'analyse de régression linéaire pour le score de récupération EB n'est pas significative ($F = 1.918, p = .145, R^2 = .590$). L'analyse de régression linéaire est également non significative pour le score de récupération TB ($F = 1.918, p = .145, R^2 = .590$).

4. Discussion

Malgré des capacités mnésiques globalement plus élevées dans la forme rémittente de la SEP par rapport aux formes progressives ou secondairement progressives (Ruano et al., 2017), les résultats de cette étude confirment l'hypothèse (H1) selon laquelle la MP est significativement affectée dans la forme rémittente de la SEP (Toko et al., 2021). Notre étude avait pour objectif, outre la confirmation de ce déficit de MP dans la SEP rémittente, de clarifier quels processus de la MP étaient précisément impactés dans la SEP rémittente. Pour ce faire, nous avons utilisé le TEMP-RV qui présente l'avantage d'évaluer la MP de manière complète, en mesurant les performances à des tâches EB et TB, et en identifiant spécifiquement les performances aux composantes prospectives et rétrospectives de la MP. Nous avons pour hypothèse H2, que les déficits de MP dans la SEP rémittente seraient observés à la fois pour les intentions EB et pour les intentions TB. Or, c'est uniquement pour les intentions TB que nous avons observé une diminution des performances des patients atteints de SEP rémittente. En fait, c'est même uniquement sur la composante prospective des intentions TB que nos résultats montrent un effet significatif du groupe, allant à l'encontre de notre hypothèse H3 selon laquelle les patients SEP auraient également des difficultés avec la composante rétrospective de la MP. En sommes, notre étude confirme qu'il y a des difficultés en MP dans la SEP rémittente, mais des difficultés qui se manifestent plus spécifiquement dans la capacité à détecter des indices TB en MP.

Concernant la phase d'apprentissage des intentions dans le TEMP-RV, nous avons pu constater une réduction significative des performances du groupe SEP autant pour les intentions EB que TB comparé aux participants contrôles. D'après la littérature sur les troubles cognitifs dans la SEP, il n'est pas surprenant d'observer des difficultés lors de la phase d'apprentissage (De Luca et al., 1994). De moindres capacités d'apprentissage des patients SEP ont été montrés

dans des études dans lesquelles les patients devaient apprendre une liste de mots, et le nombre d'essais qu'il leur fallait pour mémoriser la totalité de la liste de mots était mesuré. Les patients atteints de SEP avaient besoin d'en moyenne 8.3 essais pour apprendre la liste de mots, contre 4.9 essais pour le groupe contrôle (De Luca et al., 1994). Ce déficit de l'apprentissage en mémoire épisodique est notamment expliqué par un déficit en vitesse de traitement de l'information et de la mémoire de travail (De Luca et al., 2004). Si les difficultés d'apprentissage ont bien été montrées dans notre étude, aucune des fonctions cognitives testées n'explique suffisamment ces données pour les intentions EB. Pour l'apprentissage des intentions TB en revanche, les performances sont prédites par les capacités d'inhibition (Go no Go) et les fluences verbales. Dans notre étude, les capacités d'apprentissage des intentions en MP ne sont pas mesurées via le nombre d'essais nécessaires pour les mémoriser, mais via le nombre d'intentions rappelées au fil des rappels, et via la précision du rappel (i.e. exactitude lexicale ou non). Il est donc compréhensible que le déficit des capacités d'apprentissage ne soit pas prédit ici par un ralentissement de la vitesse de traitement et par les capacités en mémoire de travail, mais davantage par des difficultés d'accès au lexique.

En effet, concernant l'implication des performances aux fluences verbales catégorielles dans l'apprentissage des intentions TB, ce constat rejoint les résultats d'autres études portant sur les troubles cognitifs dans la SEP. Ainsi, lors d'une épreuve de dénomination d'images, les patients SEP avaient besoin de significativement plus d'indices phonologiques et sémantiques afin d'accéder au mot correct, comparativement aux participants du groupe contrôle (Joly, Cohen & Lebrun, 2014). Le déficit d'accès lexical en condition « sans indice » était significativement corrélé au déficit aux tests des fluences verbales et aux tests de flexibilité mentale réactive (Joly et al., 2019). Il semblerait donc qu'un déficit d'accès au lexique soit bien présent dans la SEP. Or, l'apprentissage des phrases correspondant aux intentions en MP mobilise effectivement, entre autres, l'accès au lexique.

Enfin, et de manière surprenante, l'inhibition (Go no Go) est identifiée comme facteur prédicteur pour les scores d'apprentissage TB. La littérature sur les troubles de l'apprentissage dans la SEP n'évoque pas l'inhibition comme facteur expliquant le déficit d'apprentissage (Chiaravalloti et al., 2008 ; De Luca et al., 1994 ; De Luca et al., 2004). Toutefois, ces études n'ont pas testé le rôle de l'inhibition dans les performances aux tests d'apprentissage des patients atteints de SEP. Il pourrait être intéressant d'explorer, à l'avenir, le rôle de l'inhibition dans l'apprentissage chez les patients atteints de SEP. En effet, dans le fonctionnement cognitif en général, il est admis que les capacités d'inhibition jouent un rôle lors de l'apprentissage. L'inhibition permet d'empêcher l'activation d'autres traces mnésiques « parasites » lors de la

formation de la trace mnésique cible durant l'apprentissage (Hulbert & Anderson, 2008). L'apprentissage des intentions TB étant toujours à la suite de l'apprentissage des intentions EB, il est possible que ces dernières aient parasité l'apprentissage des intentions TB et que cela explique que le déficit des capacités d'inhibition prédise spécifiquement le déficit d'apprentissage des intentions TB, et non le déficit d'apprentissage des intentions EB. Il reste toutefois surprenant que l'accès au lexique évalué avec le test des fluences verbales n'ait pas prédit les performances d'apprentissage des intentions EB, alors même qu'on observe un rappel moins précis lexicalement des intentions EB, comme des intentions TB.

Le résultat majeur de notre étude, concernant spécifiquement les performances en MP dans la SEP rémittente, est que les patients SEP avaient des performances significativement inférieures aux participants Contrôle pour la composante prospective des intentions TB. Selon notre hypothèse H3, le déficit de la composante prospective dans la SEP devait être significativement prédit par les capacités exécutives des participants (Dagenais et al., 2016a). Nos résultats confirment que les performances des patients SEP à cette composante prospective sont prédites en partie par leurs capacités exécutives. Plus précisément, ce sont leurs performances au test d'inhibition (Go no Go) qui prédisent leurs scores à la composante prospective, ce qui est en accord avec les études montrant l'implication de l'inhibition dans l'arrêt de la tâche concurrente, nécessaire pour basculer sur la tâche de MP (Kliegel et al., 2002 ; McDaniel et al., 1999 ; Schnitzspahn et al., 2013). Par ailleurs, l'inhibition est identifiée comme étant particulièrement importante pour la détection des indices TB car il faut inhiber la tâche concurrente de façon régulière pour vérifier le temps (Schnitzspahn et al., 2013). Qualitativement, on a pu observer que l'échec de la composante prospective pour les intentions TB était parfois dû à une réaction trop tardive (par exemple : réagir au bout de 6 minutes au lieu de 5 minutes). Nos résultats suggèrent que les patients SEP n'ont pas pu inhiber assez l'activité concurrente pour contrôler le temps efficacement. Il aurait été intéressant d'analyser le nombre de vérifications de l'horloge pour chaque participant afin d'étudier plus précisément cette hypothèse.

Le fait que le déficit de la composante prospective ne soit pas retrouvé pour les intentions EB alors qu'il l'est pour les intentions TB peut s'expliquer par la nature focale ou non de la tâche concurrente pour ces deux types d'indices. Dans notre étude, la tâche concurrente peut être considérée comme « focale » (voir Einstein & McDaniel, 2005) pour les intentions EB, dans le sens où elle impliquait un traitement cognitif focalisé sur l'environnement dans lequel les participants devaient détecter les indices EB à venir. En effet, dans le TEMP-RV, la tâche concurrente consistait à conduire le véhicule en respectant le code de la route. Les participants

étaient alors amenés à surveiller l'environnement pour détecter l'arrivée de voitures et/ ou de piétons. Cette tâche concurrente a pu renforcer la vigilance sur l'environnement et ainsi faciliter la détection des indices EB, qui étaient des magasins. A l'inverse, les indices TB relèvent d'un traitement non-focal puisqu'il faut interrompre la tâche concurrente – arrêter de surveiller l'environnement – pour vérifier le temps écoulé sur le chronomètre. Or, il est admis que la détection des indices lors d'une tâche focale est moins coûteuse sur le plan attentionnel et relève dans certains cas de processus automatiques (Marsh et al., 2002). Nos résultats montrent que les participants atteints de SEP rémittente sont capables de détecter des indices prospectifs aussi bien que les participants Contrôle quand la détection est amorcée par les indices présents dans l'environnement et qu'elle repose alors sur des processus automatiques issus d'un traitement focal. Par ailleurs, les performances de détection des indices EB étaient en partie prédites par les capacités de mémoire visuelle (test 10/36) des patients SEP. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la trace mnésique visuelle des indices EB (i.e. devantures de magasins), quand elle était forte, facilitait la détection de ces indices visuels.

Le fait qu'il n'y ait pas de déficit de la composante rétrospective chez les patients atteints de SEP rémittente dans notre étude rejoint les résultats de Rendell et al. (2007) qui, eux aussi, observaient un déficit uniquement de la composante prospective dans leur groupe SEP. Il est important de noter que leur groupe SEP ($N = 20$) était composé majoritairement de participants atteints d'une SEP rémittente ($n = 18$) et de très peu de participants atteints de SEP primairement progressive ($n = 2$). Comme nous l'avons indiqué en introduction, seule l'étude de Toko et al. (2021) a étudié les déficits de MP sur un échantillon de patients uniquement atteints de SEP rémittente. Toutefois, cette étude ne détaillait pas les performances aux composantes prospectives et rétrospectives. De fait, notre étude est la première à questionner les performances aux deux composantes de la MP dans la SEP rémittente, et montre qu'il n'y a pas de déficit dans la composante rétrospective, à l'instar des résultats de Rendell et al. (2007). Les déficits de la composante rétrospective dans la SEP avaient été associés à un déficit des performances en mémoire épisodique (Bravin et al., 2000). Or, dans notre étude, aucune différence significative n'est observée sur les tests évaluant la mémoire épisodique, entre le groupe SEP et le groupe Contrôle. Ces résultats sont conformes à ceux d'autres études (Migliore et al., 2018 ; Olivares et al., 2005), qui montrent que la plupart des déficits cognitifs observés dans d'autres formes de la SEP n'étaient pas forcément retrouvés dans la forme rémittente.

Une autre hypothèse pouvant expliquer l'absence de difficultés à récupérer l'intention en mémoire dans la SEP serait l'existence d'un lien fort entre l'indice et l'intention, permettant une récupération de l'intention basée sur des processus automatiques plutôt que contrôlés. C'est

notamment ce qui pouvait expliquer l'absence de déficit de récupération des intentions EB chez les patients atteints de SEP dans les études utilisant le MIST (McKeever et al., 2017 ; Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). Dans le TEMP-RV, un soin a été apporté afin de limiter le lien entre les indices et les intentions TB. Et, le fait que les patients SEP n'aient pas eu de difficultés à récupérer les intentions EB et TB montre que la composante rétrospective est attribuable à de bonnes capacités mnésiques dans la SEP rémittente, plutôt qu'à une facilitation de la récupération des intentions dû à une mauvaise construction de notre test.

Un dernier apport de cette étude concernait la validation du TEMP-RV, par la vérification de sa sensibilité dans la mesure des performances en MP. Le fait que le TEMP-RV permette d'identifier une différence significative entre des individus de la population tout venant, et des patients atteints d'une forme rémittente de la SEP est un argument en faveur de la sensibilité du TEMP-RV. Ça l'est d'autant plus que, comme nous l'avons montré, la SEP rémittente est caractérisée par des difficultés cognitives moins marquées que les autres formes de SEP. Par ailleurs, les résultats globaux sont en accord avec les postulats théoriques concernant la MP : les performances sont globalement meilleures pour les intentions EB que pour les intentions TB. De plus, l'effet plafond observé à la tâche de reconnaissance pour tous les participants confirme que le TEMP-RV ne teste pas les capacités de stockage en mémoire épisodique, mais bien les capacités de MP.

Cette étude présente malgré tout certaines limites qu'il faut prendre en compte dans l'interprétation des résultats et pour de futures recherches. Notre étude aurait pu prendre en compte des données complémentaires telles que l'*Expanded Disability Status Scale* (EDSS ; Kurtzke, 1983) et la durée de la maladie pour explorer l'effet du niveau d'évolution de la SEP sur les troubles cognitifs. En outre, un nombre d'essais plus important dans la phase d'apprentissage au TEMP-RV pourrait être envisagé, afin de ne pas exclure automatiquement des patients pouvant présenter des difficultés d'apprentissage et dont les performances en MP pourraient être intéressantes à explorer.

Conclusion

Cette étude contribue à une meilleure connaissance des déficits de la MP dans la SEP, et plus particulièrement dans la forme rémittente de la SEP. La MP est une fonction essentielle au bon fonctionnement quotidien qui nécessite d'être évaluée dans la pratique clinique auprès des patients atteints de SEP. La présence de ces déficits en MP, même dans des formes peu évoluées de la SEP, comme c'est le cas dans notre étude, sous-tend que les tests évaluant la MP peuvent servir de « détecteur » des troubles cognitifs précoces dans la SEP, et renforce encore l'intérêt

d'intégrer l'évaluation de la MP à la pratique clinique. Par ailleurs, notre étude renforce l'hypothèse d'un rôle prépondérant du déficit exécutif dans les troubles de la MP dans la SEP, avec une atteinte spécifique de la composante prospective des intentions TB dans la SEP rémittente.

Les déficits en MP, déjà documentés par plusieurs études dans la SEP toutes formes confondues, s'avèrent également présents chez les patients atteints d'une SEP rémittente, aux vues de nos résultats. Les troubles de la MP sont corrélés à des difficultés d'observance de traitement (Bruce et al., 2010), à une perte d'autonomie et à des difficultés de recherche d'emploi pour les patients SEP (Honan et al., 2015). Il est donc essentiel d'explorer les stratégies de remédiation cognitive qui pourraient améliorer les performances en MP des patients atteints d'une forme rémittente de la SEP. Dans cette optique, nous avons réalisé une troisième étude, dans laquelle nous explorons l'effet de l'imagerie mentale sur les performances en MP des patients atteints de SEP rémittente.

Chapitre 6. Impact de l'imagerie mentale visuelle sur les performances en mémoire prospective des patients atteints de SEP rémittente

Introduction

Dans la précédente étude, nous avons mis en évidence une diminution des performances en MP dans la SEP rémittente. Cette étude apporte une évaluation des capacités en MP des participants, en prenant en compte le type d'indices (EB vs TB) et les différentes composantes (prospective et rétrospective) de la MP ; et permet de préciser que les difficultés en MP dans la SEP rémittente portent spécifiquement sur la détection des indices TB. Les troubles de la MP dans la SEP font l'objet d'un intérêt grandissant dans le champ de la psychologie cognitive. Toutefois, les travaux examinant les déficits en MP dans la SEP étant relativement récents, l'exploration des stratégies de remédiation de ces déficits reste rare. A notre connaissance, seules deux études (Kardiasmenos et al., 2008 ; McKeever et al., 2017) ont exploré les effets de stratégies visant à améliorer les performances en MP des patients atteints de SEP. Dans l'étude de McKeever et al. (2017), les performances en MP des participants atteints de SEP sont améliorées grâce à la méthode de l'apprentissage sélectif. Cette méthode consiste à réaliser autant d'essais que nécessaire pour mémoriser la totalité des huit intentions en ne rappelant, à chaque essai, que les intentions qui n'avaient pas pu être rappelées lors de l'essai précédent. Le but de cette stratégie était de compenser les difficultés d'apprentissage des patients atteints de SEP, et de voir comment cela impacte leurs performances en MP. Dans l'étude de Kardiasmenos et al. (2008), les participants atteints de SEP sont invités à utiliser l'implémentation d'intentions pour renforcer le lien indice-intention, tout en se faisant une image mentale du contexte dans lequel apparaissent des indices prospectifs afin de faciliter leur détection le moment venu.

Par ailleurs, il existe de nombreux travaux qui ont testé des méthodes de remédiation efficaces visant l'amélioration des performances en MP de patients atteints d'affections neurologiques autres que la SEP, dont un certain nombre pointe les bénéfices de la stratégie d'imagerie mentale visuelle (Brewer & al., 2011 ; Cheng et al., 2021 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Mioni et al., 2015 ; Potvin et al., 2011b ; Raskin ; et al., 2018 ; Raskin et al., 2019). Comme nous l'avons décrit dans le Chapitre 3 de cette thèse, certaines de ces études incitaient les participants à se visualiser en train d'effectuer la tâche concurrente (par exemple, un questionnaire de culture générale), puis de se voir répondre à la survenue de l'indice en exécutant l'action prospective (par exemple, appuyer sur la touche « 1 » quand apparaît le mot « président ») (Grilli & McFarland, 2011). En produisant cette représentation mentale, parfois

qualifiée d'*Episodic Future Thiking* (EFT), les participants visualisent le contexte dans lequel surviendra l'indice et, selon certains auteurs, c'est cela qui facilite la détection de l'indice prospectif (Altgassen et al., 2015 ; Brewer et al., 2010 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Paraskevaides et al., 2010). Dans d'autres études, la consigne d'imagerie mentale ne porte pas sur la représentation du contexte d'apparition des indices, mais uniquement sur la représentation de l'indice et de l'intention associée. Dans ces études, les participants sont invités, durant la phase d'apprentissage, à se créer une image mentale dans laquelle sont représentées l'indice et l'intention (Ihle et al., 2018 ; Lajeunesse et al., 2022 ; Potvin et al., 2011b). L'hypothèse alors avancée pour expliquer les bénéfices de l'imagerie sur la MP dans ces études, est celle d'un renforcement du lien indice-intention. Le renforcement de ce lien indice-intention permet de faciliter la récupération de l'intention (composante rétrospective) grâce à la mémoire associative. A l'instar des théories sur l'effet des images interactives facilitant la mémorisation de paires de mots (Bower, 1970 ; Paivio, 1971), le fait d'associer l'indice et l'intention dans une même image permet de récupérer automatiquement l'intention dès lors que l'indice est détecté (Brewer et al., 2011). Le bénéfice de l'imagerie mentale a ainsi été observé sur la composante rétrospective de la MP, soit la récupération de l'intention (Cheng et al., 2021). Mais, d'autres auteurs ont relevé aussi un bénéfice de l'imagerie mentale sur la composante prospective, soit la détection des indices prospectifs (Ihle et al., 2018 ; McFarland & Glisky, 2012).

L'hypothèse explicative des bénéfices de l'imagerie mentale porterait alors plutôt sur un renforcement du lien indice-intention (Brewer et al., 2011), facilitant la détection de l'indice (composante prospective) et la récupération de l'intention (composante rétrospective) par un processus réflexif-associatif (McDaniel & Einstein, 2000). Ainsi, le simple traitement de l'indice (par exemple, être en train de dîner) va, par association, évoquer le contenu de l'intention (par exemple, prendre des médicaments), ce qui va alors permettre de reconnaître l'indice comme tel, suivi de l'exécution de l'intention.

Le fait d'élaborer une représentation mentale visuelle de l'indice et de l'action associée est une stratégie efficace de mémorisation et de récupération des intentions EB (Brewer et al., 2011 ; Cheng et al., 2021 ; Grilli & McFarland, 2011). Potvin et al. (2011b) ont aussi examiné les bénéfices d'une consigne d'imagerie sur l'apprentissage des intentions EB et TB. Pour ce qui est des intentions TB, la stratégie d'imagerie visuelle serait bénéfique uniquement pour la composante rétrospective des intentions TB. En effet, pour la composante prospective des intentions TB, les indices correspondant à un « temps » -le concept temporel étant relativement abstrait- sont plus difficiles à évoquer sous un format analogique, soit une image visuelle.

Néanmoins, Potvin et al. (2011b) ont relevé une amélioration de l'exécution d'intentions prospectives, pour les intentions EB comme TB. Les auteurs ont conçu un programme d'entraînement à l'imagerie mentale visuelle sur plusieurs semaines, durant lequel des exemples d'images mentales associant des indices et des intentions prospectives étaient présentées aux participants. Pour les intentions TB, la représentation de l'indice TB était suggérée sous forme de représentation d'un chiffre correspondant au temps défini (par exemple, le chiffre « 2 » pour une intention à réaliser au bout de 2 minutes), associé dans la même image avec une représentation de l'action associée (pour un exemple, voir figure 2, Chapitre 3, p. 67). Les résultats de Potvin et al. (2011b) ont montré que la stratégie d'imagerie visuelle déployée au cours de ce programme était efficace et facilitatrice pour la mémorisation et la récupération ultérieure d'intentions TB et EB.

Les études susmentionnées concernent des populations atteintes de diverses affections neurologiques, telles que le Mild Cognitive Impairment (MCI ; Cheng et al., 2021), ou les traumatismes crânio-encéphaliques (Grilli & McFarland, 2011 ; Potvin et al., 2011b ; Raskin et al., 2019). Ces pathologies peuvent partager des similitudes avec la SEP, concernant les troubles cognitifs qu'elles induisent. Toutefois, la SEP reste une pathologie avec ses propres spécificités. Précisément, il existe plusieurs études suggérant des difficultés à mobiliser une activité d'imagerie mentale par les personnes atteintes de la SEP (pour revue, voir Seebacher, Reindl & Kahraman, 2023). La plupart de ces études portent spécifiquement sur l'imagerie motrice (i.e. s'imaginer visuellement en train d'exécuter des mouvements). Le premier facteur pouvant expliquer des déficits de la capacité à élaborer des images motrices dans la SEP est que l'effort cognitif fournit en mémoire de travail et vitesse de traitement pour maintenir et manipuler la représentation de son propre corps s'avère trop coûteux pour les patients atteints de SEP (Seebacher et al., 2023). En second facteur d'influence des capacités d'imagerie chez les patients atteints de SEP, Seebacher et al. (2023) identifient le niveau de handicap moteur, en avançant que l'atteinte des aires cérébrales impliquées dans le contrôle sensorimoteur entraîne d'emblée une atteinte de l'imagerie motrice, puisque l'imagerie motrice mobilise les mêmes aires cérébrales que durant l'activité motrice réelle.

Pour ce qui concerne le rôle des images mentales sur la mémoire, Canellopoulou et Richardson (1998) ont exploré les facteurs qui affectent les capacités d'imagerie mentale visuelle des patients atteints de SEP. Ils ont montré que les faibles capacités d'imagerie mentale des patients SEP relèvent pour l'essentiel de difficultés exécutives. Dans leur étude, les patients atteints de SEP présentaient une amélioration de leurs performances sur des tâches de mémoire épisodique lorsqu'à l'apprentissage ils avaient reçu une consigne d'imagerie visuelle leur

demandant de visualiser des paires d'objets dans une image interactive. Toutefois, ces bénéfices étaient significativement plus importants lorsque le contenu de l'image était guidé par l'expérimentateur. Les auteurs en concluent que les capacités d'imagerie visuelle des patients SEP sont efficaces. L'imagerie mentale visuelle peut donc être utilisée comme stratégie d'apprentissage par les patients atteints de SEP. Toutefois, si le contenu de l'image est trop complexe ou trop riche en détails, l'élaboration et le maintien de l'image en mémoire de travail peut requérir davantage de ressources attentionnelles et ainsi réduire les bénéfices de la stratégie d'imagerie visuelle sur l'apprentissage verbal.

1. Objectifs et hypothèses

Le rôle de l'imagerie mentale visuelle sur la MP n'a pas encore été examiné auprès des personnes souffrant de la SEP. Toutefois, les études antérieures menées auprès d'autres populations cliniques, attestant de l'effet facilitateur de la stratégie d'imagerie visuelle sur l'apprentissage verbal, nous ont conduites à faire l'hypothèse générale d'une amélioration de l'apprentissage et de la récupération d'intentions prospectives chez les participants atteints de la SEP, au même titre que les bénéfices de l'imagerie mentale visuelle ne sont plus à démontrer dans l'apprentissage d'un matériel verbal concret chez des participants contrôles. Nous prenons également en compte les particularités attenantes à la SEP concernant les capacités d'imagerie mentale (pour revue, voir Seebacher et al., 2023), et évaluons donc les capacités d'imagerie mentale des participants atteints de SEP, ainsi que leurs capacités sensorimotrices et exécutives. La présente étude visait à évaluer l'effet facilitateur de la stratégie d'imagerie visuelle sur l'apprentissage d'intentions prospectives des patients atteints de la SEP rémittente. Sur la base des données empiriques déjà existantes, nos hypothèses opérationnelles étaient les suivantes :

- H1 : Nous nous attendons à observer une amélioration significative des performances en MP de l'ensemble des participants, entre la condition « sans consigne d'imagerie » et la condition « avec consigne d'imagerie », pour les intentions EB et TB. Nous nous attendons à observer un effet d'interaction entre le groupe et la condition, avec un bénéfice de l'imagerie significativement plus important pour les participants atteints de SEP.
- H2 : Nous nous attendons à observer une amélioration significative des performances en MP de l'ensemble des participants, entre la condition « sans consigne d'imagerie » et la condition « avec consigne d'imagerie » à la fois sur la composante prospective

(phase de détection des indices) et sur la composante rétrospective (phase de récupération des intentions).

2. Méthode

2.1. Participants

Les mêmes participants atteints de SEP ($n = 22$) et contrôles ($n = 27$) qui ont participé à l'étude précédente (étude 2, chapitre 5, p. 97) ont été de nouveau contactés 6 mois après la passation de l'étude 2, pour participer à cette étude 3. Le délai de 6 mois permettait de s'assurer qu'il n'y ait pas d'effet test-re-test au TEMP-RV. Cette seconde phase, financée, dans le cadre d'un AAP régional (Amorçage 2022, MSH Nantes, responsables scientifiques : Frédérique Robin et Thibault Deschamps) a permis de gratifier chaque participant d'une carte cadeau multi-enseignes d'une valeur de 15 euros. Parmi les participants de l'étude 2 (phase 1), 3 participants atteints de SEP et 3 participants contrôle n'ont pas pu se rendre disponibles pour cette seconde phase. Par ailleurs, 1 participant du groupe SEP n'est pas parvenu à mémoriser les 15 intentions du test de MP, même au bout de trois rappels indicés. Les données ont été recueillies pour 18 participants du groupe SEP et 24 participants du groupe contrôle. Les participants du groupe SEP étaient âgés de 29 à 55 ans ($M = 43.7$, $SD = 8.2$; 17 femmes [94%] ; Niveau d'étude $M = 14.5$ ans, $SD = 2.7$) et ceux du groupe témoin de 20 à 59 ans ($M = 42.5$, $SD = 12.26$; 19 femmes [79%] ; Niveau d'étude $M = 15.2$ ans, $SD = 2.3$). Cette étude a été validée par le comité d'éthique de Nantes Université (CERNI - avis n°16102020).

2.2. Matériel

Tâche expérimentale : le TEMP-RV avec consigne d'imagerie mentale

Deux conditions d'apprentissage ont été comparées : une condition « contrôle » (étude 2, p. 98) où les participants réalisaient le TEMP-RV sans consigne d'imagerie visuelle et une condition « Image » où les mêmes participants réalisaient le TEMP-RV avec une consigne d'imagerie.

Une phase d'entraînement avec deux intentions (une intention EB, et une intention TB) était réalisée pour s'assurer que la consigne d'imagerie mentale était bien comprise. Comme dans la condition « contrôle », l'indice prospectif (la photo du magasin Ikea) était présenté sur un PowerPoint, suivi de l'intention prospective associée (acheter un matelas). Au lieu de simplement regarder les informations présentées sur le PowerPoint, en faisant un effort de

mémorisation, le participant recevait cette fois la consigne suivante : « *Lorsque que je présenterai l'indice et l'action sur le power point, vous fermerez les yeux et vous essaierez de vous faire une image mentale précise dans laquelle l'indice et l'action sont représentés. L'important est de bien visualiser comment l'indice et l'action sont associés dans votre image, de voir comment ils interagissent ensemble. Vous devrez visualiser tous les détails physiques de l'indice et vous voir en train de réaliser l'action associée à cet indice. Cette image va vous permettre de vous souvenir de ce que vous devez faire au bon moment. Vous aurez seulement 15 secondes pour faire votre image mentale lorsque je vous présenterai l'indice et l'action associée. Je vous présenterai les indices et les actions une seule fois et vous devrez visualiser mentalement l'indice et vous imaginer en train de réaliser l'action, comme si c'était le bon moment. N'oubliez pas que votre image doit être précise et détaillée ; vous devez visualiser l'indice et l'action dans la même image.* » A l'issue de cet entraînement, l'expérimentatrice demandait au participant de décrire précisément l'image mentale qu'il s'était créée au moment d'encoder l'intention EB et l'intention TB, afin de s'assurer que la consigne avait bien été comprise. Si le participant décrivait une image mentale incomplète (par exemple, visualiser l'action à exécuter mais pas l'indice associé), l'expérimentatrice lui rappelait l'importance de créer une image mentale contenant à la fois l'indice et l'action à exécuter.

Le participant passait ensuite à la phase d'encodage des 15 intentions du TEMP-RV. Il avait un intervalle de 15 secondes entre chaque intention pour lui permettre d'élaborer une image visuelle de l'intention à mémoriser. Une phase de rappel indicé était ensuite effectuée, pour s'assurer que les 15 intentions étaient bien mémorisées. Puis, après un délai de 15 minutes durant lequel les tests sensorimoteurs étaient réalisés, il commençait la phase de test dans la ville virtuelle.

Pour rappel, le TEMP-RV existe en deux versions : une version A « *préparer un départ en vacances* » et une version B « *préparer un dîner d'anniversaire* ». L'ordre de passation des versions a été contrebalancé entre les participants. Ainsi, un participant qui a réalisé la tâche de MP avec la version A dans la condition « Contrôle » (étude 2, chapitre 5, p. 98) réalisait la version B dans la condition « Image », et inversement. Cette procédure permettait ainsi d'éviter un effet test/re-test entre les deux études.

Questionnaire d'imagerie : le MIQ-3f

Afin d'évaluer les capacités individuelles d'imagerie visuo-motrice et d'imagerie kinesthésique, les participants complétaient le *Movement Imagery Questionnaire* (MIQ-3f ;

Robin, Coudevylle, Guillot & Toussaint, 2020). Ce questionnaire comprend 12 descriptions de mouvements, lues par l'expérimentateur, que le participant doit dans un premier temps exécuter puis dans un deuxième temps imaginer. Par exemple : « *Élevez latéralement le bras de votre main non-dominante afin qu'il soit parallèle au sol, la paume vers le bas. Action : Déplacez votre bras parallèlement au sol jusqu'à ce qu'il soit directement devant vous.* »). Le participant a pour consigne, selon les conditions, soit : (1) d'imaginer une autre personne en train d'exécuter le mouvement (imagerie visuo-motrice externe), ou bien (2) de s'imaginer soi-même en train d'effectuer le mouvement (imagerie visuo-motrice interne), ou (3) imaginer les sensations musculaires et articulaires qui accompagnent le mouvement (imagerie kinesthésique). Une fois l'activité d'imagerie réalisée, le participant estime la facilité avec laquelle il s'est formée l'image mentale pour chaque mouvement, en utilisant une échelle de Lickert allant de 1 (« très difficile à visualiser ») à 7 (« très facile à visualiser »). Un score moyen allant de 1 à 7 était obtenu pour chacune de ces trois conditions. Le MIQ-3f (version française du MIQ-3, Robin, Coudevylle, Guillot & Toussaint, 2020) présente une excellente cohérence interne pour chacune des trois dimensions : imagerie visuo-motrice externe (IVE), imagerie visuo-motrice interne (IVI) et imagerie kinesthésique (IK) ($\alpha = .88$, $\alpha = .92$, $\alpha = .92$) et une bonne fiabilité test-re-test pour chacune des trois dimensions IVE, IVI et IK ($p = .20$; $p = .23$; $p = .43$).

Evaluation neuropsychologique

Afin d'évaluer les effets des capacités exécutives et de vitesse de traitement de l'information sur les capacités d'imagerie mentale des participants, nous avons utilisé les scores aux tests neuropsychologiques recueillis dans l'étude 2 :

- Le subtest "codes" de la WAIS-R (Wechsler, 1981), qui évalue la vitesse de traitement de l'information.
- Le test de fluences verbales catégorielles et lexicales (Lezak et al., 2012), qui évalue la flexibilité mentale.
- Le PASAT 3sc et PASAT 2sc (Gronwall, 1977), qui évalue les capacités attentionnelles et la mémoire de travail.
- La tâche des ordres contraires qui évalue la flexibilité mentale (Dubois et al., 2000).
- La tâche "go no go" qui évalue l'inhibition (Dubois et al., 2000).

- Le subtest des empanns envers et endroit de la WAIS-R (Wechsler, 1981), qui évalue la mémoire de travail.

Les consignes pour ces tests ainsi que leur cotation sont détaillées dans l'annexe 2 (p. xv).

Evaluation des capacités sensorimotrices

Afin d'évaluer les effets des déficits sensorimoteurs sur les capacités d'imagerie mentale des participants, les capacités sensorimotrices ont été évaluées à l'aide des tests suivants - extraits de la *Multiple Sclerosis Functional Composite* (MSFC ; Fischer, Rudick, Cutter & Reingold, 1999) :

- Le *9 Hole Peg Test* (9-HPT ; Kellor, Frost, Silberberg, Iversen, & Cummings, 1971) a été utilisé pour évaluer la dextérité manuelle. Ce test nécessite une planche comprenant neuf trous et un réceptacle, dans lequel se trouvent neuf bâtonnets que le participant doit placer successivement dans chaque trou, à l'aide d'une seule main, le plus vite possible. L'évaluation au 9-HPT se réalise avec deux sous-scores (main dominante et main non-dominante) correspondant au temps en secondes qu'il a fallu au participant pour placer les neufs bâtonnets, puis les enlever pour les remettre dans le réceptacle. Les scores se situent généralement autour de 20 secondes.

- Le *Timed 25-Foot Walk Test* (T25FW) a été utilisé pour évaluer la vitesse de marche. Ce test nécessite deux morceaux de ruban adhésif de marquage à positionner au sol, à une distance de 25 pieds (soit 7.62 mètres) l'un de l'autre, ainsi qu'un chronomètre pour mesurer le temps mis par le participant pour marcher sur cette distance. Le score au T25FW correspond au temps moyen en secondes qu'il a fallu au participant pour parcourir en marchant la distance entre les deux rubans adhésifs (temps moyen sur deux essais). Les scores varient généralement entre 2 et 4 secondes.

En complément de ces tests issus du MSFC, l'échelle modifiée d'Ashworth (Ashworth et al., 1964 ; Bohannon, 1987) a été utilisée pour évaluer le niveau de spasticité lors de la mobilisation passive des membres supérieurs et membres inférieurs, sur une échelle allant de 0 (pas d'hypertonie) à 5 (hypertonie majeure, mouvement passif impossible).

2.3. Procédure

Les passations ont eu lieu dans la salle expérimentale dédiée du laboratoire LPPL de Nantes Université. L'expérimentation se déroulait en une session d'environ 1 heure. Après la signature du formulaire de consentement, la session expérimentale débutait par un rappel des consignes

du TEMP-RV (voir chapitre 5). Le participant se voyait indiquer que la procédure était identique à celle de la première étude (condition contrôle) à laquelle il avait participé 6 mois plus tôt, mais que le contenu des intentions à mémoriser serait différent de la dernière fois (s'il avait réalisé la version A la première fois, il réalisait maintenant la version B, ou inversement). Il lui était également indiqué qu'une consigne supplémentaire lui serait donnée pour améliorer ses performances en MP : condition « Imagerie ». Après la présentation de la consigne d'imagerie, le participant effectuait la tâche de MP du TEMP-RV.

A la fin de la tâche de MP, la qualité de l'activité d'imagerie mentale mobilisée durant la passation du TEMP-RV par les participants était estimée. Les participants devaient évaluer la vivacité des images mentales créées, sur une échelle allant de 1 (« vagues et imprécises ») à 4 (« parfaitement nettes, aussi précises et vivaces qu'une véritable perception »). Ils évaluaient également la fréquence à laquelle ils avaient utilisé la stratégie d'imagerie durant la phase de test, sur une échelle allant de 1 (jamais) à 4 (tout le temps). Enfin, le questionnaire d'évaluation des capacités d'imagerie MIQ-3f était complété, avec l'expérimentatrice.

3. Résultats

L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Jasp version 0.15.0.0, avec un seuil de significativité fixé à $p \leq 0.05$. Puisque la distribution de certains sous-scores du TEMP-RV ne suivait pas la loi normale (test de Shapiro-Wilk : $p > .05$), des tests statistiques non paramétriques ont été utilisés pour les comparaisons entre les groupes sur ces sous-scores (test U de Mann-Whitney).

3.1. Caractéristiques de l'échantillon

Les caractéristiques démographiques des groupes SEP et Contrôle sont détaillées dans le tableau 1. Les caractéristiques démographiques des groupes SEP et Contrôle ont été comparées à l'aide du test non paramétriques U de Mann-Whitney (âge et niveau d'éducation), et d'un test du χ^2 (répartition Homme/Femme dans chaque groupe). Les analyses indiquent que les deux groupes sont appariés en ce qui concerne l'âge ($U = 219$, $p = .949$, $d = .014$), le niveau d'étude ($U = 949$, $p = .192$, $d = .192$) et le sexe-ratio ($\chi^2 = 1.961$, $p = .161$).

Tableau 1

Moyenne (et écart-type) d'âge et de niveau socio-culturel (NSC en nombre d'années d'études) et proportion Femme/Homme des groupes Contrôle et SEP

	Contrôle	SEP
Age	42.5 (12.26)	43.7 (8.24)
NSC	15.17 (2.32)	14.56 (2.68)
Sexe ratio (Femmes/Hommes)	17/1	19/5

3.2. Performances au TEMP-RV

Une analyse de variance mixte 2x2x2 a été conduite, avec le groupe comme facteur inter-sujets (SEP vs. Témoins) ; la condition (contrôle vs imagerie) et le type d'indice (EB vs TB) comme facteurs intra-sujets. Les VD étaient les suivantes :

- VD1 : le pourcentage de réussite à la phase d'apprentissage des 15 intentions (10 EB et 5 TB) du TEMP-RV
- VD2 : le pourcentage de réussite à la phase de détection des 15 indices (10 EB et 5 TB) du TEMP-RV
- VD3 : le pourcentage de réussite à la phase de récupération des 15 intentions (10 EB et 5 TB) du TEMP-RV
- VD4 : le pourcentage de réussite à la phase de reconnaissance des 15 intentions (10 EB et 5 TB) du TEMP-RV
- VD5 : le score total brut au TEMP-RV, composé des scores d'apprentissage (/15), de détection (/15), de récupération (/15), et de reconnaissance (/15). Ce score total est sur 60 points.

Les scores bruts aux différentes phases du TEMP-RV ont été convertis en pourcentages de réponses correctes, afin de pouvoir comparer équitablement les résultats entre les scores TB (/5) et EB (/10). Seul le score total au TEMP-RV est conservé tel quel. Les performances moyennes du groupe SEP et du groupe Contrôle aux différentes phases du TEMP-RV, dans la condition sans imagerie et avec imagerie, sont détaillées dans le tableau 2.

Tableau 2

Pourcentage de réussite (et écart-types) aux phases du TEMP-RV du groupe SEP vs. groupe Témoins, en condition contrôle vs. imagerie

	Témoins		SEP	
	Contrôle	Imagerie	Contrôle	Imagerie
Apprentissage EB	91.2 (6.43)	92.3 (6.12)	85.7 (7.16)	89.9 (5.72)
Apprentissage TB	74.1 (14.11)	78.5 (11.63)	64.7 (14.10)	72.4 (11.93)
Détection EB	89.6 (10.83)	93.3 (10.07)	87.8 (12.15)	90.0 (9.07)
Détection TB	87.5 (16.48)	85 (19.78)	65.5 (22.5)	75.5 (22.29)
Récupération EB	92.1 (8.06)	93.1 (9.5)	85.5 (10.97)	90.8 (9.27)
Récupération TB	85.4 (18.64)	91.7 (10.90)	81.1 (16.05)	86.1 (13.78)
Reconnaissance	98.3 (4.92)	100 (0.00)	97.8 (3.96)	99.26 (2.16)

3.2.1. Phase d'apprentissage

Une ANOVA à mesures répétées avec le Groupe (Témoins vs SEP) comme facteur inter-sujet et la Condition (imagerie vs contrôle) ainsi que le type d'indices (EB vs TB) comme facteurs intra-sujets a été conduite. L'ANOVA montre un effet significatif du groupe, $F(1,40) = 6.706$, $p = 0.013$, $\eta^2_p = 0.045$. Les patients SEP ont globalement des performances à la phase d'apprentissage significativement inférieures aux participants témoins. On relève également un effet significatif de la Condition sur les performances au score d'apprentissage, $F(1,40) = 11.605$, $p = 0.002$, $\eta^2_p = 0.024$. Les performances à la phase d'apprentissage sont significativement meilleures dans la condition avec imagerie que dans la condition contrôle. Il y a, enfin, un effet significatif du type d'indices, $F(1,40) = 126.574$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.391$. L'apprentissage des intentions EB est significativement mieux réussi que l'apprentissage des intentions TB.

Il n'y a aucun effet d'interaction, que ce soit pour la Condition*Groupe ($p = .209$) ; l'Indice*Groupe ($p = .231$) ; la Condition*Indice ($p = .096$) ; et la Condition*Indice*Groupe ($p = .952$).

3.2.2. Phase de détection

Une ANOVA à mesure répétées avec le Groupe (Témoins vs SEP) comme facteur inter-sujet et la Condition (imagerie vs contrôle) ainsi que le type d'Indice (EB vs TB) comme

facteurs intra-sujets a été conduite. L'ANOVA montre un effet significatif du groupe, $F(1,40) = 10.727$, $p = 0.002$, $n^2_p = 0.064$. Les participants atteints de SEP ont des performances à la phase de détection significativement inférieures aux participants Contrôle. On n'observe en revanche pas d'effet significatif de la Condition sur les performances à la phase de détection des indices prospectifs, $F(1,40) = 2.689$, $p = 0.109$, $n^2_p = 0.009$. Enfin, l'effet du type d'Indice est significatif, $F(1,40) = 20.315$, $p < 0.001$, $n^2_p = 0.107$. La détection des indices EB est significativement mieux réussie que la détection des indices TB.

Il n'y a pas d'interaction significative pour la Condition*Groupe ($p = .189$), la Condition*Indice ($p = .880$) et la Condition*Indice*Groupe ($p = .169$). En revanche l'interaction Indice*Groupe est significative, $F(1,40) = 6.315$, $p = 0.016$, $n^2_p = 0.033$. Les tests post-hoc de Bonferroni indiquent que la différence entre les deux groupe n'est pas significative pour la détection des indices EB ($t(40) = 0.673$, $p = 0.983$, $rb = 0.160$), mais qu'elle est significative pour la détection des indices TB ($t(40) = 4.108$, $p < 0.001$, $rb = 0.977$).

3.2.3. Phase de récupération

Une ANOVA à mesure répétées avec le Groupe (Témoins vs SEP) comme facteur inter-sujet et la Condition (imagerie vs contrôle) ainsi que le type d'Indice (EB vs TB) comme facteurs intra-sujets a été conduite. L'ANOVA ne montre pas d'effet significatif du groupe, $F(1,40) = 3.371$, $p = 0.074$, $n^2_p = 0.032$. Les patients SEP n'ont pas plus de difficultés que les participants Contrôle pour la récupération des intentions. On observe un effet significatif de la Condition sur les performances à la phase de récupération, $F(1,40) = 6.327$, $p = 0.016$, $n^2_p = 0.028$. Enfin, l'effet du type d'Indice est significatif, $F(1,40) = 5.629$, $p = 0.023$, $n^2_p = 0.027$. La récupération des intentions EB est significativement mieux réussie que la récupération des intentions TB.

Il n'y a aucun effet d'interaction, que ce soit pour la Condition*Groupe ($p = .671$) ; l'Indice*Groupe ($p = .887$) ; la Condition*Indice ($p = .450$) ; et la Condition*Indice*Groupe ($p = .401$).

3.2.4. Phase de reconnaissance

Une ANOVA à mesure répétées avec le Groupe (Témoins vs SEP) comme facteur inter-sujet et la Condition (imagerie vs contrôle) comme facteur intra-sujets a été conduite. L'ANOVA ne montre pas d'effet significatif du Groupe, $F(1,40) = 0.822$, $p = 0.370$, $n^2_p = 0.009$. On observe un effet significatif de la Condition, $F(1,40) = 4.246$, $p = 0.046$, $n^2_p = 0.053$. Les performances à la phase de reconnaissance sont significativement meilleures dans la

Condition avec imagerie que dans la condition contrôle. Il n'y a pas d'effet d'interaction Condition*Groupe significatif ($p = .904$).

3.2.5. Score total au TEMP-RV

Une ANOVA à mesure répétées avec le Groupe (Témoins vs SEP) comme facteur inter-sujet et la Condition (imagerie vs contrôle) comme facteur intra-sujets a été conduite. L'ANOVA montre un effet significatif du groupe, $F(1,40) = 8.799$, $p = 0.005$, $\eta^2_p = 0.115$. Les patients SEP ont des performances significativement inférieures à celles des participants témoins au score total du TEMP-RV. On observe également un effet significatif de la Condition, $F(1,40) = 10.480$, $p = 0.002$, $\eta^2_p = 0.073$. Les performances au score total du TEMP-RV sont significativement meilleures dans la condition avec imagerie que dans la condition contrôle. Il n'y a pas d'effet d'interaction Condition*Groupe significatif ($p = .904$).

3.3. Capacités d'imagerie mentale du groupe SEP vs groupe Contrôle

Les scores moyens du groupe SEP et du groupe témoins aux trois sous-scores du MIQ-3f, ainsi que les scores moyens à l'auto-évaluation de la fréquence de mobilisation et de la vivacité des images mentales mobilisées durant le TEMP-RV en Condition avec imagerie, sont détaillés dans le tableau 3.

En raison de l'absence de normalité des données, un test non paramétrique de Mann-Whitney a été réalisé pour comparer les capacités d'imagerie mentale entre les deux groupes. Les variables dépendantes correspondaient aux moyennes sur une échelle allant de 1 à 7, des trois sous-scores du MIQ-3f : Imagerie Visuelle Externe (IVE) ; Imagerie Visuelle Interne (IVI) ; Imagerie Kinesthésique (IK) ; ainsi qu'aux moyennes sur une échelle allant de 1 à 7 des deux mesures auto-évaluées de l'utilisation des images mentales pendant le TEMP-RV : fréquence d'utilisation des images mentales, et vivacités des images mentales. Les résultats des analyses ne montrent pas de différence significative entre les deux groupes pour l'IVE ($U = 214.0$, $p = .969$, $r_b = -.039$) ; ni pour l'IVI ($U = 233.0$, $p = .673$, $r_b = .079$) ; ni pour l'IK ($U = 207.5$, $p = .838$, $r_b = -.009$) ; ni pour la fréquence des images ($U = 202.0$, $p = .710$, $r_b = -.065$) ; ni pour la vivacité des images ($U = 238.0$, $p = .529$, $r_b = .102$).

Tableau 3

Scores moyens (et écart-type) aux trois sous-scores du MIQ-3f

	Contrôle	SEP
IVE	5.7 (1.23)	5.7 (1.41)
IVI	5.8 (0.85)	5.6 (0.99)
IK	5.3 (1.29)	5.3 (1.65)
Fréquence images	2.2 (0.64)	2.3 (1.03)
Vivacité images	2.9 (0.72)	2.8 (0.73)

IVE : Imagerie Visuelle Externe ; IVI : Imagerie Visuelle Interne ; IK : Imagerie Kinesthésique

Concernant les caractéristiques sensorimotrices, un test non paramétrique de Mann-Whitney a été conduit pour comparer les performances des deux groupes aux mesures de vitesse de marche (T25FW), et de dextérité manuelle de la main dominante (9HPT-D) et non-dominante (9HPT-ND). La comparaison n'a en revanche pas pu être conduite pour les mesures de spasticité (échelle d'Ashworth) car la variance de cette mesure était nulle pour le groupe contrôle. Au sein du groupe SEP, 60% des participants présentaient une absence de spasticité ; 29% présentaient une hypertonie légère ou moyenne (score Ashworth de 1 ou 2) ; 11% présentaient une hypertonie forte, caractérisée par des mouvements passifs difficiles (score Ashworth de 3 ou 4).

Les analyses statistiques montrent une différence significative entre le groupe SEP et le groupe Contrôle aux mesures de vitesse de marche (T25FW) ; $U = 107.5$, $p = .006$, $r_b = -.502$ et de dextérité manuelle de la main non-dominante (9HPT-ND) ; $U = 84.0$, $p < .001$, $r_b = -.611$. En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes pour la dextérité manuelle de la main dominante (9HPT-D) ; $U = 145.5$, $p = .075$, $r_b = -.326$. Concernant les capacités cognitives, un test de t de Student a été conduit pour comparer les performances des deux groupes aux tests : "codes" ; fluences verbales catégorielles et lexicales ; PASAT 3sc et PASAT 2sc ; ordres contraires ; "go no go" ; mémoire des chiffres endroit et inversé. Seules les performances au test de Mémoire des Chiffres Inversé (MCI) présentaient une différence significative entre les deux groupes ; $t(40) = 2.57$, $p = 0.014$, $d = 0.333$. Les scores bruts aux tests cognitifs ont été convertis en scores résiduels. L'ensemble des valeurs descriptives et statistiques sont présentées dans le Tableau 4 (p. 130).

Les analyses montrent bien un déficit sensorimoteur et un déficit en mémoire de travail dans la SEP. Cependant, puisqu'il n'y a pas de différences significatives entre le groupe SEP et le

groupe Contrôle concernant les mesures d'imagerie mentale, les analyses visant à explorer l'impact des déficits sensorimoteurs et cognitifs sur de potentiels déficits des capacités d'imagerie mentale dans la SEP ont été abandonnées.

Tableau 4

Comparaison des scores moyens (et écart-types) du groupe SEP vs groupe Contrôle aux tests sensorimoteurs et cognitifs

	Contrôle	SEP	T	Df	p value	d de Cohen
T25FW	3.63 (0.70)	4.30 (0.72)	107.5*		0.006	-0.502
9HPT-D	19.36 (2.38)	22.03 (4.83)	145.5*		0.075	-0.326
9HPT-ND	19.71 (1.79)	23.09 (4.50)	84.0 *		< .001	-0.611
Codes	-5.55 (9.94)	-6.52 (12.89)	0.27	40	0.785	0.312
Fluences catégorielles	0.62 (4.87)	-1.53 (6.76)	1.20	40	0.238	0.316
Fluences lexicales	-1.05 (4.63)	-1.28 (4.96)	0.16	40	0.876	0.312
PASAT 3sc	-1.51 (7.63)	-5.39 (10.75)	1.37	40	0.427	0.318
PASAT 2sc	-4.07 (7.87)	-6.52 (9.83)	0.90	40	0.279	0.314
Ordre contraire	-1.04 (1.30)	-1.00 (1.57)	-0.09	40	0.926	0.312
Go no Go	0.46 (0.71)	-0.07 (0.99)	289.5*		0.062	0.340
MCE	-0.66 (1.80)	-1.67 (1.83)	1.78	40	0.083	0.322
MCI	-0.26 (1.85)	-1.73 (1.82)	2.57	40	0.014	0.333

Note : Les valeurs en gras correspondent aux tests présentant un résultat significatif ($p < .05$). Les valeurs marquées d'un * correspondent aux résultats du test non paramétrique *U* de Mann Whitney

PASAT = Paced Auditory Serial Attention Test ; MCE = Mémoire des Chiffres Endroit ; MCI, Mémoire des Chiffres Inverse

4. Discussion

Cette étude est, à notre connaissance, la première qui examine l'effet d'une stratégie d'imagerie mentale visuelle sur l'amélioration du fonctionnement de la MP de personnes atteintes de la SEP (pour revue de la remédiation de la MP dans la SEP, voir Rouleau et al., 2020). En accord avec notre hypothèse H1, nos résultats montrent que l'imagerie mentale visuelle permet d'améliorer significativement les performances en MP des patients SEP. Par ailleurs, l'absence d'effet d'interaction entre la Condition et le type d'Indice à chaque phase du TEMP-RV confirme que cet effet bénéfique de l'imagerie existe pour les intentions EB comme pour les intentions TB. Nos résultats ne permettent en revanche pas de valider notre hypothèse

H2, puisque nous n’observons pas d’effet de l’imagerie mentale sur la phase de détection des indices prospectifs (composante prospective). L’effet bénéfique de l’imagerie est en revanche bien observé sur la phase de récupération des intentions (composante rétrospective). Enfin, nous avons pris en compte la possibilité d’un déficit des capacités d’imagerie mentale dans la SEP qui seraient en partie prédits par les difficultés sensorimotrices et cognitives des patients SEP. En l’absence de différence significative entre le groupe Contrôle et le groupe SEP au questionnaire d’imagerie mentale, et en l’absence d’effet d’interaction significatif entre la Condition et le Groupe, nous n’avons pas de résultats appuyant la possibilité d’un déficit des capacités d’imagerie mentale chez les patients atteints de SEP ayant participé à notre étude.

L’absence d’effet d’interaction entre le Groupe (témoins vs SEP) et la Condition (sans imagerie vs contrôle) nous indique que les participants des deux groupes ont bénéficié d’une amélioration de leurs performances en MP avec la consigne d’imagerie mentale visuelle. Ces résultats concordent avec les résultats d’autres études, qui observent également une amélioration des performances en MP de leur groupe Contrôle (Cheng et al., 2021 ; Paraskevaides et al., 2010). Par ailleurs, une partie des études ayant testé les bénéfices de l’imagerie mentale sur la MP ne comprennent pas de groupe Contrôle, comparant seulement les performances d’un groupe de patients avant et après (ou avec et sans) un programme d’entraînement à l’imagerie mentale (Ihle et al., 2018 ; Matthews et al., 2016 ; Potvin et al., 2011b). Notre étude, à l’instar d’autres, montre que l’imagerie mentale est une stratégie d’amélioration de la MP qui peut tout à fait bénéficier à la population tout venant.

Le fait que l’imagerie mentale visuelle n’ait pas permis d’améliorer les performances des patients SEP sur la composante prospective de la MP va à l’encontre des résultats de certaines études sur l’utilisation de l’imagerie mentale dans la remédiation de la MP. Toutefois, comme nous l’avons précisé en introduction, plusieurs de ces études proposaient à leurs participants une consigne d’imagerie qui axait l’activité d’imagerie mentale sur la représentation du contexte dans lequel surviendrait l’indice prospectif, facilitant alors sa détection (composante prospective) (Altgassen et al., 2015 ; Brewer & Marsh, 2010 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Paraskevaides et al., 2010). Dans notre étude, la consigne d’imagerie se focalisait sur la création d’une image interactive, dans laquelle apparaissaient ensemble l’indice et l’intention prospective. Cette stratégie ne met pas l’accent sur le contexte d’apparition de l’indice prospectif, mais elle a pourtant déjà permis d’améliorer la composante prospective de la MP (Ihle et al., 2018). Par ailleurs, dans leur étude, Potvin et al. (2011b) posent l’hypothèse suivante concernant un bénéfice de l’imagerie à la fois sur la composante prospective et la composante

rétrospective de la MP : ce bénéfice serait dû au processus *reflexive-associative* qui permettrait, dès lors que l'indice est traité perceptivement, d'activer l'intention associée en mémoire, ce qui, réflexivement, permettrait de détecter l'indice comme tel. Par ce processus *reflexive-associative*, l'indice prospectif est, en quelques sortes, rendu plus saillant et donc plus facile à détecter. Il est important de noter toutefois que Potvin et al. (2011b) ont mené leurs analyses statistiques sur des scores globaux, associant les performances aux deux composantes sans les distinguer.

Il est également important de noter que les études ayant montré un bénéfice des images mentales interactives sur la composante prospective de la MP sont des études dans lesquelles les participants n'ont pas seulement reçu pour consigne de se créer une image mentale intégrant chaque indice et intention, mais ont bien bénéficié d'un programme entier d'entraînement à cette stratégie d'imagerie mentale (Ihle et al., 2018). Dans notre étude, nous avons pu constater lors des échanges avec les participants en fin de session concernant l'utilisation de leurs images visuelles, que le contenu des images mentales était centré sur l'intention à réaliser plutôt que sur l'indice prospectif. Plus précisément, de nombreux participants rapportaient avoir visualisé très succinctement la devanture du magasin pour les intentions EB, pour ensuite se représenter plus longuement en train d'exécuter l'intention prospective. Le peu d'attention porté à l'encodage des caractéristiques visuelles de l'indice prospectif sous un format imagé peut expliquer l'absence d'effet de l'imagerie mentale visuelle sur la détection des indices prospectifs. La création d'images mentales complexes et riches en détails, comme c'est le cas des images interactives, est un processus cognitif coûteux, qui mobilise à la fois la mémoire de travail, la mémoire à long terme, les capacités visuo-spatiales, etc. (Denis, 1989). Il est tout à fait possible que l'absence de bénéfice de l'imagerie mentale sur la composante prospective dans notre étude, soit dû à une difficulté à produire ces images mentales interactives par nos participants, du fait du manque d'entraînement à cet exercice cognitif complexe.

Les participants à notre étude ont malgré tout réussi à produire des images mentales lors de l'encodage des intentions, et nous avons observé l'effet bénéfique classique de l'imagerie dans la mémoire épisodique. En effet, la consigne d'imagerie mentale a permis d'améliorer les performances de tous les participants dans la phase d'apprentissage, la phase de récupération, et la phase de reconnaissance du TEMP-RV. Lors de la phase d'apprentissage, les participants se sont vus d'abord présenter les indices prospectifs et les intentions associées sur un Power Point, suivi d'une tâche de rappel indicé des intentions prospectives (l'indication correspondant à la présentation des indices prospectifs sur un Power Point). Lors de l'encodage, les indices

étaient présentés sous forme d'image (i.e. photo de devanture de magasin, ou temps inscrit en vert comme sur le *timer*), et les intentions étaient présentées sous formes de phrases écrites. A chaque *slide* du Power Point, les participants bénéficiaient de 15 secondes pour encoder l'information. Dans la condition contrôle (sans consigne d'imagerie), les participants regardaient seulement l'indice présenté sous forme de photo et lisaient la phrase correspondant à l'intention pendant 15 secondes. Dans cette condition, les participants avaient la possibilité d'effectuer un double codage verbal + imagé des indices prospectifs (car présentés sous format figuratif), mais effectuaient un codage uniquement verbal pour l'intention associée. A l'inverse, dans la condition avec imagerie, les participants avaient la même possibilité d'effectuer un double codage verbal + imagé pour l'indice, mais, grâce à la consigne d'imagerie, ils effectuaient aussi un double codage verbal + imagé pour l'intention associée. Lors de la récupération des intentions prospectives, que ce soit lors de la phase d'apprentissage, lors de la phase de récupération dans la tâche de MP, ou lors de la tâche de reconnaissance, ce double codage a pu faciliter la récupération des intentions en renforçant la trace mnésique de l'intention (Paivio, 1971 ; 1986 ; 2007). Ce constat rejoint notamment les résultats de Chiaravalloti et al. (2005) qui ont exploré l'effet d'une technique de remédiation mnésique, associant la contextualisation et l'imagerie mentale visuelle, sur les capacités d'apprentissage des patients SEP. Leurs résultats ont montré un bénéfice significatif de cette technique sur l'apprentissage verbal, qu'ils attribuent à une amélioration de la « qualité de l'apprentissage » (p.59).

Une autre théorie qui peut être prise en compte concernant les bénéfices de l'imagerie mentale sur la mémoire, est celle du traitement spécifique à l'item (Marschark & Hunt, 1989). Selon cette théorie, détaillée dans le Chapitre III (p. 53), la formation d'images mentales lors de l'encodage accentue la spécificité du traitement de l'information. Lors d'un rappel indicé (par exemple : « que devez-vous faire à la boulangerie ? »), l'individu peut avoir plusieurs réponses qui lui viennent en tête (par exemple, par association sémantique, la première réponse qui peut venir à l'esprit serait « acheter une baguette »). Le traitement spécifique associé à l'activité d'imagerie mentale va alors rendre la trace mnésique plus distinctive et permettre d'identifier la bonne réponse (i.e. « commander un gâteau »). Néanmoins, cette théorie ne permet pas d'expliquer comment l'imagerie mentale améliore la récupération des intentions prospectives en rappel libre. Or, dans notre étude, les participants rappelaient parfois des intentions en dehors de la détection des indices, ce qui correspond à un rappel libre et suggère que la trace mnésique bénéficie bien d'une récupération facilitée par le double codage.

Conclusion

Cette étude permet de confirmer que, à l'instar d'autres études menées auprès de populations cliniques atteintes de troubles cognitifs (Brewer et al., 2011 ; Cheng et al., 2021 ; Faytell et al., 2017 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Potvin et al., 2011b ; Raskin et al., 2018 ; Raskin et al., 2019), l'imagerie mentale est un outil bénéfique pour remédier aux déficits de la MP dans la SEP. Ce bénéfice est présent pour les intentions EB comme pour les intentions TB. Ces résultats sont particulièrement intéressants, ils ouvrent la voie au développement et à l'étude de stratégies de remédiation de la MP à l'aide de l'imagerie mentale.

Dans notre étude, et contrairement à ce qui avait été observé dans d'autres études, le fait de produire une image mentale interactive réunissant l'indice et l'intention n'a pas permis d'améliorer les performances à la composante prospective de la MP, chez les participants Contrôle comme chez les patients SEP. Ce résultat n'invalide pas pour autant l'hypothèse d'un processus *reflexive-associative* qui permettrait d'améliorer la composante prospective de la MP en utilisant les images mentales interactives à l'encodage. En revanche, cela soutient l'importance de proposer des programmes complets d'entraînement à l'imagerie mentale pour bénéficier pleinement de cette stratégie d'encodage complexe. En effet, les précédentes études ayant démontré cet effet bénéfique sur la composante prospective de la MP ont proposé des programmes d'entraînement à l'imagerie mentale sur plusieurs semaines.

Par ailleurs, l'imagerie mentale confirme son effet solide sur la mémoire rétrospective et, de ce fait, permet d'améliorer la composante rétrospective de la MP, même sans entraînement à l'imagerie mentale. De plus, le fait que les patients SEP aient bien bénéficié de cette consigne d'imagerie mentale, au même titre que les participants Contrôle, renforce l'idée que les capacités d'imagerie mentale visuelle sont conservées dans la SEP (Canellopoulou & Richardson, 1998). Toutefois, notre échantillon était composé uniquement de participants atteints de SEP rémittente. Sachant que les troubles cognitifs ont un impact sur les capacités d'imagerie mentale, et que les troubles cognitifs sont moins importants dans la forme rémittente que dans d'autres formes (Ruano et al., 2017), il serait intéressant d'explorer les effets de l'imagerie mentale sur la MP auprès de patients atteints SEP primairement progressive et secondairement progressive.

Chapitre 7. Discussion générale

Introduction

Cette thèse avait pour objectif premier de mettre en évidence l'existence de troubles de la MP dans la SEP rémittente, qui est la forme entraînant le moins de troubles cognitifs par rapport aux autres formes de cette maladie (Ruano et al., 2017). Le second objectif de cette thèse était de mettre en évidence les bénéfices de l'imagerie mentale sur les performances en MP des personnes atteintes de SEP rémittente. Plusieurs études montraient déjà l'existence de troubles de la MP dans la SEP, toutes formes confondues (Bravin et al., 2000 ; Dagenais et al., 2016a ; Dagenais et al., 2016b ; Kardiasmenos et al., 2008 ; McKeever et al., 2019 ; Miller et al., 2014 ; Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012), mais il n'existait qu'une seule étude ayant testé les capacités en MP chez des participants atteints d'une forme rémittente uniquement. Cette étude (Toko et al., 2021) a montré qu'il existait effectivement des difficultés en MP dans la SEP rémittente. Toutefois, cette étude évaluait la MP uniquement à l'aide de trois items *event-based* (EB), et sans évaluer de manière indépendantes les performances à la composante prospective (i.e. détection de l'indice prospectif) et à la composante rétrospective de la MP (i.e. récupération de l'intention associée à l'indice). Or, dans les autres études évaluant les performances en MP de personnes atteintes de SEP – toutes formes confondues – nous avons pu voir que les difficultés n'étaient pas généralisées à l'ensemble des tâches de MP. En effet, certaines études montraient que les patients atteints de SEP avaient des difficultés pour les tâches TB, mais pas pour les tâches EB (McKeever et al., 2017 ; Miller et al., 2014 ; Weber et al., 2019). De même, certaines études montraient que les patients atteints de SEP avaient des difficultés au niveau des deux composantes – prospective et rétrospective – de la MP (Dagenais et al., 2016b ; Kardiasmenos et al., 2008), tandis que d'autres études montraient une atteinte uniquement de la première (Rendell et al., 2007) ou de la seconde (Bravin et al., 2000). Nous avons précisé dans le Chapitre I de cette thèse (p. 5), que la MP pouvait reposer sur différents processus contrôlés et/ou automatiques, en fonction des caractéristiques des tâches de MP (voire, *Multiprocess Theory*, McDaniel & Einstein, 2000). Nous avons également montré qu'il était important de prendre en compte les différentes étapes du processus de MP, qui mobilisent des fonctions cognitives différentes, selon qu'il s'agisse de l'étape d'élaboration de l'intention, de détection de l'indice ou encore de récupération de l'intention (Kliegel et al., 2002). De ce fait, nous avons examiné les différents tests de MP validés dans la littérature scientifique, afin d'en sélectionner un qui permette de mesurer les performances en MP des personnes atteintes de SEP rémittente, de manière la plus exhaustive possible. Nous avons donc sélectionné le

TEMP (Potvin et al., 2011a) : une tâche qui mesure la MP sur des intentions EB et TB et qui évalue les performances à chacune des étapes du processus de la MP.

Par ailleurs, l'une des contraintes rencontrées dans l'évaluation de la MP est l'existence d'un décalage entre les performances de certains participants lors d'une tâche de laboratoire classique, et les performances de ces mêmes participants dans leur vie quotidienne. C'est notamment ce qui a été observé auprès de participants âgés, qui avaient des résultats significativement inférieurs aux participants jeunes en laboratoire, mais qui égalaient, voire surpassaient les participants jeunes dans l'exécution de tâche de MP dans la vie quotidienne (Rendell & Thomson, 1999 ; Rendell & Craik, 2000). Face à cette divergence, il nous paraissait essentiel de pouvoir proposer une tâche d'évaluation de la MP qui soit suffisamment écologique, afin de cerner au mieux les capacités réelles des participants dans leur quotidien. Récemment, plusieurs études ont mis en avant l'utilisation de la réalité virtuelle comme solution à ce besoin de reproduire des conditions plus proches de la vie quotidienne, que ne le permettent les tâches de laboratoire classiques (Girardeau et al., 2023 ; Lecouvey et al., 2017). Etant donné les bénéfices connus de la réalité virtuelle dans la recherche de validité écologique (Parsons, 2015), nous avons adapté le TEMP (Potvin et al., 2011a) en une version en réalité virtuelle, qui nous permettait de tester les performances des participants atteints de SEP sur l'ensemble des processus que mobilisent la MP, et ce, dans des conditions similaires à leur vie quotidienne.

Il est essentiel de pouvoir tester de manière écologique et complète les performances en MP des personnes atteintes de SEP rémittente, afin de mieux comprendre les troubles cognitifs présents dans cette pathologie. Mais il est également primordial de tester les effets de stratégies visant à améliorer le fonctionnement cognitif des personnes concernées. Comme le notaient Rouleau et al. (2017) dans leur revue de littérature sur les troubles de la MP dans la SEP, les recherches sur les stratégies de remédiation de ces troubles sont, pour le moment, inexistantes. Auprès d'autres populations cliniques, les recherches sur les stratégies de remédiation de la MP ont été plus prolifiques. Parmi elles, plusieurs études ont exploré les effets de l'imagerie mentale sur l'amélioration des performances en MP (Faytell et al., 2017 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Hussey et al., 2012 ; Pereira et al., 2018 ; Potvin et al., 2011b ; Raskin et al., 2019). Toutefois, selon la nature de la consigne d'imagerie, les bénéfices sur la MP pouvaient varier ; certaines études mettaient l'accent sur la visualisation du contexte d'apparition de l'indice prospectif, utilisant un procédé assimilable à l'*Episodic Future Thinking* (EFT) (Altgassen et al., 2015 ; Brewer et al., 2010 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Paraskevaides et al., 2010). D'autres études soutenaient la création d'une image mentale associant l'indice et l'intention (Lajeunesse et al., 2022 ; Potvin et al., 2011b). Dans notre étude 3 (Chapitre VI, p. 115), nous nous sommes

appuyés sur ce second type de consigne d'imagerie mentale, permettant de renforcer le lien entre l'indice et l'intention en les associant dans une seule et même image. Cette stratégie d'encodage associant deux éléments en une image mentale est largement utilisée dans la remédiation de la mémoire épisodique avec, notamment, des techniques de mémorisation telles que la table de rappel (Coyette, Verreclt & Seron, 2003) ; et a également déjà fait ses preuves dans la remédiation de la MP (Lajeunesse et al., 2022 ; Potvin et al., 2011b). Les études menées pour cette thèse suivent donc le cheminement suivant : d'abord, valider une tâche de MP écologique en réalité virtuelle, afin de tester ensuite efficacement les capacités en MP des personnes atteintes de SEP rémittente, et de pouvoir finalement tester si ces performances peuvent être améliorées par l'imagerie mentale. Dans le présent chapitre, nous discutons les résultats de nos études en faisant le lien avec les éléments déjà apportés dans la littérature scientifique, tant sur le plan méthodologique que théorique.

1. Tester la mémoire prospective de manière écologique

1.1 Construction du TEMP-RV : qualités psychométriques classiques

Le TEMP (Potvin et al., 2011a) répond aux différents critères établis par Einstein et McDaniel (1990), concernant la construction d'une tâche de MP : (1) être engagé dans une tâche concurrente au moment de la tâche de MP ; (2) avoir associé un indice prospectif défini avec une intention prospective définie ; (3) laisser un délai suffisamment long entre la phase d'apprentissage des intentions prospectives et l'apparition des indices ; (4) prendre en compte dans le score la détection de l'indice (composante prospective) et la récupération de l'intention (composante rétrospective). C'est également un test qui propose les deux types d'indices prospectifs - *event-based* (EB) et *time-based* (TB) - qui mobilisent des processus cognitifs bien différents (Kliegel et al., 2001 ; 2004). Et c'est un test qui prend en compte l'effet du lien sémantique entre l'indice et l'intention en MP, en s'assurant que les intentions du TEMP ne soient jamais fortement liées aux indices prospectif (exemple : « à la boulangerie, acheter une baguette ») ; ceci afin de limiter la récupération automatique, qui ne rendrait pas compte de l'effort cognitif que peut réellement demander une tâche de MP (McDaniel et al., 2004 ; McDaniel et al., 2011). Ces caractéristiques, que nous avons conservées dans le TEMP-RV, soutiennent la validité de contenu de ce test. Dans notre étude 1 (Chapitre IV, p.73), nous avons pu montrer que la différence de coût cognitif entre les intentions EB et TB était bien présente dans les résultats du TEMP-RV. En effet, les participants à notre étude réussissaient significativement mieux les intentions EB que les intentions TB, témoignant du coût cognitif

induit par le *time monitoring* requis pour les intentions TB. Dans notre étude 2 (Chapitre V, p.94), nous avons pu montrer que le TEMP-RV était suffisamment sensible pour discriminer une population dites « clinique » d'une population « contrôle ». Enfin, à l'instar des résultats de validation du TEMP (Potvin et al., 2011a), nous avons observé un effet d'interaction significatif entre le type d'indice (EB vs TB) et la composante (prospective vs rétrospective). Ainsi, nous avons pu constater que la composante prospective était significativement plus échouée pour les indices TB que pour les indices EB, pour l'ensemble des participants à notre étude 2 (Chapitre V, p. 94). Ce résultat soutient la validité du TEMP-RV, qui apporte des résultats concordants avec le consensus théorique concernant la mobilisation de processus contrôlés dans la détection des indices TB, contre des processus qui peuvent être automatiques dans la détection des indices EB. Des recherches complémentaires seront toutefois nécessaires, afin d'améliorer la cohérence interne du TEMP-RV, et de vérifier la validité concordante de ce test.

1.1 Construction du TEMP-RV : les apports de la réalité virtuelle

Au-delà de la validité de contenu, le TEMP dispose également d'éléments attestant de sa validité écologique : il s'inspire du protocole de Titov et Knight (2001) pour proposer des stimuli réalistes sous le format d'une vidéo d'un environnement urbain réel. De plus, il est significativement corrélé à l'évaluation faite par les proches des performances des participants au quotidien (Potvin et al., 2011a). Dans la conclusion de leur article, Potvin et al. (2011a) notent que la validité écologique de leur test pourrait être enrichie par un engagement actif plutôt que passif dans la tâche concurrente (ici, écouter un bulletin radio), et par un plus grand réalisme de la tâche, permettant de mobiliser des aspects motivationnels présents dans la vie quotidienne des participants. Pour répondre à ces recommandations, la réalité virtuelle semble toute indiquée.

Ainsi, en construisant le TEMP-RV, nous avons substitué la tâche concurrente passive d'écoute d'un bulletin radio par une tâche concurrente dans laquelle les participants sont acteurs, en conduisant eux-mêmes la voiture pour se déplacer dans la ville virtuelle. Le fait d'être impliqué dans une tâche concurrente lors d'une tâche de MP sollicite des ressources attentionnelles, et la répartition de ces ressources attentionnelles entre la tâche concurrente et la tâche de MP peut impacter l'une ou l'autre de ces activités. Ainsi, plusieurs études ont montré que l'introduction d'une tâche de MP entraînait un ralentissement de la vitesse de traitement dans la tâche concurrente (Smith, 2003 ; Smith & Bayen, 2004). Et, inversement, d'autres études ont montré que le niveau de difficulté de la tâche concurrente pouvait réduire les performances à la tâche de MP (pour revue, voir Matos et al., 2020). Une des hypothèses

avancées pour expliquer l'effet de la complexité d'une tâche concurrente sur les performances en MP, est qu'une tâche concurrente complexe ne laisse pas la place à la répétition subvocale de l'intention en MP durant le délai qui sépare l'encodage de cette intention, et sa récupération. Kourtesis et al. (2021) avancent ainsi l'hypothèse que les tâches concurrentes réalistes (cuisiner, faire des courses, faire attention à la circulation, etc.) qu'ils ont proposé dans leur tâche de MP en réalité virtuelle, ont bien empêché cette répétition de l'intention en MP. Il est intéressant de noter que les tâches concurrentes sélectionnées dans leur étude sollicitent une participation active du participant, et non une réception passive. A l'instar de Kourtesis et al. (2021), nous avons sélectionné une tâche concurrente coûteuse sur le plan attentionnel, notamment parce qu'elle requiert que le participant soit actif dans son exécution, et qui a donc certainement empêché la répétition des intentions en MP. Il est particulièrement important de tester la MP avec une tâche concurrente coûteuse et représentative des tâches concurrentes rencontrées au quotidien, afin de ne pas sous-évaluer des difficultés en MP, qui n'apparaîtraient par en laboratoire à cause de tâches concurrentes qui sollicitent très peu l'attention. Par ailleurs, la motivation à mener à bien la tâche concurrente joue un rôle essentiel puisqu'en l'absence de motivation pour cette tâche, les participants peuvent décider stratégiquement de délaissier la tâche concurrente pour concentrer leurs efforts sur la réussite de la tâche de MP. C'est le second avantage de la réalité virtuelle, en plus de proposer des tâches qui reproduisent bien les coûts cognitifs des tâches du quotidien, elle permet de mobiliser un véritable engagement du participant dans la tâche, grâce à son réalisme.

Ainsi, dans le TEMP-RV, le fait que les intentions en MP correspondent à des tâches de la vie quotidienne et que la réalité virtuelle produise un sentiment d'immersion dans l'environnement (i.e. « sentiment de présence », Heeter, 1992), pourrait entraîner un ressort motivationnel proche de celui observé dans les activités de la vie quotidienne. Lecouvey et al. (2012) notent ainsi que « Quant aux aspects motivationnels également évoqués pour expliquer ce résultat surprenant (i.e., moindre motivation des sujets jeunes en milieu naturel), ils n'ont pas fait l'objet d'études en RV mais il est plausible que le caractère ludique des épreuves ait un effet bénéfique sur la motivation de ces sujets. » (p.273). Dans une étude évaluant la MP chez des participants atteints de traumatisme crânio-encéphalique, Canty et al. (2014) ont justement exploré le niveau de motivation induit par l'utilisation de la réalité virtuelle dans l'évaluation de la MP. Les participants de leur étude réalisaient une tâche de MP classique (i.e. appuyer sur une touche du clavier quand un mot prédéfini apparaît au cours d'une tâche de décision lexicale) ; et une tâche de MP en réalité virtuelle durant laquelle le participant cherche des items dans une zone commerciale, tout en ayant à réaliser trois intentions TB (envoyer un sms au bout de

4, 8 et 12 minutes), et trois intentions EB (appuyer sur la touche « T » dès qu'ils entendent une annonce commerciale). Pour ces deux tâches de MP, les participants devaient remplir un questionnaire portant sur leur ressenti vis-à-vis de la tâche et, notamment, à quel point ils avaient trouvé la tâche intéressante et proche de leurs activités quotidiennes. Les analyses des résultats montrent que les participants ont considéré la tâche en réalité virtuelle comme significativement plus réaliste et plus intéressante que la tâche de MP classique. Ces résultats viennent ainsi renforcer l'hypothèse selon laquelle la réalité virtuelle offre un contexte et des stimuli plus écologiques que les tâches de MP classiques (pour revue, voir Rizzo et al., 2020).

Finalement, le TEMP-RV présente une validité de contenu satisfaisante, attestant de sa capacité à tester les différentes étapes du processus de MP, ainsi que les différents processus cognitifs mobilisés en fonction du type d'indices prospectifs (EB vs TB). Au-delà de cette validité de contenu, nous avons de bonnes raisons de supposer que le TEMP-RV offre des résultats proches des performances réelles des participants dans leur quotidien. Cette validité écologique est supportée, notamment, par la corrélation significative observée entre les performances des participants au TEMP et les performances estimées par leurs proches au CAPM (Potvin et al., a). Nous n'avons pas pu reproduire ces résultats de Potvin et al. (2011a) car nous avons utilisé un questionnaire (PRMQ) complété par les participants eux-mêmes, et non par leurs proches. Or, Potvin et al. (2011a) n'observaient pas de corrélation entre les résultats du TEMP et la partie auto-évaluée du CAPM. Par ailleurs, il a déjà été pointé que les auto-évaluations de la MP en vie quotidienne divergeaient des difficultés objectivées par des tâches de laboratoire (Kliegel & Jäger, 2006). En somme, il est probable que le questionnaire PRMQ que nous avons utilisé pour tester la validité écologique du TEMP-RV ne soit pas l'outil le mieux indiqué pour cet usage, mais que cela ne remette pas en question la validité écologique qui avait été observée par Potvin et al. (2011a) pour le TEMP. Par ailleurs, les éléments que nous avons présentés concernant l'apport de la réalité virtuelle dans le TEMP-RV suggèrent que notre test permettrait d'enrichir les aspects motivationnels grâce au sentiment de présence que provoque la réalité virtuelle. De plus, notre tâche concurrente, en rendant les participants actifs plutôt que passifs, offrirait une mise en situation plus proche de la vie quotidienne. Ainsi, le premier objectif de cette thèse qui visait à disposer d'un outil permettant d'évaluer de manière écologique les capacités de MP des personnes atteintes de SEP rémittente a pu être atteint. Il reste toutefois nécessaire d'aborder les résultats de nos deux autres études concernant la MP dans la SEP rémittente avec une certaine prudence, car le TEMP-RV ne peut assurer une vérisimilitude parfaite. En effet, les intentions prospectives restent prédéfinies par le test, ne laissant pas la possibilité au participant de fournir l'effort d'initiation et de planification

nécessaire à la formation d'une intention (Kliegel et al., 2000) ; et la durée limitée du test ne permet pas d'évaluer l'effet d'un délai long (plusieurs heures, voire plusieurs jours) sur les performances en MP des participants.

2. La mémoire prospective dans la SEP rémittente

2.1. Une absence de difficultés pour les intentions EB

A l'aide du TEMP-RV, nous avons pour objectif d'examiner la présence d'un dysfonctionnement de la MP dans la SEP rémittente pour les intentions EB, comme démontré par Toko et al. (2021), et d'explorer la présence de difficultés pour les intentions TB (phénomène qui n'a encore jamais été testé dans la SEP rémittente). Dans notre étude 2 (Chapitre V, p.94), nous n'avons pas retrouvé de difficultés à mener à bien des intentions EB chez nos participants atteints de SEP rémittente, au contraire des résultats rapportés par Toko et al. (2021). Toutefois, ces auteurs ont utilisé, pour mesurer la MP, quatre items du RBMT (Wilson et al., 1985). Deux de ces items évaluent effectivement la MP : réclamer un objet personnel qui a été caché à la fin du test ; demander de fixer un rendez-vous lorsque l'alarme sonne. Mais les deux autres sont des items de rappel immédiat et différé en mémoire épisodique visuelle : reproduire un trajet que l'examineur a montré ; poser une enveloppe au même endroit que là où l'examineur l'a posée. Or, les troubles de la mémoire épisodique visuelle sont présents chez 54 à 56% des personnes atteintes de SEP (Benedict et al., 2020). Puisque Toko et al. (2021) ont évalué indistinctement les performances en mémoire visuelle et en mémoire prospective de leurs participants, il est difficile d'affirmer qu'il y a un déficit spécifique de la MP pour les intentions EB dans la SEP rémittente, sur la base de leurs résultats. Leurs résultats montrent seulement qu'il existe des difficultés mnésiques dans la SEP rémittente, sans préciser s'il existe des difficultés de MP spécifiquement.

Les résultats de notre étude 2 (Chapitre V, p. 94) montrent, au contraire, que les personnes atteintes de SEP rémittente n'ont pas significativement plus de difficultés que des participants Contrôle à détecter des indices EB et à récupérer l'intention associée. Dans la plupart des études menées auprès de groupes mêlant des participants atteints de SEP rémittente et de SEP progressive ou secondairement progressive, un déficit était observé à la fois pour les intentions EB et pour les intentions TB (Kardiasmenos et al., 2008 ; Rendell et al., 2007 ; Rendell et al., 2012). Etant donné que les troubles cognitifs sont moins marqués dans la SEP rémittente que dans les autres formes de SEP (Runao et al., 2017), et que les intentions EB sont considérées comme plus « faciles » que les intentions TB (Einstein et al., 1995), il est possible que les personnes atteintes de SEP rémittente n'aient pas de troubles de la MP pour les intentions EB.

Nos résultats montrant une absence de différence entre le groupe Contrôle et le groupe SEP rémittente pour les intentions EB, pourraient effectivement soutenir l'hypothèse suivante : la forme rémittente de la SEP n'entraîne pas de difficultés significatives en MP pour les intentions EB. Toutefois, il est important de nuancer cette hypothèse en prenant en compte les caractéristiques de notre tâche de MP, concernant les intentions EB. En effet, selon la *Multiprocess Theory*, les intentions EB peuvent parfois reposer sur des processus automatiques, notamment lorsque la tâche concurrente est focale, et qu'un lien sémantique fort existe entre l'indice et l'intention.

Concernant la possibilité d'une récupération automatique due au lien sémantique entre l'indice et l'intention, le TEMP-RV a été conçu spécifiquement pour limiter ce processus automatique en proposant des intentions prospectives peu liées sémantiquement aux indices associés (par exemple : « à la bijouterie, acheter une montre en cadeau »). Malgré cela, pour conserver une cohérence et maintenir la validité écologique du test, il pouvait subsister un lien sémantique faible entre les indices EB et les intentions associées (par exemple : « chez Nicolas, acheter une bouteille de champagne »). Cela aurait pu être une piste expliquant l'absence de difficultés à récupérer les intentions EB chez les participants atteints de SEP rémittente, dans notre étude 2. Toutefois, nos résultats montrent que les participants atteints de SEP rémittente n'ont pas manifesté plus de difficultés que les participants Contrôle, que ce soit pour récupérer les intentions EB ou TB. Or, il ne peut exister de lien sémantique entre un indice temporel (exemple : au bout de 5 minutes) et une intention prospective. Si les participants atteints de SEP rémittente avaient eu de bons résultats uniquement dans la récupération des intentions EB, l'hypothèse d'une facilitation de la récupération des intentions EB grâce à ce lien sémantique aurait pu être posée. Mais, le fait que le groupe atteint de SEP rémittente ait présenté de bonnes capacités dans la récupération des intentions EB et TB supporte, au contraire, l'hypothèse d'une préservation des capacités de récupération mnésique mobilisées dans la composante rétrospective de la MP, dans la SEP rémittente. Cela est notamment appuyé par une absence de différence significative entre nos deux groupes pour les tests du BCCogSEP évaluant la mémoire épisodique. Ces résultats sont en accord avec ceux de Olivares et al. (2005), qui n'observaient pas de déficit du stockage et de la récupération mnésique dans la SEP rémittente. Par ailleurs, cela concorde également avec l'étude de Rendell et al. (2007) qui n'observaient pas de difficultés à la composante rétrospective chez leurs participants atteints de SEP. Or, dans leur étude, même si leur échantillon comportait quelques participants atteints de SEP principalement progressive (n = 2), il y avait essentiellement des participants atteints de SEP rémittente (n = 18). Ces éléments, tous ensemble, supportent le constat de capacités de

récupération efficaces des intentions prospectives dans la SEP rémittente.

Concernant la capacité à détecter les indices EB, il est intéressant de questionner l'effet de la nature focale de la tâche concurrente. Le TEMP-RV propose une tâche concurrente réaliste et cognitivement coûteuse, mais qui peut être considérée comme étant relativement focale. En effet, dans le TEMP-RV, la tâche concurrente consiste à conduire dans la ville virtuelle ; elle nécessite un contrôle moteur du volant et des touches marche/arrêt, ainsi qu'un contrôle attentionnel visuel de l'environnement pour repérer les piétons qui traversent la route ou les autres véhicules auxquels il faut céder le passage. Ce contrôle visuel de l'environnement peut être qualifié de focal car c'est également via un contrôle visuel de l'environnement que les participants sont amenés à détecter les indices EB (i.e. les devantures des magasins). Il est donc possible que notre tâche concurrente soit de nature focale et que cela ait favorisé une détection automatique des indices EB. Cette hypothèse est soutenue par la présence d'une difficulté à composante prospective des intentions TB pour les participants atteints de SEP rémittente, alors même que la tâche concurrente ne peut, en l'occurrence, pas être qualifiée de focale pour les intentions TB.

Concernant la question des capacités à exécuter des intentions EB dans la SEP rémittente, nous pouvons tirer deux conclusions. D'abord, nos résultats suggèrent que la SEP rémittente n'entraîne pas de difficultés de récupération mnésique pour les intentions EB et TB confondues et, donc, pas de difficultés sur la composante rétrospective de la MP. En revanche, la composante prospective de la MP mobilise des processus attentionnels et exécutifs qui peuvent mettre en difficulté les patients atteints de SEP rémittente. Pourtant, nous n'avons pas observé de difficultés à détecter les indices EB dans la SEP rémittente. Ce résultat pourrait être dû à la nature focale de notre tâche concurrente, qui aurait alors limité les efforts de contrôle attentionnel et exécutif mobilisés pour détecter ces indices EB. A l'inverse, nous avons bien observé que les participants atteints de SEP rémittente avaient significativement plus de difficultés que les participants Contrôle pour détecter les indices TB. L'analyse de ces résultats permet de clarifier les processus cognitifs mis à mal dans la SEP rémittente, et suggère une perturbation de nature exécutive plutôt que mnésique.

2.2. Trouble de la détection des indices TB

La détection des indices TB nécessite des capacités attentionnelles et exécutives pour estimer et surveiller le temps (Kourtesis & MacPerson, 2023). Dans le TEMP-RV, le chronomètre indiquant le temps n'est pas dans le champ de vision du participant et la tâche concurrente ne permet pas un traitement focal des indices TB ; le participant est contraint

d'appuyer sur un bouton pour avoir accès au chronomètre et, donc, aux indices TB. Il doit alors mettre en place une stratégie de surveillance du temps efficace, afin d'éviter de consulter constamment le temps, ce qui mettrait à mal la réalisation de la tâche concurrente (i.e., conduire la voiture dans la ville virtuelle). Selon Kliegel et al. (2001), les vérifications du temps sont espacées au début, et de plus en plus rapprochées à mesure que se rapproche l'arrivée de l'indice TB. Nous avons pu observer qualitativement que les participants de notre étude 2 semblaient « rater » plus souvent le premier indice TB, qui survient au bout de deux minutes dans la ville virtuelle. Il est peu probable que ce phénomène soit dû à un temps d'adaptation à la ville virtuelle et à l'utilisation du bouton pour surveiller le temps, puisque les participants bénéficient d'abord d'un temps d'entraînement dans la ville virtuelle, avec notamment une intention TB à réaliser. Il est possible, en revanche, que le premier indice TB arrive trop tôt (au bout de 2 minutes) pour que les participants aient le temps de mettre en place la stratégie de surveillance du temps (Kliegel et al. 2001). Pour explorer cette hypothèse, il serait intéressant d'observer le nombre de fois où le chronomètre a été vérifié, avant la survenue du premier indice TB. Si les participants atteints de SEP s'avéraient avoir significativement moins vérifié le chronomètre que les participants Contrôle et que cette mesure corrélait avec le nombre d'indices TB détectés, cela appuierait l'hypothèse d'un déficit des stratégies de surveillance du temps chez les participants atteints de SEP, responsable de leurs performances diminuées à la détection des indices TB. Au-delà des données de fréquence de vérification du temps, les données concernant les fonctions cognitives prédictives des performances à la composante prospective des intentions TB apportent également un éclairage important. Elles permettent de mieux comprendre les raisons qui ont amené les participants atteints de SEP rémittente à échouer davantage que les participants Contrôle dans cette tâche de détection des indices TB.

Les fonctions cognitives mobilisées pour opérer cette surveillance du temps dans la MP sont principalement l'inhibition et la flexibilité mentale (Kliegel, Ramuschkat & Martin, 2003 ; Schnitzspahn et al., 2013). Les résultats de notre étude 2 (p.104) montrent que les difficultés de détection des indices TB des participants atteints de SEP sont significativement prédites par les capacités d'inhibition des participants. Selon Schnitzspahn et al. (2013), l'inhibition permet d'interrompre régulièrement la tâche concurrente pour vérifier le temps. Toutefois, leurs résultats montrent également que la flexibilité mentale était l'un des facteurs prédictifs des performances de détection des indices prospectifs. De même, Kliegel et al. (2003) ont observé que les capacités de flexibilité mentale corrélaient significativement avec les performances de détection des indices TB. Ils expliquent leurs résultats par la nécessité d'effectuer régulièrement des *shifting* de la tâche concurrente à la surveillance du temps pour la détection des indices TB.

Nous aurions pu nous attendre alors à observer un effet prédictif de la flexibilité mentale et de l'inhibition sur la variance des performances de détection des indices TB des participants atteints de SEP. Nos résultats montrent uniquement que l'inhibition est bien mobilisée pour interrompre la tâche concurrente lors de la détection de l'indice prospectif, et qu'elle prédit en partie les performances des patients atteints de SEP à la composante prospective de la MP. Toutefois, l'inhibition ne prédit que 20% des performances de détections des indices TB. D'autres mécanismes sont donc en jeu dans la détection des indices prospectifs TB. Il est possible que la flexibilité mentale joue un rôle, mais que nos mesures de flexibilité mentale n'aient pas permis de mettre en lumière ce rôle. En effet, le BC Cog SEP que nous avons utilisé pour évaluer le fonctionnement cognitif global des participants à notre étude ne comprenait pas de mesure spécifique de la flexibilité mentale. Le test « ordres contraires », s'il est reconnu comme une mesure efficace des déficits exécutifs présents dans la déficience frontale, n'a, à notre connaissance, pas été validé comme une mesure spécifique de flexibilité mentale (Godefroy, 1992). Il pourrait être intéressant d'évaluer si la flexibilité mentale prédit en partie les troubles de la détection des indices TB dans la SEP rémittente, en utilisant des tests de flexibilité mentale validés, telle que la *category-switch task* (Mayr & Kliegl, 2000).

En conclusion, notre étude 2 montre une absence de déficit de la composante rétrospective dans la SEP rémittente, qui n'est pas due à une facilitation de la récupération par un fort lien sémantique entre indices et intentions, mais bien au bon maintien des capacités de récupération mnésique dans cette forme de la maladie. Concernant la composante prospective, pour la détection des indices EB, les participants atteints de SEP rémittente ne sont pas mis en difficultés. Cela pourrait être dû au fait que la tâche concurrente soit focale et qu'il n'y ait donc pas nécessité d'inhiber cette tâche pour basculer sur un autre type de traitement nécessaire à la détection des indices EB. En revanche, nos résultats montrent que les participants atteints de SEP rémittente sont en difficulté pour la détection des indices TB, et que cette difficulté est en partie liée à des difficultés d'inhibition. L'objectif de notre 3^{ème} étude était d'explorer une stratégie de remédiation des difficultés en MP dans la SEP rémittente. Nous avons porté notre intérêt sur l'imagerie mentale comme stratégie améliorant la MP. Nous allons maintenant détailler ce que cette stratégie a pu apporter, au regard des difficultés spécifiques de la détections des indices TB dans la SEP rémittente, mises en évidence par notre étude 2. Nous allons questionner ce que l'imagerie mentale a pu apporter aux participants atteints de SEP rémittente dans notre étude 3 (Chapitre 6, p.115), et ouvrir la réflexion sur les stratégies de remédiation de la MP qui seraient pertinentes pour compenser les difficultés de surveillance du temps observées dans la SEP rémittente.

3. L'effet de l'imagerie mentale sur la mémoire prospective dans la SEP rémittente

3.1. Un effet bénéfique sur la composante rétrospective

Dans notre étude 3, nous avons observé une amélioration des performances globales au TEMP-RV avec la consigne d'imagerie mentale, que ce soit pour les participants atteints de SEP ou pour les participants Contrôle. En étudiant plus précisément quelles étapes de la MP bénéficiaient de cette amélioration grâce à l'imagerie mentale, nous avons pu voir que cette amélioration concernait la composante rétrospective de la MP, mais pas la composante prospective. Comme nous l'avons exposé dans la partie précédente, il n'y avait pas de différence significative entre les participants atteints de SEP et les participants Contrôle aux scores de la composante rétrospective des intentions EB et TB dans la condition « sans consigne d'imagerie ». L'amélioration, en condition « avec consigne d'imagerie », des performances à cette composante rétrospective pour les deux groupes montre que, même en l'absence de difficultés notables, l'imagerie mentale permet d'améliorer les performances des individus à la composante rétrospective de la MP. Par ailleurs, cela confirme que les personnes atteintes de SEP rémittentes peuvent se former des images mentales et en tirer des bénéfices, aussi bien que les personnes non malades.

L'explication théorique de cet effet bénéfique de l'imagerie mentale sur la récupération du contenu de l'intention peut s'appuyer sur les connaissances déjà existantes sur la mémoire épisodique. En effet, s'agissant de la composante rétrospective uniquement, le processus mobilisé est le même que celui d'une tâche de rappel indicé en mémoire épisodique. C'est d'ailleurs un parallèle qu'avait présenté Loftus, en 1971. En ce sens, la production d'une image mentale associant l'indice et l'intention prospective peut être assimilée au phénomène décrit par Paivio (1971) avec la *conceptual peg hypothesis*. Selon cette théorie, en utilisant une image mentale, il est possible d'« accrocher » une information à un indice sous forme d'une image mentale où interagissent l'indice et l'information. En accord avec cette théorie, diverses stratégies de mémorisation en mémoire épisodique rétrospective ont vu le jour comme, par exemple, la stratégie de la Table de rappel (Van der Linden et al., 1995). Concernant la MP, les auteurs attribuent les bénéfices de l'imagerie mentale à un « renforcement du lien entre l'indice et l'intention » (Brewer & Marsh, 2010 ; Faytall et al., 2017 ; Matthews et al., 2016 ; Potvin et al., 2011b). En renforçant le lien entre l'indice et l'intention via l'image mentale, la récupération des intentions se fait automatiquement à la rencontre des indices associés. C'est un phénomène qui a également été observé en renforçant le lien par implémentation d'intention (pour revue,

voir Chen et al., 2015), ou encore en renforçant le lien sémantique entre l'indice et l'intention (Dagenais et al., 2016b).

Au-delà du renforcement du lien entre l'indice et l'intention, l'imagerie mentale est connue pour permettre une facilitation de la récupération grâce au double codage (Paivio, 1971). Dans notre étude 3, les participants dans la condition « avec consigne d'imagerie » codaient les indices prospectifs, ainsi que le contenu des intentions prospectives sous un format verbal (en écoutant l'audio) et sous un format imagé (en se formant l'image mentale de l'indice et de l'intention). La théorie du double codage pour expliquer l'amélioration des performances en MP n'a, à notre connaissance, pas été mise en avant dans de précédentes études. Pourtant, l'imagerie mentale n'a pas qu'un effet de renforcement du lien indice-intention ; elle permet aussi de renforcer la trace mnésique des indices et des intentions, grâce à un double codage verbal + imagé de ces deux éléments. A ce sujet, le codage imagé des indices prospectifs n'est théoriquement pas équivalent, selon qu'il s'agisse d'un indice TB ou EB. En effet, le codage imagé est dépendant de la facilité avec laquelle une image mentale peut être créée. Ainsi, les mots concrets sont bien plus à même de bénéficier du codage imagé, que les mots abstraits. Partant de ce principe, Potvin et al. (2011b) prévoyaient un moindre bénéfice de l'imagerie pour les intentions TB, car ils avançaient que les indices TB étaient plus abstraits et qu'ils seraient donc plus difficiles à se représenter sous forme d'image mentale. Pourtant, leurs résultats montrent une amélioration des performances grâce à l'imagerie mentale, à la fois pour les intentions EB et les intentions TB. Il est alors possible que le bénéfice de l'imagerie observé par Potvin et al. (2011b) soit dû principalement au double codage du contenu de l'intention, facilitant la récupération du contenu des intentions uniquement (composante rétrospective). Comme Potvin et al. (2011b) ont fusionné les résultats à la composante prospective et à la composante rétrospective dans leur étude, il n'est pas possible d'affirmer que l'imagerie mentale ait permis d'améliorer les deux composantes de la MP. Le fait que l'imagerie ait permis d'améliorer autant les performances aux intentions EB que TB, peut effectivement suggérer que l'imagerie ait surtout permis d'améliorer la composante rétrospective de la MP, puisque la valeur d'imagerie du contenu des intentions est la même quelle que soit le type d'indice (EB ou TB). Tandis que la valeur d'imagerie des indices, elle, varie en fonction du type d'indice (i.e. peu imaginable pour les indices TB vs fortement imaginable pour les indices EB). Dans notre étude 3, nous avons testé les effets de l'imagerie sur les deux composantes de la MP de manière distincte, et nous avons observé un effet bénéfique uniquement sur la composante rétrospective. Qualitativement, nous avons pu observer que les participants rapportaient en fin de session qu'ils n'avaient pas systématiquement imaginé les indices prospectifs, et qu'ils avaient surtout

imaginé les intentions associées. Nos résultats montrant un bénéfice de l'imagerie uniquement sur cette composante rétrospective pourraient alors s'expliquer par l'effet du double codage pour les intentions prospectives, sans qu'il y ait forcément un renforcement du lien indice-intention. Mais, alors même que notre étude 2 pointait des difficultés spécifiquement sur la composante prospective de la MP dans la SEP rémittente, il semble important de questionner l'effet de l'imagerie mentale sur cette composante prospective de la MP.

3.2. Une absence d'effet sur la composante prospective

La composante prospective de la MP nécessite, évidemment, de mémoriser les indices prospectifs. Mais elle nécessite surtout un contrôle attentionnel et exécutif qui permet d'interrompre la tâche concurrente pour détecter l'indice et basculer vers la tâche de MP au bon moment. Dans notre étude 3, nous n'avons pas observé d'effet bénéfique de la consigne d'imagerie sur la détection des indices EB comme TB. Peu d'études ont évalué l'effet de l'imagerie mentale sur la composante prospective de la MP (Altgassen et al., 2015 ; Brewer et al., 2010 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Paraskevaides et al., 2010). Dans ces quelques études, la consigne d'imagerie mentale met l'accent sur la représentation mentale du contexte d'apparition de l'indice, et cette activité à l'encodage est généralement qualifiée d'EFT (*Episodic Future Thinking*) plutôt que d'images mentales. L'effet de l'EFT sur la détection des indices repose en l'occurrence sur la création d'un lien entre le contexte et l'indice, qui permettrait de faciliter la détection de l'indice lorsque le contexte associé survient.

La consigne d'imagerie mentale que nous avons utilisée dans notre étude 3 n'était pas centrée sur le contexte d'apparition de l'indice prospectif, mais bien sur la création d'une image mentale interactive, unissant l'indice l'intention prospective en une image mentale. La plupart des études évaluant l'effet de ce type de consigne d'imagerie sur la MP ne distinguent pas la composante prospective et la composante rétrospective dans leurs résultats à la tâche de MP (Lajeunesse et al., 2022 ; Matthews et al., 2016 ; Potvin et al., 2011b). Dans ces conditions, il n'est pas possible de déterminer si l'amélioration des performances en MP de leurs participants est attribuable uniquement à une facilitation de la récupération de l'intention (composante rétrospective), ou si l'imagerie mentale permet également d'améliorer la détection des indices prospectifs (composante prospective). Parmi les quelques études évaluant distinctement les effets de l'imagerie sur la composante prospective et la composante rétrospective de la MP, certaines observent un bénéfice sur la détection des indices (Ihle et al., 2018), quand d'autres n'observent pas ce bénéfice (Cheng et al., 2021). Il est par ailleurs important de noter que ces études portent uniquement sur des intentions EB et qu'il n'y a, à notre connaissance, pas d'étude

évaluant l'effet de l'imagerie sur la détection des indices TB spécifiquement. Par ailleurs, dans l'étude de Ihle et al. (2018) la détection des indices EB (en l'occurrence, la survenue du mot « rue » dans une tâche de décision lexicale) était davantage améliorée par la répétition de l'indice et intention associée durant la phase de rétention, que par la formation d'une image mentale associant l'indice et l'intention. Ihle et al. (2018) en concluent que l'utilisation de la stratégie de répétition est plus appropriée pour favoriser la composante prospective car elle permet de maintenir la tâche de MP active en mémoire de travail et donc de favoriser la recherche des indices EB durant la tâche concurrente. Ils affirment ainsi que leurs participants âgés [traduction libre, p. 7] : « peuvent avoir besoin de plus de soutien pour maintenir les indices prospectifs actifs en mémoire tout en travaillant sur la tâche concurrente que pour encoder l'intention prospective ». De fait, l'utilité de l'imagerie mentale pour la détection des indices peut apparaître limitée et, *a fortiori*, dans le cas des indices TB qui mobilisent davantage des capacités d'inhibition et de flexibilité mentale, que de récupération mnésique des indices eux-mêmes.

La consigne d'imagerie mentale dans notre étude 3 aurait pu, malgré tout, améliorer la détection des indices EB, à l'instar des résultats de Ihle et al. (2018). Ce bénéfice aurait pu exister grâce au double codage verbal + imagé des indices EB, qui permet de faciliter la récupération de ces indices EB. En facilitant la récupération des indices EB, l'imagerie mentale permettrait de favoriser le maintien de l'indice EB actif en mémoire et, donc, de faciliter sa détection le moment venu. Toutefois, pour les indices EB, il peut être argué que le double codage permis par l'imagerie existait en réalité déjà dans la condition contrôle (sans consigne d'imagerie) puisque lors de l'apprentissage des intentions, les indices EB sont présentés à la fois sous un format verbal (i.e. l'enregistrement audio qui dit « A la boulangerie... ») et imagée (i.e. la capture d'écran de la boulangerie). Ce fait pourrait expliquer que nos résultats ne montrent pas d'amélioration de la détection des indices EB par la consigne d'imagerie mentale, au contraire des résultats rapportés par Ihle et al. (2018). Concernant les indices TB, il aurait également pu être argué que le fait de pouvoir plus facilement accéder aux indices TB en mémoire, grâce au double codage de ces indices, permette une amélioration de la détection des indices TB. Or, cet argument ne résout pas la principale cause d'échec de la composante prospective pour les intentions TB. En effet, il semble que ce ne soit principalement pas parce qu'ils oublient les indices que les participants échouent à les détecter, mais bien parce qu'ils échouent à opérer la surveillance attentionnelle et le contrôle exécutif qui permet de basculer de la tâche concurrente à la tâche de MP. Ainsi, le double codage des indices TB n'apporte aucun bénéfice, tant qu'il n'y a pas de stratégie de surveillance du temps efficace, permettant

de vérifier le temps suffisamment souvent pour compléter avec succès la composante prospective des intentions TB.

Conclusion et ouvertures

En testant les capacités en MP des personnes atteintes de SEP rémittente, à l'aide d'une tâche écologique, nous avons pu constater que cette forme de la maladie se caractérise par des difficultés spécifiquement dans la détection des indices TB. Ce résultat semble cohérent, au regard des difficultés cognitives connues dans la SEP rémittente, qui portent davantage sur des difficultés exécutives que mnésiques (Olivares et al., 2005). Notre étude 2 permet donc de dessiner plus clairement les perturbations de la MP qui peuvent être attendues dans cette forme de la maladie, et permet ainsi d'offrir des pistes pour une évaluation plus ciblée et des programmes de remédiation adaptés. Toutefois, comme le notaient Olivares et al. (2005) dans leur étude sur les troubles cognitifs dans la SEP rémittente [traduction libre, p.196] : « il est important d'étudier les déficits cognitifs, non pas uniquement dans les différentes formes de la SEP, mais aussi aux différentes étapes de la maladie ». En effet, l'une des limites de cette thèse est d'avoir axé la recherche sur la forme rémittente de la SEP, mais sans prendre en compte d'autres facteurs qui peuvent également jouer un rôle essentiel dans le niveau d'atteinte cognitive observé. Ainsi, il serait opportun de prendre en compte, dans de futures recherches, le niveau de handicap mesuré à l'aide de l'EDSS, ainsi que le nombre d'années écoulées depuis le début de la maladie.

Il est également intéressant de noter que, dans la plupart des tâches de MP en laboratoire, les indices et intentions prospectives à mémoriser sont prédéterminés par le protocole et ne nécessitent pas de planifier les différentes étapes pour mener à bien ces intentions. Kliegel et al. (2000) ont suggéré qu'il pourrait être intéressant de proposer des intentions prospectives complexes, pour lesquelles un effort de planification est nécessaire. Ils ont ainsi utilisé une version modifiée de la tâche des 6 éléments (Shallice & Burgess, 1991), dans laquelle les participants doivent effectuer 6 exercices en 6 minutes avec pour but d'obtenir un score global le plus élevé possible. Le but de cette étude n'est pas seulement de voir si les participants penseront à réaliser la tâche des 6 éléments quand surviendra l'indice prospectif (ici, la question sur leur date de naissance dans un questionnaire), mais aussi d'étudier leur capacité à planifier, puis exécuter, une intention prospective complexe. Leurs résultats montrent que, plus le plan initialement formé est respecté, plus l'exécution de la tâche prospective sera réussie. Selon Lecouvey et al. (2015), une planification précise et complète, si elle est ensuite suivie des étapes telles qu'anticipées, permettrait « une correspondance entre le contexte d'apparition de l'indice

prospectif prévu à l'encodage et le contexte effectif d'apparition de cet indice au moment de la récupération » qui facilite la détection de cet indice prospectif (Lecouvey et al., 2015, p. 202). Dans le TEMP-RV, les intentions en MP sont présentées sous formes de phrases à rappeler oralement quand un certain indice prédéfini est rencontré. Les participants n'ont pas à réfléchir à l'ordre dans lequel ils exécuteront les intentions du TEMP-RV, ni à établir eux-mêmes quel indice sera déclencheur de l'exécution de l'intention. Il se peut alors que l'un des aspects de la MP, à savoir, la formation de l'intention, ne soit pas pleinement évaluée dans le TEMP-RV. Les participants ne sont pas amenés à produire eux-mêmes leurs intentions prospectives, ni à décider à quel indice prospectif les associer. Or, lors des échanges avec les participants à notre étude, nous avons pu constater que les plaintes concernant les oublis en MP étaient parfois liées à une imprécision de l'indice prospectif (par exemple : « j'avais prévu d'aller récupérer les photos dans la semaine », au lieu d'établir un événement ou un moment précis lors duquel aller chercher les photos). De futures recherches prenant en compte cette étape de la formation de l'intention pourraient donc être pertinentes pour explorer de manière exhaustive les potentielles difficultés en MP que peuvent rencontrer les personnes atteintes de SEP.

Enfin, bien que notre étude 3 ouvre des perspectives limitées concernant la remédiation des troubles de la MP dans la SEP rémittente, elle permet d'apporter de nouveaux éléments pour clarifier les effets de l'imagerie mentale sur la MP. En effet, très peu d'études avaient exploré l'effet de l'imagerie mentale sur les deux composantes de la MP de manière distinctes, et aucune étude, à notre connaissance, n'avait exploré l'effet de l'imagerie sur la détection des indices TB. Nos résultats montrent que, si l'imagerie permet effectivement d'améliorer la composante rétrospective de la MP, son effet sur la composante prospective est plus discutable. Dans notre étude 3, nous ne retrouvons aucun effet de l'imagerie sur cette composante prospective. Pour la détection des indices EB, il serait intéressant de comparer une condition « sans imagerie » et « avec imagerie » en utilisant un protocole qui ne permette pas d'emblée un double codage verbal + imagé. Il s'agirait alors de proposer, à l'encodage, les indices EB uniquement sous un format verbal. Pour la détection des indices TB, il aurait été intéressant de mesurer le nombre de fois où les participants vérifient le temps, afin de vérifier si l'imagerie n'a bien, comme nous le supposons, aucun effet sur la stratégie de contrôle du temps. A ce propos, Potvin et al. (2011b) avaient intégré cette mesure à leur étude et n'observaient aucun changement dans la fréquence de vérification du temps, entre la condition contrôle et la condition avec entraînement à l'imagerie mentale.

L'imagerie mentale permet incontestablement d'améliorer les performances à la composante rétrospective de la MP. En revanche, il apparaît que d'autres stratégies pourraient

s'avérer plus efficaces pour favoriser la réussite de la composante prospective, telle que la répétition de l'indice et l'intention durant la phase de rétention (Ihle et al., 2018) ou l'EFT pour visualiser le contexte d'apparition de l'indice (Altgassen et al., 2015 ; Brewer et al., 2010 ; Grilli & McFarland, 2011 ; Paraskevaides et al., 2010). Aux vues des difficultés spécifiques de la détection des indices TB que nous avons observé dans la SEP rémittente, de futures recherches sur des stratégies ciblant cette composante de la MP pourraient être une piste intéressante pour améliorer les capacités de MP dans la SEP rémittente.

Conclusion générale

Ces dernières décennies, les troubles cognitifs dans la SEP ont fait l'objet d'un intérêt grandissant dans la recherche en psychologie cognitive. Les patients atteints de SEP rapportent souvent l'importance de prendre en compte ces symptômes parfois qualifiés d'invisibles, et qui sont pourtant présents continuellement, même en dehors des poussées. Les troubles cognitifs et, *a fortiori*, les troubles de la mémoire prospective (MP), ont pourtant un impact non négligeable sur la vie des patients. Que ce soit pour l'observance des traitements, le maintien d'une activité professionnelle ou les relations sociales, il est essentiel de pouvoir se souvenir qu'il faudra se rappeler de réaliser telle ou telle tâche dans un futur proche. Pour aider les soignants et les patients à mieux identifier les difficultés cognitives qui sont en jeu dans ces problématiques du quotidien, il est essentiel de pouvoir tester les capacités des patients au plus près des situations qu'ils peuvent réellement rencontrer. Pour ce faire, la réalité virtuelle semble présenter un avantage non négligeable. Elle permet de tester, dans un environnement contrôlé et réaliste, les capacités des patients. Elle permet de prendre en compte nombre d'éléments qui sont souvent oubliés dans les tâches en laboratoire, mais qui sont pourtant bien présents dans la réalité : les stimulations sensorielles diverses et variées, la motivation et l'engagement, la valence émotionnelle, etc. Cependant, et même si la réalité virtuelle a bénéficié d'avancées technologiques considérables ces dernières années, il est possible que le décalage avec la vie réelle perdure. Comme l'indiquaient Jones et al. (2021) dans leur méta-analyse sur la qualité écologique des évaluations de la MP, il est essentiel que ces dernières comprennent : (1) la réalisation effective d'une intention future ; (2) dans un environnement autre que celui du laboratoire ; (3) des intentions habituellement pratiquées par le participant, et non artificiellement produites dans le cadre expérimental. Le défi pour le futur serait de créer des outils d'évaluation en réalité virtuelle dans lesquels les personnes effectuent réellement leurs intentions prospectives dans l'environnement virtuel, avec les conséquences qui en découlent, et dans lesquels les intentions prospectives testées pourraient être produites et planifiées par les participants, eux-mêmes.

Le fait de favoriser des projets d'évaluation, mais aussi de remédiation cognitive plus intégrés aux besoins et ressources concrètes des patients dans leur quotidien, pourrait également être une ouverture vers laquelle les résultats de cette thèse nous orientent. Particulièrement dans le cas de la SEP où, comme nous l'avons vu, l'expression de la pathologie prend des formes variées et où les besoins en termes de remédiation cognitive doivent donc être particulièrement adaptés aux déficits spécifiques vécus par la personne. Dans cette thèse, nous avons montré que

l'imagerie mentale visuelle permet d'améliorer les capacités de mémorisation des patients atteints de SEP, assurant un bon fonctionnement de leur mémoire prospective. Toutefois, nos travaux montrent aussi que les capacités de récupération en mémoire des intentions prospective dans la SEP rémittente sont relativement épargnées. L'activité d'imagerie visuelle semble alors être une stratégie d'apprentissage efficace, permettant un double codage des informations, facilitant le souvenir des actions à réaliser dans un futur proche, aussi bien pour les personnes souffrant de SEP que pour les personnes saines, notamment pour se souvenir de l'action à réaliser (i.e. la composante rétrospective de la MP). Néanmoins, il s'avère que les patients atteints de SEP rémittente ont plus de difficultés à détecter les indices « time-based », en lien avec des difficultés exécutives ne permettant pas une surveillance du temps efficace. De futures recherches sur des programmes de remédiation visant les capacités exécutives pourraient s'avérer bénéfiques pour améliorer le quotidien des personnes atteintes de SEP rémittente.

Pour finir, nos travaux affirment l'importance d'une évaluation complète de la MP, et d'une évaluation spécifique des troubles cognitifs dans la SEP rémittente. De futurs travaux pourront cependant amener des précisions que nous n'avons pas pu explorer, comme l'impact de la durée de la pathologie (nombre d'années depuis la première poussée), le rôle de la planification lors de la formation des intentions en MP, ou encore l'effet de la nature habituelle des intentions sur les performances en MP des patients SEP.

Bibliographie

Abel, J. W., Anderson, R. J., Dean, G. M., & Dewhurst, S. A. (2024). Isolating the effects of visual imagery on prospective memory. *Memory*, 32(4), 476-483.

<https://doi.org/10.1080/09658211.2024.2335302>

Aberle, I., Rendell, P. G., Rose, N. S., McDaniel, M. A., & Kliegel, M. (2010). The age prospective memory paradox: young adults may not give their best outside of the lab. *Developmental psychology*, 46(6), 1444. <https://doi.org/10.1037/a0020718>

Agostini, F., Pezzi, L., Paoloni, M., Insabella, R., Attanasi, C., Bernetti, A., ... & Paolucci, T. (2021). Motor imagery: A resource in the fatigue rehabilitation for return-to-work in multiple sclerosis patients—A mini systematic review. *Frontiers in Neurology*, 12, 696276. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.696276>

Alsaleh, M., and Lebreuilly, R. (2017). Validation de la traduction française d'un questionnaire court de dépression de Beck (BDI-FS-Fr). *Annal. Méd. Psychol. Rev. Psychiatr.* 175, 608–616. doi: 10.1016/j.amp.2016.06.015

Altgassen, M., Rendell, P. G., Bernhard, A., Henry, J. D., Bailey, P. E., Phillips, L. H., & Kliegel, M. (2015). Future thinking improves prospective memory performance and plan enactment in older adults. *Quarterly journal of experimental psychology*, 68(1), 192-204. DOI : 10.1080/17470218.2014.956127

Arnett, P. A., Rao, S. M., Grafman, J., Bernardin, L., Luchetta, T., Binder, J. R., & Lobeck, L. (1997). Executive functions in multiple sclerosis: an analysis of temporal ordering, semantic encoding, and planning abilities. *Neuropsychology*, 11(4), 535. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.11.4.535>

Ashworth, B. (1964). Preliminary trial of carisoprodal in multiple sclerosis. *Practitioner* 192, 540-542.

Attree, E. A., Dancey, C. P., & Pope, A. L. (2009). An assessment of prospective memory retrieval in women with chronic fatigue syndrome using a virtual-reality environment:

- an initial study. *CyberPsychology & Behavior*, 12(4), 379-385.
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.11.4.535>
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423. DOI: [10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Working memory and the vividness of imagery. *Journal of experimental psychology: general*, 129(1), 126.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation Vol. 8* (pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Barnes, M. P., Kent, R. M., Semlyen, J. K., & McMullen, K. M. (2003). Spasticity in multiple sclerosis. *Neurorehabilitation and neural repair*, 17(1), 66-70.
<https://doi.org/10.1177/0888439002250449>
- Bedard, M., Taler, V., & Steffener, J. (2018). Long-term prospective memory impairment following mild traumatic brain injury with loss of consciousness: Findings from the Canadian Longitudinal Study on Aging. *The Clinical Neuropsychologist*, 32(5), 1002–1018. <https://doi.org/10.1080/13854046.2017.1404644>
- Begg, I. (1972). Recall of meaningful phrases. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 11(4), 431-439.
- Benedict, R.H.B., Fischer, J.S., Archibald, C.J., Arnett, P.A., Beatty, W.W., Bobholz, J., Chelune, G.J., Fisk, J.D., Langdon, D.W., Caruso, L., Foley, F., LaRocca, N.G., Vowels, L., Weinstein, A., DeLuca, J., Rao, S.M., & Munschauer, F. (2002). Minimal Neuropsychological Assessment of MS Patients: A Consensus Approach. *Clinical Neuropsychologist*, 16, 381–397. <https://doi.org/10.1076/clin.16.3.381.13859>
- Benedict, R. H., Amato, M. P., Boringa, J., Brochet, B., Foley, F., Fredrikson, S., ... & Langdon, D. (2012). Brief International Cognitive Assessment for MS (BICAMS): international standards for validation. *BMC neurology*, 12, 1-7. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-55>

- Benedict, R. H., Amato, M. P., DeLuca, J., & Geurts, J. J. (2020). Cognitive impairment in multiple sclerosis: clinical management, MRI, and therapeutic avenues. *The Lancet Neurology*, 19(10), 860-871. DOI: [10.1016/S1474-4422\(20\)30277-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(20)30277-5)
- Bertrando, P., Maffei, C., & Ghezzi, A. (1983). A study of neuropsychological alterations in multiple sclerosis. *Acta Psychiatrica Belgica*, 83(1), 13-21.
- Béthoux, F. (2006, July). Fatigue et sclérose en plaques. In *Annales de réadaptation et de médecine physique* (Vol. 49, No. 6, pp. 265-271). Elsevier Masson. DOI 10.1016/j.annrmp.2005.03.007
- Betts, G. H. (1909). *The distribution and functions of mental imagery*. New York: Teachers College, Columbia University.
- Blondelle, G., Hainselin, M., Gounden, Y., & Quaglino, V. (2020). Instruments measuring prospective memory: a systematic and meta-analytic review. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 35(5), 576-596. <https://doi.org/10.1093/arclin/acia009>
- Bohannon, R. W., & Smith, M. B. (1987). Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physical therapy*, 67(2), 206-207. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.2.206>
- Bovend'Eerd, T. J., Dawes, H., Sackley, C., Izadi, H., & Wade, D. T. (2009). Mental techniques during manual stretching in spasticity—a pilot randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 23(2), 137-145. <https://doi.org/10.1177/0269215508097298>
- Bovend'Eerd, T. J., Dawes, H., Sackley, C., Izadi, H., & Wade, D. T. (2010). An integrated motor imagery program to improve functional task performance in neurorehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91(6), 939-946. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.03.008>
- Bower, G. H. (1970). Imagery as a relational organizer in associative learning. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 9(5), 529-533.

- Bower, G. H. (1972). Mental imagery and associative learning. In L. W. Gregg, *Cognition in learning and memory*. John Wiley & Sons.
- Brandimonte, M. A., & Passolunghi, M. C. (1994). The effect of cue-familiarity, cue-distinctiveness, and retention interval on prospective remembering. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47(3), 565-587. <https://doi.org/10.1080/14640749408401128>
- Brando, E., Charest, K., Tremblay, A., Roger, E., Duquette, P., & Rouleau, I. (2023). Prospective memory in multiple sclerosis: clinical utility of the Miami Prospective Memory Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 37(2), 350-370. <https://doi.org/10.1080/13854046.2022.2055650>
- Brassat, D. (2010). Physiopathologie de la sclérose en plaques. *La presse médicale*, 39(3), 341-348. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2009.12.001>
- Bravin, J. H., Kinsella, G. J., Ong, B., & Vowels, L. (2000). A study of performance of delayed intentions in multiple sclerosis. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 22(3), 418-429. [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200006\)22:3;1-V;FT418](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200006)22:3;1-V;FT418)
- Brewer, G. A., Knight, J. B., Marsh, R. L., & Unsworth, N. (2010). Individual differences in event-based prospective memory: Evidence for multiple processes supporting cue detection. *Memory & cognition*, 38, 304-311. <https://doi.org/10.3758/MC.38.3.304>
- Brewer, G. A., Knight, J., Meeks, J. T., & Marsh, R. L. (2011). On the role of imagery in event-based prospective memory. *Consciousness and cognition*, 20(3), 901-907. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.02.015>
- Brownell, B., & Hughes, J. T. (1962). The distribution of plaques in the cerebrum in multiple sclerosis. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 25(4), 315.
- Bruce, J. M., Hancock, L. M., Arnett, P., & Lynch, S. (2010). Treatment adherence in multiple

- sclerosis: association with emotional status, personality, and cognition. *Journal of behavioral medicine*, 33, 219-227. <https://doi.org/10.1007/s10865-010-9247-y>
- Bruchon-Schweitzer, M., & Paulhan, I. (1993). Manuel de l'inventaire d'anxiété état-trait forme Y (STAI-Y). *Adapté par Bruchon-Schweitzer et Paulhan, Paris.*
- Burkard, C., Rochat, L., Van der Linden, A. C. J., Gold, G., & Van der Linden, M. (2014). Is working memory necessary for implementation intentions to enhance prospective memory in older adults with cognitive problems ?. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(1), 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2014.01.004>
- Burton, L. J., & Fogarty, G. J. (2003). The factor structure of visual imagery and spatial abilities. *Intelligence*, 31(3), 289-318. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00139-3](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00139-3)
- Buschke H. Selective reminding for analysis of memory and learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1973;12(5):543–550. doi:10.1016/S0022-5371(73)80034-9.
- Canellopoulou, M., & Richardson, J. T. (1998). The role of executive function in imagery mnemonics: evidence from multiple sclerosis. *Neuropsychologia*, 36(11), 1181-1188. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00173-5](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00173-5)
- Canty, A. L., Fleming, J., Patterson, F., Green, H. J., Man, D., & Shum, D. H. (2014). Evaluation of a virtual reality prospective memory task for use with individuals with severe traumatic brain injury. *Neuropsychological rehabilitation*, 24(2), 238-265. <https://doi.org/10.1080/09602011.2014.881746>
- Carey, C. L., Paul Woods, S., Rippeth, J. D., Heaton, R. K., Grant, I., & HIV Neurobehavioral Research Center (HNRC) Group. (2006). Prospective memory in HIV-1 infection. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 28(4), 536-548. <https://doi.org/10.1080/13803390590949494>
- Cerezo García, M., Martín Plasencia, P., & Aladro Benito, Y. (2015). Alteration profile of executive functions in multiple sclerosis. *Acta Neurologica Scandinavica*, 131(5), 313-

320. <https://doi.org/10.1111/ane.12345>

Chanial, C., Borg, C., Camdessanche, J. P., & Thomas-Anterion, C. (2015). Planification de la visite du zoo (batterie BADS) et niveau de handicap dans la sclérose en plaques récurrente rémittente. *Revue de neuropsychologie*, 161-166.

Chasteen, A. L., Park, D. C., & Schwarz, N. (2001). Implementation intentions and facilitation of prospective memory. *Psychological Science*, 12(6), 457-461. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00385>

Chaytor, N., & Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The ecological validity of neuropsychological tests: A review of the literature on everyday cognitive skills. *Neuropsychology review*, 13, 181-197. <https://doi.org/10.1023/B:NERV.00000009483.91468.fb>

Chen, X. J., Wang, Y., Liu, L. L., Cui, J. F., Gan, M. Y., Shum, D. H., & Chan, R. C. (2015). The effect of implementation intention on prospective memory: A systematic and meta-analytic review. *Psychiatry research*, 226(1), 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.01.011>

Cheng, L., Tu, M. C., Huang, W. H., & Hsu, Y. H. (2021). Effects of mental imagery on prospective memory: A process analysis in individuals with amnesic mild cognitive impairment. *Gerontology*, 67(6), 718-728. <https://doi.org/10.1159/000514869>

Chiaravalloti, N. D., DeLuca, J., Moore, N. B., & Ricker, J. H. (2005). Treating learning impairments improves memory performance in multiple sclerosis: a randomized clinical trial. *Multiple Sclerosis Journal*, 11(1), 58-68. <https://doi.org/10.1191/1352458505ms1118oa>

Chiaravalloti, N. D., & DeLuca, J. (2008). Cognitive impairment in multiple sclerosis. *The Lancet Neurology*, 7(12), 1139-1151. DOI: [10.1016/S1474-4422\(08\)70259-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70259-X)

Chiaravalloti, N. D., Moore, N. B., Nikelshpur, O. M., & DeLuca, J. (2013). An RCT to treat learning impairment in multiple sclerosis: The MEMREHAB trial. *Neurology*, 81(24),

- Cohen, A. L., Dixon, R. A., Lindsay, D. S., & Masson, M. E. (2003). The effect of perceptual distinctiveness on the prospective and retrospective components of prospective memory in young and old adults. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 57(4), 274. <https://doi.org/10.1037/h0087431>
- Cona, G., Scarpazza, C., Sartori, G., Moscovitch, M., & Bisiacchi, P. S. (2015). Neural bases of prospective memory: a meta-analysis and the “Attention to Delayed Intention” (AtoDI) model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 52, 21-37. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.02.007>
- Cook, G. I., Marsh, R. L., & Hicks, J. L. (2005). Associating a time-based prospective memory task with an expected context can improve or impair intention completion. *Applied Cognitive Psychology*, 19(3), 345-360. <https://doi.org/10.1002/acp.1082>
- Cook, D. A., & Beckman, T. J. (2006). Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. *The American journal of medicine*, 119(2), 166-e7. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.10.036>
- Costa, A., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2011). Prospective memory impairment in mild cognitive impairment: An analytical review. *Neuropsychology Review*, 21, 390-404. <https://doi.org/10.1007/s11065-011-9172-z>
- Costa, A., Carlesimo, G. A., & Caltagirone, C. (2012). Prospective memory functioning: a new area of investigation in the clinical neuropsychology and rehabilitation of Parkinson's disease and mild cognitive impairment. Review of evidence. *Neurological Sciences*, 33, 965-972. <https://doi.org/10.1007/s10072-012-0935-y>
- Craik, F. I. (2007). Encoding: A cognitive perspective. *Science of memory: Concepts*, 129-135.
- Crawford, J., Smith, G., Maylor, E., Della Sala, S., & Logie, R. (2003). The Prospective and Retrospective Memory Questionnaire (PRMQ): Normative data and latent structure in

- a large non-clinical sample. *Memory*, 11(3), 261-275.
<https://doi.org/10.1080/09658210244000027>
- Cutter, G. R., Baier, M. L., Rudick, R. A., Cookfair, D. L., Fischer, J. S., Petkau, J.,..... & Willoughby, E. (1999). Development of a multiple sclerosis functional composite as a clinical trial outcome measure. *Brain*, 122(5), 871-882.
<https://doi.org/10.1093/brain/122.5.871>
- D'Angiulli, A., & Reeves, A. (2007). The relationship between self-reported vividness and latency during mental size scaling of everyday items: phenomenological evidence of different types of imagery. *The American journal of psychology*, 120(4), 521-551.
<https://doi.org/10.2307/20445424>
- Dagenais, E., Rouleau, I., Tremblay, A., Demers, M., Roger, É., Jobin, C., & Duquette, P. (2016a). Role of executive functions in prospective memory in multiple sclerosis: Impact of the strength of cue–action association. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 38(1), 127-140. <https://doi.org/10.1080/13803395.2015.1091063>
- Dagenais, E., Rouleau, I., Tremblay, A., Demers, M., Roger, É., Jobin, C., & Duquette, P. (2016b). Prospective memory in multiple sclerosis: The impact of cue distinctiveness and executive functioning. *Brain and cognition*, 109, 66-74.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.07.011>
- Davis, C., Langley, R.W., Ho, M-Y., Bradshaw, C.M., & Szabadi, E. (2000). Normative data on a computerized graded conditional discrimination (choice reaction time) task. *Clinical Neuropsychological Assessment*, 3, 217–230
- Decety, J., & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in cognitive sciences*, 3(5), 172-178. DOI: [10.1016/S1364-6613\(99\)01312-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01312-1)
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., and Ober, B. A. (1987). *The California Verbal Learning Test: Research Edition, Adult Version*, The Psychological Corporation. San Antonio,

- TX.
- Deloire, M. S., Bonnet, M. C., Salort, E., Arimone, Y., Boudineau, M., Petry, K. G., & Brochet, B. (2006). How to detect cognitive dysfunction at early stages of multiple sclerosis?. *Multiple Sclerosis Journal*, 12(4), 445-452.
<https://doi.org/10.1191/1352458506ms1289oa>
- Deloire, M., Saubusse, A., Charre-Morrin, J., Ruet, A., Brochet, B., & BICAFMS study group. (2018). Validation d'une version française informatisée du Brief International Cognitive Assessment for Multiple Sclerosis (BICAMS) dans une population de patients présentant une sclérose en plaques. *Revue Neurologique*, 174, S153-S154.
<https://doi.org/10.1016/j.neurol.2018.01.353>
- Delprado, J., Kinsella, G., Ong, B., Pike, K., Ames, D., Storey, E., ... & Rand, E. (2012). Clinical measures of prospective memory in amnesic mild cognitive impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(2), 295-304.
[DOI:10.1017/S135561771100172X](https://doi.org/10.1017/S135561771100172X)
- DeLuca, J., Barbieri-Beger, S. & Johnson, S. K. (1994). The nature of memory impairments in multiple sclerosis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16, 183-189.
- DeLuca, J., Gaudino, E. A., Diamond, B. J., Christodoulou, C., & Engel, R. A. (1998). Acquisition and storage deficits in multiple sclerosis. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 20(3), 376-390.
<https://doi.org/10.1076/jcen.20.3.376.819>
- DeLuca, J., Chelune, G. J., Tulskey, D. S., Lengenfelder, J., & Chiaravalloti, N. D. (2004). Is speed of processing or working memory the primary information processing deficit in multiple sclerosis?. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 26(4), 550-562. <https://doi.org/10.1080/13803390490496641>
- Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Depaz, R., Aboab, J., & Gout, O. (2013). Actualités dans le diagnostic et la prise en charge

thérapeutique de la sclérose en plaques. *La Revue de médecine interne*, 34(10), 628-635.
<https://doi.org/10.1016/j.revmed.2013.02.011>

- Derouesne, C. D. J. M., Dealberto, M. J., Boyer, P., Lubin, S., Sauron, B., Piette, F., ... & Alperovitch, A. (1993). Empirical evaluation of the 'Cognitive Difficulties Scale' for assessment of memory complaints in general practice: A study of 1628 cognitively normal subjects aged 45–75 years. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 8(7), 599-607. <https://doi.org/10.1002/gps.930080712>
- Desgranges, B., Eustache, F., Tulving, E., Guillery-Girard, B., Amieva, H., Thomas-Antérion, C., ... & Demeilliez-Servouin, S. (2020). Les nouveaux chemins de la mémoire. *Poche-Le Pommier*, 130p.
- Dettmers, C., Benz, M., Liepert, J., & Rockstroh, B. (2012). Motor imagery in stroke patients, or plegic patients with spinal cord or peripheral diseases. *Acta Neurologica Scandinavica*, 126(4), 238-247. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2012.01680.x>
- Di Rienzo, F., Collet, C., Hoyek, N., & Guillot, A. (2014). Impact of neurologic deficits on motor imagery: a systematic review of clinical evaluations. *Neuropsychology review*, 24, 116-147. <https://doi.org/10.1007/s11065-014-9257-6>
- Dobson, R., & Giovannoni, G. (2019). Multiple sclerosis—a review. *European journal of neurology*, 26(1), 27-40. <https://doi.org/10.1111/ene.13819>
- Dong, D., Wong, L. K., Luo, Z., & Quan, C. (2016, December). A novel approach for assessing prospective memory using immersive virtual reality task. In *2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)* (pp. 1888-1893). IEEE.
- Drew, M., Tippet, L. J., Starkey, N. J., & Isler, R. B. (2008). Executive dysfunction and cognitive impairment in a large community-based sample with Multiple Sclerosis from New Zealand: a descriptive study. *Archives of clinical neuropsychology*, 23(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.09.005>
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., Pillon, B., (2000). The FAB: A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55: 1621- 1626. <https://doi.org/10.1212/WNL.55.11.1621>

- Duivon, M., Perrier, J., Joly, F., Licaj, I., Grellard, J. M., Clarisse, B., ... & Giffard, B. (2018). Impact of breast cancer on prospective memory functioning assessed by virtual reality and influence of sleep quality and hormonal therapy: PROSOM-K study. *BMC cancer*, 18, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s12885-018-4762-2>
- Dujardin, K., Sockeel, P., Cabaret, M., De Sèze, J., & Vermersch, P. (2004). La BCcogSEP: une batterie courte d'évaluation des fonctions cognitives destinées aux patients souffrant de sclérose en plaques. *Revue Neurologique*, 160(1), 51-62. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(04\)70847-4](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(04)70847-4)
- Ebers, G. C. (2008). Environmental factors and multiple sclerosis. *The Lancet Neurology*, 7(3), 268-277.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 16(4), 717. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.4.717>
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Richardson, S. L., Guynn, M. J., & Cunfer, A. R. (1995). Aging and prospective memory: examining the influences of self-initiated retrieval processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 996.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1996). Retrieval processes in prospective memory: Theoretical approaches and some new empirical findings. *Prospective memory: Theory and applications*, 115-141.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Smith, R. E. and Shaw, P. 1998. Habitual prospective memory and aging: Remembering intentions and forgetting actions. *Psychological Science*, 9 : 284 – 288. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.0005>
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Thomas, R., Mayfield, S., Shank, H., Morrisette, N., & Breneiser, J. (2005). Multiple processes in prospective memory retrieval: factors

- determining monitoring versus spontaneous retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(3), 327. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.3.327>
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2005). Prospective memory: Multiple retrieval processes. *Current Directions in Psychological Science*, 14(6), 286-290. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00382.x>
- Ellis, J. (1996). Prospective memory or the realization of delayed intentions: A conceptual framework for research. *Prospective memory: Theory and applications*, 1-22.
- Ellis, J., & Kvavilashvili, L. (2000). Prospective memory in 2000: Past, present, and future directions. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S1-S9. <https://doi.org/10.1002/acp.767>
- Ellis, J. A., & Freeman, J. E. (2008). Ten years on: Realizing delayed intentions. In M. Kliegel, M. A. McDaniel, & G. O. Einstein (Eds.), *Prospective memory: Cognitive, neuroscience, developmental, and applied perspectives* (pp. 1–27). Taylor & Francis Group/Lawrence Erlbaum Associates.
- Engelkamp, J., & Cohen, R. L. (1991). Current issues in memory of action events. *Psychological Research*, 53, 175-182.
- Engelkamp, J., Zimmer, H. D., & Denis, M. (1989). Paired associate learning of action verbs with visual-or motor-imaginal encoding instructions. *Psychological Research*, 50(4), 257-263.
- Ernst, A., Blanc, F., Voltzenlogel, V., De Seze, J., Chauvin, B., & Manning, L. (2013). Autobiographical memory in multiple sclerosis patients: assessment and cognitive facilitation. *Neuropsychological rehabilitation*, 23(2), 161-181. <https://doi.org/10.1080/09602011.2012.724355>
- Ernst, A., Blanc, F., De Seze, J., & Manning, L. (2015). Using mental visual imagery to improve autobiographical memory and episodic future thinking in relapsing-remitting multiple

- sclerosis patients: a randomised-controlled trial study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 33(5), 621-638. DOI: 10.3233/RNN-140461
- Eslinger, P. J., & Grattan, L. M. (1993). Frontal lobe and frontal-striatal substrates for different forms of human cognitive flexibility. *Neuropsychologia*, 31(1), 17-28.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: towards the integration of current multisystem models of memory. *Neuropsychology review*, 18, 53-69. <https://doi.org/10.1007/s11065-008-9052-3>
- Evans, J.J., Wilson, B.A., Needham, P., & Brentnall, S. (2003). Who 1294 makes good use of memory-aids? Results of a survey of 100 1295 people with acquired brain injury. *J Int Neuropsychol Soc*, 9(6), 1296 925-935. <https://doi.org/10.1017/S1355617703960127>
- Farah, M. J. (1985). Psychophysical evidence for a shared representational medium for mental images and percepts. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(1), 91.
- Farah, M. J., Péronnet, F., Gonon, M. A., & Giard, M. H. (1988). Electrophysiological evidence for a shared representational medium for visual images and visual percepts. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(3), 248.
- 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. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Faytell, M. P., Doyle, K. L., Naar-King, S., Outlaw, A. Y., Nichols, S. L., Casaletto, K. B., & Woods, S. P. (2017). Visualisation of future task performance improves naturalistic prospective memory for some younger adults living with HIV disease. *Neuropsychological rehabilitation*, 27(8), 1142-1155. <https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1122636>
- Feltz, D., & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance: a meta-analysis. *J Sport Psychol* 5: 25-57.

- Fischer, J. S., Rudick, R. A., Cutter, G. R., Reingold, S. C., & National MS Society Clinical Outcomes Assessment Task Force. (1999). The Multiple Sclerosis Functional Composite measure (MSFC): an integrated approach to MS clinical outcome assessment. *Multiple Sclerosis Journal*, 5(4), 244-250. <https://doi.org/10.1177/135245859900500409>
- Fish, J., Wilson, B. A., & Manly, T. (2010). The assessment and rehabilitation of prospective memory problems in people with neurological disorders: A review. *Neuropsychological rehabilitation*, 20(2), 161-179. <https://doi.org/10.1080/09602010903126029>
- Foulon, S., Maura, G., Dalichampt, M., Alla, F., Debouverie, M., Moreau, T., & Weill, A. (2017). Prevalence and mortality of patients with multiple sclerosis in France in 2012: a study based on French health insurance data. *Journal of neurology*, 264, 1185-1192. <https://doi.org/10.1007/s00415-017-8513-0>
- Gallien, P., Nicolas, B., & Guichet, A. (2012). Le point sur la sclérose en plaques. *Kinésithérapie, la revue*, 12(125), 17-22. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2012.04.005>
- Gaudino, E. A., Chiaravalloti, N. D., DeLuca, J., & Diamond, B. J. (2001). A comparison of memory performance in relapsing–remitting, primary progressive and secondary progressive, multiple sclerosis. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 14(1), 32-44.
- Gil-Bermejo-Bernardez-Zerpa, A., Moral-Munoz, J. A., Lucena-Anton, D., & Luque-Moreno, C. (2021). Effectiveness of motor imagery on motor recovery in patients with multiple sclerosis: systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 498. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020498>
- Gioia, G. A., & Isquith, P. K. (2004). Ecological assessment of executive function in traumatic brain injury. *Developmental neuropsychology*, 25(1-2), 135-158. <https://doi.org/10.1080/87565641.2004.9651925>

- Girardeau, J. C., Blondé, P., Makowski, D., Abram, M., Piolino, P., & Sperduti, M. (2020). The impact of state and dispositional mindfulness on prospective memory: a virtual reality study. *Consciousness and cognition*, 81, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2020.102920>
- Godefroy, O., Rousseaux, M., Leys, D., Destee, A., Scheltens, P., Pruvo, J.P. (1992). Frontal lobe dysfunction in unilateral lenticulostriate infarcts. Prominent role of cortical lesions. *Arch Neurol*, 49, 1285-1289.
- Gollwitzer, P. M. (1999). Implementation intentions: strong effects of simple plans. *American psychologist*, 54(7), 493. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.7.493>
- Gollwitzer, P. M., & Schaal, B. (2013). Metacognition in action: The importance of implementation intentions. In *Metacognition* (pp. 124-136). Psychology Press.
- Gonneaud, J., Piolino, P., Lecouvey, G., Madeleine, S., Orriols, E., Fleury, P., ... & Desgranges, B. (2012, September). Assessing prospective memory in young healthy adults using virtual reality. In *Proceedings of the international conference on disability, virtual reality, and associated technologies*. Reading: The University of Reading.
- Grafman, J., Rao, S., Bernardin, L., & Leo, G. J. (1991). Automatic memory processes in patients with multiple sclerosis. *Archives of Neurology*, 48(10), 1072-1075.
- Greenberg, D. L., & Knowlton, B. J. (2014). The role of visual imagery in autobiographical memory. *Memory & cognition*, 42, 922-934. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0402-5>
- Grilli, M. D., & McFarland, C. P. (2011). Imagine that: Self-imagination improves prospective memory in memory-impaired individuals with neurological damage. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(6), 847-859. <https://doi.org/10.1080/09602011.2011.627263>
- Gronwall, D. (1977). Paced auditory serial-addition task: a measure of recovery from concussion. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 367-373.

- Groot, Y. C., Wilson, B. A., Evans, J., & Watson, P. (2002). Prospective memory functioning in people with and without brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(5), 645-654.
<https://doi.org/10.1017/S1355617702801321>
- Grossi, D., Modafferi, A., Pelosi, L., & Trojano, L. (1989). On the different roles of the cerebral hemispheres in mental imagery: The “O’Clock Test” in two clinical cases. *Brain and Cognition*, 10(1), 18-27.
- Guerdoux-Ninot, E., Martin, S., Jailliard, A., Brouillet, D., & Trouillet, R. (2019). Validity of the French Prospective and Retrospective Memory Questionnaire (PRMQ) in healthy controls and in patients with no cognitive impairment, mild cognitive impairment and Alzheimer disease. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 41(9), 888-904. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1625870>
- Guillot, A., Hoyek, N., Louis, M., & Collet, C. (2012). Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 3-22. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2011.623787>
- Hall, C.R., & Martin, K.A. (1997). Measuring movement imagery abilities: A revision of the Movement Imagery Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21, 143–154.
- Hannon, R., Adams, P., Harrington, S., Fries-Dias, C., & Gipson, M. T. (1995). Effects of brain injury and age on prospective memory self-rating and performance. *Rehabilitation Psychology*, 40(4), 289.
- Harris, J. E., & Wilkins, A. J. (1982). Remembering to do things: A theoretical framework and an illustrative experiment. *Human Learning*, 1(2), 123-136.
- Haupts, M., Calabrese, P., Babinsky, R., Markowitsch, H. J., & Gehlen, W. (1994). Everyday memory impairment, neuroradiological findings and physical disability in multiple sclerosis. *European Journal of Neurology*, 1(2), 159-163.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.1994.tb00065.x>

- Haxby, J. V., Grady, C. L., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mishkin, M., Carson, R. E., ... & Rapoport, S. I. (1991). Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(5), 1621-1625. <https://doi.org/10.1073/pnas.88.5.1621>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G. & Curtiss, G. (1993). Wisconsin Card Sorting Test manual: Revised and Expanded. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources
- Heeter, C.: "Being there: the subjective experience of presence", *Presence: Teleoperator and virtual Environments*, 1, 2 (1992), 262-71.
- Hefer, C., Cohen, A. L., Jaudas, A., & Dreisbach, G. (2017). The flexible engagement of monitoring processes in non-focal and focal prospective memory tasks with salient cues. *Acta Psychologica*, 179, 42-53. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.06.008>
- Heffernan, T., O'Neill, T., & Moss, M. (2010). Smoking and everyday prospective memory: a comparison of self-report and objective methodologies. *Drug and alcohol dependence*, 112(3), 234-238. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2010.06.012>
- Heffernan, T. M., & O' Neill, T. S. (2013). Everyday Prospective Memory and Executive Function Deficits Associated with Exposure to Second-Hand Smoke. *Journal of Addiction*, 2013(1), 160486. <https://doi.org/10.1155/2013/160486>
- Henry, J. D., & Beatty, W. W. (2006). Verbal fluency deficits in multiple sclerosis. *Neuropsychologia*, 44(7), 1166-1174. doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.006
- Henry, J. D. (2021). Prospective memory impairment in neurological disorders: implications and management. *Nature Reviews Neurology*, 17(5), 297-307.
- Heremans, E., D'hooge, A. M., De Bondt, S., Helsen, W., & Feys, P. (2012). The relation between cognitive and motor dysfunction and motor imagery ability in patients with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, 18(9), 1303-1309.

- Hernandez Cardenache, R., Burguera, L., Acevedo, A., Curiel, R., & Loewenstein, D. (2014). Evaluating different aspects of prospective memory in amnestic and nonamnestic mild cognitive impairment. *ISRN Neurology*, *2014*, 805929–805927. <https://doi.org/10.1155/2014/805929>
- Herndon, R. M. (2006). Multiple Sclerosis Scales. *Multiple Sclerosis for the Practicing Neurologist*, *5*, 85.
- Hicks, J. L., Marsh, R. L., & Russell, E. J. (2000). The properties of retention intervals and their affect on retaining prospective memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(5), 1160. DOI : 10.1037/0278-7393.26.5.1160
- Hogan, C., Cornwell, P., Fleming, J., Man, D. W., & Shum, D. H. (2023). Assessment of prospective memory after stroke utilizing virtual reality. *Virtual Reality*, *27*(1), 333-346. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00576-5>
- Honan, C. A., Brown, R. F., & Batchelor, J. (2015). Perceived cognitive difficulties and cognitive test performance as predictors of employment outcomes in people with multiple sclerosis. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *21*(2), 156-168. <https://doi.org/10.1017/S1355617715000053>
- Hooper, H. E. (1958). *The Hooper visual organisation test. manual*. WPS.
- Huijbers, W., Pennartz, C. M., Rubin, D. C., & Daselaar, S. M. (2011). Imagery and retrieval of auditory and visual information: neural correlates of successful and unsuccessful performance. *Neuropsychologia*, *49*(7), 1730-1740. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.051>
- Hunt, R. Reed, and Gilles O. Einstein. "Relational and item-specific information in memory." *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* *20.5* (1981): 497-514.
- Hussey, E. P., Smolinsky, J. G., Piryatinsky, I., Budson, A. E., & Ally, B. A. (2012). Using

- mental imagery to improve memory in patients with Alzheimer disease: trouble generating or remembering the mind's eye?. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 26(2), 124-134. DOI: 10.1097/WAD.0b013e31822e0f73
- Hsu, Y. H., Huang, C. F., Tu, M. C., & Hua, M. S. (2014). The clinical utility of informants' appraisals on prospective and retrospective memory in patients with early Alzheimer's disease. *PLoS One*, 9(11), e112210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112210>
- Hsu, Y. H., Huang, C. F., Tu, M. C., & Hua, M. S. (2015). Prospective memory in subjective cognitive decline: a preliminary study on the role of early cognitive marker in dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 29(3), 229-235. DOI: 10.1097/WAD.0000000000000060
- Hulbert, J. C., & Anderson, M. C. (2008). The role of inhibition in learning. *Advances in Psychology*, 139, 7-20. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)10002-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)10002-4)
- Huppert, F. A., Johnson, T., & Nickson, J. (2000). High prevalence of prospective memory impairment in the elderly and in early-stage dementia: Findings from a population-based study. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S63-S81. <https://doi.org/10.1002/acp.771>
- Ietswaart, M., Johnston, M., Dijkerman, H. C., Joice, S., Scott, C. L., MacWalter, R. S., & Hamilton, S. J. (2011). Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain*, 134(5), 1373-1386. <https://doi.org/10.1093/brain/awr077>
- Ihle, A., Albiński, R., Gurynowicz, K., & Kliegel, M. (2018). Four-week strategy-based training to enhance prospective memory in older adults: Targeting intention retention is more beneficial than targeting intention formation. *Gerontology*, 64(3), 257-265. <https://doi.org/10.1159/000485796>
- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(8), 1133-1141. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.24286>

- Jeannerod, M. (1995). Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia* 33, 1419–1432. doi: 10.1016/0028-3932(95)00073-c
- Joly, H., Cohen, M., & Lebrun, C. (2014). Demonstration of a lexical access deficit in relapsing-remitting and secondary progressive forms of multiple sclerosis. *Revue neurologique*, 170(8-9), 527-530. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2014.05.003>
- Joly, H., Cohen, M., Bresch, S., & Lebrun-Frenay, C. (2019). Impact of executive dysfunction on naming ability in multiple sclerosis. *Revue Neurologique*, 175(9), 552-559. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2019.02.008>
- Jones, W. E., Benge, J. F., & Scullin, M. K. (2021). Preserving prospective memory in daily life: A systematic review and meta-analysis of mnemonic strategy, cognitive training, external memory aid, and combination interventions. *Neuropsychology*, 35(1), 123. DOI:10.1037/neu0000704
- Julian, L. J., & Arnett, P. A. (2009). Relationships among anxiety, depression, and executive functioning in multiple sclerosis. *The Clinical Neuropsychologist*, 23(5), 794-804. <https://doi.org/10.1080/13854040802665808>
- Kabiri, S., Jameie, M., Balali, P., Adib Moradi, S., Sanjari Moghaddam, H., Aghamollaii, V., & Harirchian, M. H. (2023). Trail Making Test could predict impairment in cognitive domains in patients with multiple sclerosis: a study of diagnostic accuracy. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 38(1), 37-48. <https://doi.org/10.1093/arclin/acac059>
- Kardiasmenos, K. S., Clawson, D. M., Wilken, J. A., & Wallin, M. T. (2008). Prospective memory and the efficacy of a memory strategy in multiple sclerosis. *Neuropsychology*, 22(6), 746. DOI : 10.1037/a0013211
- Kellor, M., Frost, J., Silberberg, N., Iversen, I., & Cummings, R. (1971). Hand strength and dexterity. *The American journal of occupational therapy: official publication of the American Occupational Therapy Association*, 25(2), 77-83.
- Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., & Lilienthal. (1993). A simulator sickness

- questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3) 203-220.
- Kime, S.K., Lamb, D.G., & Wilson, B.A. (1996). Use of a comprehensive programme of external cueing to enhance procedural memory in a patient with dense amnesia. *Brain Injury*, 10, 17–25. <https://doi.org/10.1080/026990596124683>
- Kixmiller, J. S. (2002). Evaluation of prospective memory training for individuals with mild Alzheimer's disease. *Brain and Cognition*, 49(2), 237-241.
- Kliegel, M., Martin, M., McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2001). Varying the importance of a prospective memory task: Differential effects across time-and event-based prospective memory. *Memory*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/09658210042000003>
- Kliegel, M., Martin, M., McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2002). Complex prospective memory and executive control of working memory: A process model. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 44(2), 303.
- Kliegel, M., Ramuschkat, G., & Martin, M. (2003). Executive functions and prospective memory performance in old age: An analysis of event-based and time-based prospective memory: Eine differentielle Analyse von ereignis-und zeitbasierter prospektiver Gedächtnisleistung. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 36, 35-41.
- Kliegel, M., Martin, M., McDaniel, M., & Einstein, G. (2004). Importance effects on performance in event-based prospective memory tasks. *Memory*, 12(5), 553-561. <https://doi.org/10.1080/09658210344000099>
- Kliegel, M., & Jäger, T. (2006). Can the prospective and retrospective memory questionnaire (PRMQ) predict actual prospective memory performance ?. *Current Psychology*, 25(3), 182-191. <https://doi.org/10.1007/s12144-006-1002-8>
- Kliegel, M., Jäger, T., & Phillips, L. H. (2008). Adult age differences in event-based prospective memory: a meta-analysis on the role of focal versus nonfocal cues. *Psychology and aging*, 23(1), 203. DOI: 10.1037/0882-7974.23.1.203

- Kliegel, M., Altgassen, M., Hering, A., & Rose, N. S. (2011). A process-model based approach to prospective memory impairment in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 49(8), 2166-2177. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.024>
- Knight, R. G., & Titov, N. (2009). Use of virtual reality tasks to assess prospective memory: applicability and evidence. *Brain impairment*, 10(1), 3-13. <https://doi.org/10.1375/brim.10.1.3>
- Koriat, A., & Pearlman-Avnion, S. (2003). Memory organization of action events and its relationship to memory performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(3), 435. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.3.435>
- Kosslyn, S. M. (1980). *Image and mind*. Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M., Ball, T. M., & Reiser, B. J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 4, 47-60.
- Kosslyn, S. M., Brunn, J., Cave, K. R., & Wallach, R. W. (1984). Individual differences in mental imagery ability: A computational analysis. *Cognition*, 18(1-3), 195-243.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Maljkovic, V., Weise, S. B., Chabris, C. F., ... & Buonanno, F. S. (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of cognitive neuroscience*, 5(3), 263-287. <https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.3.263>
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Klm, I. J., & Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, 378(6556), 496-498.
- Kosslyn, S. M., Pascual-Leone, A., Felician, O., Camposano, S., Keenan, J. P., Ganis, G., ... & Alpert, N. M. (1999). The role of area 17 in visual imagery: convergent evidence from PET and rTMS. *Science*, 284(5411), 167-170. DOI: 10.1126/science.284.5411.167

- Kosslyn, S. M., & Thompson, W. L. (2003). When is early visual cortex activated during visual mental imagery?. *Psychological bulletin*, 129(5), 723. DOI: 10.1037/0033-2909.129.5.723
- Kourtesis, P., Collina, S., Doumas, L. A., & MacPherson, S. E. (2021). An ecologically valid examination of event-based and time-based prospective memory using immersive virtual reality: The effects of delay and task type on everyday prospective memory. *Memory*, 29(4), 486-506. <https://doi.org/10.1080/09602011.2021.2008983>
- Kourtesis, P., & MacPherson, S. E. (2023). An ecologically valid examination of event-based and time-based prospective memory using immersive virtual reality: The influence of attention, memory, and executive function processes on real-world prospective memory. *Neuropsychological Rehabilitation*, 33(2), 255-280. <https://doi.org/10.1080/09602011.2021.2008983>
- Kurtzke, J. F. (1983). Rating neurologic impairment in multiple sclerosis: an expanded disability status scale (EDSS). *Neurology*, 33(11), 1444-1444.
- Kvavilashvili, L. (1987). Remembering intention as a distinct form of memory. *British journal of psychology*, 78(4), 507-518. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1987.tb02265.x>
- Kvavilashvili, L., & Ellis, J. (1996). Varieties of intention: Some distinctions and classifications. *Prospective memory: Theory and applications*, 6, 183-207.
- Lajeunesse, A., Potvin, M. J., Audy, J., Paradis, V., Giguère, J. F., & Rouleau, I. (2019). Prospective memory assessment in acute mild traumatic brain injury. *The Clinical Neuropsychologist*, 33(7), 1175-1194. <https://doi.org/10.1080/13854046.2019.1598500>
- Lajeunesse, A., Potvin, M. J., Labelle, V., Joubert, S., & Rouleau, I. (2021). Characterization of prospective memory in mild cognitive impairment by using the Ecological test of Prospective Memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 28(3), 367-391. <https://doi.org/10.1080/13825585.2020.1772192>
- Lajeunesse, A., Potvin, M. J., Labelle, V., Chasles, M. J., Kergoat, M. J., Villalpando, J. M., ... & Rouleau, I. (2022). Effectiveness of a visual imagery training program to improve

- prospective memory in older adults with and without mild cognitive impairment: A randomized controlled study. *Neuropsychological Rehabilitation*, 32(7), 1576-1604. <https://doi.org/10.1080/09602011.2021.1919529>
- Lampit, A., Heine, J., Finke, C., Barnett, M. H., Valenzuela, M., Wolf, A., ... & Hill, N. T. (2019). Computerized cognitive training in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 33(9), 695-706. <https://doi.org/10.1177/1545968319860490>
- Landmeyer, N. C., Bürkner, P. C., Wiendl, H., Ruck, T., Hartung, H. P., Holling, H., ... & Johnen, A. (2020). Disease-modifying treatments and cognition in relapsing-remitting multiple sclerosis: A meta-analysis. *Neurology*, 94(22), e2373-e2383. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000009522>
- Lawton, M., Brody, E., & Médecin, U. (1969). Instrumental activities of daily living (IADL). *The gerontologist*, 9, 179-186.
- Lecouvey, G., Gonneaud, J., Eustache, F., & Desgranges, B. (2012). Contributions of virtual reality to neuropsychology: the case of prospective memory. *Revue de neuropsychologie*, 4(4), 267-276. DOI : 10.1684/nrp.2013.0246
- Lecouvey, G., Gonneaud, J., Eustache, F., & Desgranges, B. (2015). Les processus cognitifs de la mémoire prospective. *Revue de neuropsychologie*, 199-206.
- Lecouvey, G., Morand, A., Poissonnier, A., Pélerin, A., da Silva, L. F., de La Sayette, V., ... & Desgranges, B. (2021). A new prospective memory test: Mem-Pro clinic. *Revue de neuropsychologie*, 13(1), 43-58. DOI : 10.1684/nrp.2021.0618
- Lee, S., Ong, B., Pike, K. E., Mullaly, E., Rand, E., Storey, E., ... & Kinsella, G. J. (2016). The contribution of prospective memory performance to the neuropsychological assessment of mild cognitive impairment. *The Clinical Neuropsychologist*, 30(1), 131-149. <https://doi.org/10.1080/13854046.2015.1135983>

- Lengenfelder, J., Bryant, D., Diamond, B. J., Kalmar, J. H., Moore, N. B., & DeLuca, J. (2006). Processing speed interacts with working memory efficiency in multiple sclerosis. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 21(3), 229-238.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2005.12.001>
- Lezak MD, Howieson DB, Bigler ED, Tranel D. Neuropsychological Assessment (5th edn). Oxford University Press, 2012.
- Loewenstein, D., & Acevedo, A. (2004). *The prospective memory test: Administration and scoring manual*. University of Miami School of Medicine.
- Loftus, E. F. (1971). Memory for intentions: The effect of presence of a cue and interpolated activity. *Psychonomic Science*, 23(4), 315-316.
- Lublin, F. D., Reingold, S. C., Cohen, J. A., Cutter, G. R., Sørensen, P. S., Thompson, A. J., ... & Polman, C. H. (2014). Defining the clinical course of multiple sclerosis: the 2013 revisions. *Neurology*, 83(3), 278-286.
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000560>
- Macniven, J. A. B., Davis, C., Ho, M. Y., Bradshaw, C. M., Szabadi, E., & Constantinescu, C. S. (2008). Stroop performance in multiple sclerosis: information processing, selective attention, or executive functioning?. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(5), 805-814. DOI:10.1017/S1355617708080946
- Malbos, E., Boyer, L., & Lançon, C. (2013). L'utilisation de la réalité virtuelle dans le traitement des troubles mentaux. *La Presse Médicale*, 42(11), 1442-1452.
<https://doi.org/10.1016/j.lpm.2013.01.065>
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., Descent, M., Poiré, D., Frémont, P., ... & Doyon, J. (2009). Effects of practice, visual loss, limb amputation, and disuse on motor imagery vividness. *Neurorehabilitation and neural repair*, 23(5), 449-463.
<https://doi.org/10.1177/1545968308328733>

- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2012). Slowing of motor imagery after a right hemispheric stroke. *Stroke research and treatment*, 2012(1), 297217. <https://doi.org/10.1155/2012/297217>
- Man, D. W., Fleming, J., Hohaus, L., & Shum, D. (2011). Development of the Brief Assessment of Prospective Memory (BAPM) for use with traumatic brain injury populations. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(6), 884-898. <https://doi.org/10.1080/09602011.2011.627270>
- Man, D. W., Ganesan, B., Yip, C. C., Lee, C. O., Tsang, S. Y., Yu, P. W., & Shum, D. H. (2018). Validation of the virtual-reality prospective memory test (Hong Kong Chinese version) for individuals with first-episode schizophrenia. *Neuropsychological Rehabilitation*, 28(7), 1197-1210. <https://doi.org/10.1080/09602011.2016.1251949>
- Mäntylä, T. (1996). Activating actions and interrupting intentions: Mechanisms of retrieval sensitization in prospective memory. *Prospective memory: Theory and applications*, 93-113.
- Marre, Q. (2023). *Imagerie mentale et mémoire: les apports du paradigme de la cognition incarnée* (Doctoral dissertation, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II).
- Marks, D. F. (1973). Visual imagery differences in the recall of pictures. *British journal of Psychology*, 64(1), 17-24.
- Marschark, M., & Hunt, R. R. (1989). A reexamination of the role of imagery in learning and memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(4), 710.
- Marschark, M., C. Cornoldi, and M. McDaniel. "In Imagery and cognition." (1991): 133-182.
- Marsh, R. L., Hancock, T. W., & Hicks, J. L. (2002). The demands of an ongoing activity influence the success of event-based prospective memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 604-610. <https://doi.org/10.3758/BF03196319>

- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2005). On the relationship between effort toward an ongoing task and cue detection in event-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(1), 68.
- Marsh, R. L., Cook, G. I., & Hicks, J. L. (2006). An analysis of prospective memory. *Psychology of learning and motivation*, 46, 115-153. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(06\)46004-7](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(06)46004-7)
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2006). Task interference from prospective memories covaries with contextual associations of fulfilling them. *Memory & cognition*, 34, 1037-1045. <https://doi.org/10.3758/BF03193250>
- Martin, M., Kliegel, M., & McDaniel, M. A. (2003). The involvement of executive functions in prospective memory performance of adults. *International Journal of Psychology*, 38(4), 195-206. <https://doi.org/10.1080/00207590344000123>
- Matheis, R. J., Schultheis, M. T., Tiersky, L. A., DeLuca, J., Millis, S. R., & Rizzo, A. (2007). Is learning and memory different in a virtual environment?. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 146-161. <https://doi.org/10.1080/13854040601100668>
- Mathews, M., Mitrovic, A., Ohlsson, S., Holland, J., & McKinley, A. (2016). A virtual reality environment for rehabilitation of prospective memory in stroke patients. *Procedia Computer Science*, 96, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.081>
- Maubeuge, N., Deloire, M. S., Brochet, B., Ehrlé, N., Charré-Morin, J., Saubusse, A., ... & BICAFMS Study Investigators. (2021). Validation of the French version of the minimal assessment of cognitive function in multiple sclerosis (MACFIMS). *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 48, 102692. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.102692>
- Maylor, E. A., Darby, R. J., & Sala, S. D. (2000). Retrieval of performed versus to-be-performed tasks: A naturalistic study of the intention-superiority effect in normal aging and dementia. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S83-S98. <https://doi.org/10.1002/acp.772>

- Mayr, U., & Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1124 –1140. doi:10.1037/0278-7393.26.5.1124
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (1993). The importance of cue familiarity and cue distinctiveness in prospective memory. *Memory*, 1(1), 23-41.
- McDaniel, M. A., Glisky, E. L., Guynn, M. J., & Routhieaux, B. C. (1999). Prospective memory: a neuropsychological study. *Neuropsychology*, 13(1), 103.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multiprocess framework. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S127-S144. <https://doi.org/10.1002/acp.775>
- McDaniel, M. A., Guynn, M. J., Einstein, G. O., & Breneiser, J. (2004). Cue-focused and reflexive-associative processes in prospective memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(3), 605. DOI:10.1037/0278-7393.30.3.605
- McDaniel, M. A., Howard, D. C., & Butler, K. M. (2008). Implementation intentions facilitate prospective memory under high attention demands. *Memory & Cognition*, 36, 716-724. <https://doi.org/10.3758/MC.36.4.716>
- McDaniel, M. A., Shelton, J. T., Breneiser, J. E., Moynan, S., & Balota, D. A. (2011). Focal and nonfocal prospective memory performance in very mild dementia: A signature decline. *Neuropsychology*, 25(3), 387–396. <https://doi.org/10.1037/a0021682>
- McFarland, C., & Glisky, E. (2012). Implementation intentions and imagery: Individual and combined effects on prospective memory among young adults. *Memory & cognition*, 40, 62-69. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0126-8>

- McInnes, K., Friesen, C., & Boe, S. (2016). Specific brain lesions impair explicit motor imagery ability: a systematic review of the evidence. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 97(3), 478-489. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.07.012>
- McIntosh-Michaelis, S. A., Roberts, M. H., Wilkinson, S. M., Diamond, I. D., McLellan, D. L., Martin, J. P., & Spackman, A. J. (1991). The prevalence of cognitive impairment in a community survey of multiple sclerosis. *British Journal of Clinical Psychology*, 30(4), 333-348. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1991.tb00954.x>
- McKeever, J. D., Schultheis, M. T., Sim, T., Goykhman, J., Patrick, K., Ehde, D. M., & Woods, S. P. (2019). Selective reminding of prospective memory in multiple sclerosis. *Neuropsychological Rehabilitation*, 29(5), 675-690. <https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1313747>
- Meacham, J. A., & Singer, J. (1977). Incentive effects in prospective remembering. *The Journal of Psychology*, 97(2), 191-197.
- Meeks, J. T., & Marsh, R. L. (2010). Implementation intentions about nonfocal event-based prospective memory tasks. *Psychological Research PRPF*, 74(1), 82-89. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0223-x>
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M., & Mazoyer, B. (1995). A positron emission tomography study of visual and mental spatial exploration. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7(4), 433-445. <https://doi.org/10.1162/jocn.1995.7.4.433>
- Mellet, E., Tzourio, N., Denis, M., & Mazoyer, B. (1998). Cortical anatomy of mental imagery of concrete nouns based on their dictionary definition. *Neuroreport*, 9(5), 803-808.
- Meyer-Moock, S., Feng, Y-S., Maeurer, M., Dippel, F-W. & Kohlmann, T. 2014. Systematic literature review and validity evaluation of the Expanded Disability Status Scale (EDSS) and the Multiple Sclerosis Functional Composite (MSFC) in patients with multiple sclerosis. *BMC Neurology* 14(58). Viitattu 18.12.2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24666846/>

- Midi, H., Sarkar, S. K., & Rana, S. (2010). Collinearity diagnostics of binary logistic regression model. *Journal of interdisciplinary mathematics*, 13(3), 253-267.
<https://doi.org/10.1080/09720502.2010.10700699>
- Migliore, S., Curcio, G., Couyoumdjian, A., Ghazaryan, A., Landi, D., Moffa, F., & Vernieri, F. (2018). Executive functioning in relapsing-remitting multiple sclerosis patients without cognitive impairment: a task-switching protocol. *Multiple Sclerosis Journal*, 24(10), 1328-1336. <https://doi.org/10.1177/1352458517719>
- Miller, A. K., Basso, M. R., Candilis, P. J., Combs, D. R., & Woods, S. P. (2014). Pain is associated with prospective memory dysfunction in multiple sclerosis. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 36(8), 887-896.
<https://doi.org/10.1080/13803395.2014.953040>
- Mioni, G., Rendell, P. G., Terrett, G., & Stablum, F. (2015). Prospective memory performance in traumatic brain injury patients: A study of implementation intentions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21(4), 305-313.
<https://doi.org/10.1017/S1355617715000211>
- Mioni, G., Bertucci, E., Rosato, A., Terrett, G., Rendell, P. G., Zamuner, M., & Stablum, F. (2017). Improving prospective memory performance with future event simulation in traumatic brain injury patients. *British Journal of Clinical Psychology*, 56(2), 130-148.
<https://doi.org/10.1111/bjc.12126>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, 41(1), 49-100.
<https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(5), 519-533.
- Moulton, S. T., & Kosslyn, S. M. (2009). Imagining predictions: mental imagery as mental emulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological*

Sciences, 364(1521), 1273-1280. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0314>

- Mousavi, S., Zare, H., & Etemadifar, M. (2018). Evaluating the effectiveness of cognitive rehabilitation on everyday memory in multiple sclerosis patients. *Neuropsychological rehabilitation*. <https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1536608>
- Mullet, H. G., Scullin, M. K., Hess, T. J., Scullin, R. B., Arnold, K. M., & Einstein, G. O. (2013). Prospective memory and aging: evidence for preserved spontaneous retrieval with exact but not related cues. *Psychology and Aging*, 28(4), 910. <https://doi.org/10.1037/a0034347>
- Nelis, S., Holmes, E. A., Griffith, J. W., & Raes, F. (2019). Mental imagery during daily life: Psychometric evaluation of the Spontaneous Use of Imagery Scale (SUIS). *Psychologica Belgica*, 54(1), 19. DOI : [10.5334/pb.ag](https://doi.org/10.5334/pb.ag)
- Nilsson, L. G., Nyberg, L., Klingberg, T., Åberg, C., Persson, J., & Roland, P. E. (2000). Activity in motor areas while remembering action events. *Neuroreport*, 11(10), 2199-2201.
- Olivares, T., Nieto, A., Sánchez, M. D. P., Wollmann, T., Hernández, M. A., & Barroso, J. (2005). Pattern of neuropsychological impairment in the early phase of relapsing-remitting multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, 11(2), 191-197. <https://doi.org/10.1191/1352458505ms1139>
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(3), 255.
- Paivio, A. (2007). *Mind and its evolution: A dual coding theoretical approach*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.

- Paivio, A., Rogers, T.B. & Smythe, P.C. Why are pictures easier to recall than words?. *Psychon Sci* **11**, 137–138 (1968). <https://doi.org/10.3758/BF03331011>
- Paivio, A., & Csapo, K. (1969). Concrete image and verbal memory codes. *Journal of Experimental Psychology*, *80*(2, Pt.1), 279–285. <https://doi.org/10.1037/h0027273>
- Paivio, A., Walsh, M., & Bons, T. (1994). Concreteness effects on memory: When and why? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1196–1204. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.5.1196>
- Paraskevaides, T., Morgan, C. J., Leitz, J. R., Bisby, J. A., Rendell, P. G., & Curran, H. V. (2010). Drinking and future thinking: acute effects of alcohol on prospective memory and future simulation. *Psychopharmacology*, *208*, 301-308. <https://doi.org/10.1007/s00213-009-1731-0>
- Park, D. C., & Kidder, D. P. (1996). Prospective memory and medication adherence. *Prospective memory: Theory and applications*, 369-390.
- Park, D. C., Hertzog, C., Kidder, D. P., Morrell, R. W., & Mayhorn, C. B. (1997). Effect of age on event-based and time-based prospective memory. *Psychology and aging*, *12*(2), 314.
- Pearson, J., Naselaris, T., Holmes, E. A., & Kosslyn, S. M. (2015). Mental imagery: functional mechanisms and clinical applications. *Trends in cognitive sciences*, *19*(10), 590-602.
- Penningroth, S. L. (2005). Effects of attentional demand, cue typicality, and priming on an event-based prospective memory task. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *19*(7), 885-897. <https://doi.org/10.1002/acp.1116>
- Pereira, A., Altgassen, M., Atchison, L., de Mendonça, A., & Ellis, J. (2018). Sustaining prospective memory functioning in amnesic mild cognitive impairment: A lifespan approach to the critical role of encoding. *Neuropsychology*, *32*(5), 634. <https://doi.org/10.1037/neu0000441>

- Peyser, J. M., Edwards, K. R., Poser, C. M., & Filskov, S. B. (1980). Cognitive function in patients with multiple sclerosis. *Archives of neurology*, 37(9), 577-579.
- Phillips, L. H., Henry, J. D., & Martin, M. (2008). Adult aging and prospective memory: The importance of ecological validity.
- Polman, C. H., Reingold, S. C., Banwell, B., Clanet, M., Cohen, J. A., Filippi, M., ... & Wolinsky, J. S. (2011). Diagnostic criteria for multiple sclerosis: 2010 revisions to the McDonald criteria. *Annals of neurology*, 69(2), 292-302. <https://doi.org/10.1002/ana.22366>
- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., ... & Di Prampero, P. E. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 16(23), 7688-7698.
- Potter, M. C., Kroll, J. F., Yachzel, B., Carpenter, E., & Sherman, J. (1986). Pictures in sentences: understanding without words. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(3), 281.
- Potvin, M. J., Rouleau, I., Audy, J., Charbonneau, S., & Giguère, J. F. (2011a). Ecological prospective memory assessment in patients with traumatic brain injury. *Brain injury*, 25(2), 192-205. <https://doi.org/10.3109/02699052.2010.541896>
- Potvin, M. J., Rouleau, I., Sénéchal, G., & Giguère, J. F. (2011b). Prospective memory rehabilitation based on visual imagery techniques. *Neuropsychological rehabilitation*, 21(6), 899-924. <https://doi.org/10.1080/09602011.2011.630882>
- Pylyshyn, Z. W. (1973). What the mind's eye tells the mind's brain: A critique of mental imagery. *Psychological bulletin*, 80(1), 1.
- Quinette, P., Guillery-Girard, B., Hainselin, M., Laisney, M., Desgranges, B., & Eustache, F. (2013). Évaluation du buffer épisodique : deux épreuves testant les capacités

d'association et de stockage d'informations verbales et spatiales. *Revue de neuropsychologie*, (1), 56-62.

Radford, K. A., Lah, S., Say, M. J., & Miller, L. A. (2011). Validation of a new measure of prospective memory: the Royal Prince Alfred Prospective Memory Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 25(1), 127-140. <https://doi.org/10.1080/13854046.2010.529463>

Rao, S. M., Leo, G. J., & Aubin-Faubert, P. S. (1989). On the nature of memory disturbance in multiple sclerosis. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 11(5), 699-712.

Rao SM, Cognitive Function Study Group N. 1990. *A Manual for the Brief Repeatable Battery of Neuropsychological Tests in Multiple Sclerosis*. National Multiple Sclerosis Society: New York.

Rao, S. M., Leo, G. J., Bernardin, L., & Unverzagt, F. (1991). Cognitive dysfunction in multiple sclerosis. I. Frequency, patterns, and prediction. *Neurology*, 41(5), 685-691. <https://doi.org/10.1212/WNL.41.5.685>

Raskin, S. A. (2009). Memory for intentions screening test: Psychometric properties and clinical evidence. *Brain impairment*, 10(1), 23-33. <https://doi.org/10.1375/brim.10.1.23>

Raskin, S. A., & Buckheit, C. (2001). Prospective memory functioning after brain injury. *Journal of International Neuropsychological Society*, 7, 249-250.

Raskin, S. A., Buckheit, C., & Sherrod, C. (2004). Memory for intentions screening test. *Brain Impairment*. <https://doi.org/10.1037/t74479-000>

Raskin, S. A., & Sohlberg, M. M. (2009). Prospective memory intervention: A review and evaluation of a pilot restorative intervention. *Brain Impairment*, 10(1), 76-86. <https://doi.org/10.1375/brim.10.1.76>

Raskin, S. A., Woods, S. P., Poquette, A. J., McTaggart, A. B., Sethna, J., Williams, R. C., & Tröster, A. I. (2011). A differential deficit in time-versus event-based prospective

- memory in Parkinson's disease. *Neuropsychology*, 25(2), 201. <https://doi.org/10.1037/a0020999>
- Raskin, S. A. (2018). Prospective memory in clinical populations. *The Clinical Neuropsychologist*, 32(5), 741-747. <https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1484519>
- Raskin, S. A., Smith, M. P., Mills, G., Pedro, C., & Zamroziewicz, M. (2019). Prospective memory intervention using visual imagery in individuals with brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 29(2), 289-304. <https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1294082>
- Raskin, S. A., Williams, J., & Aiken, E. M. (2020). A review of prospective memory in individuals with acquired brain injury. *Prospective Memory in Clinical Populations*, 151-181.
- Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20, 101-125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1992). Conventional intelligence measurements and neuropsychological concepts of adaptive abilities. *Journal of clinical psychology*, 48(4), 521-529.
- Reisberg, D., Pearson, D. G., & Kosslyn, S. M. (2003). Intuitions and introspections about imagery: The role of imagery experience in shaping an investigator's theoretical views. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 17(2), 147-160. <https://doi.org/10.1002/acp.858>
- Rendell, P. G., & Thomson, D. M. (1999). Aging and prospective memory: Differences between naturalistic and laboratory tasks. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 54(4), P256-P269. <https://doi.org/10.1093/geronb/54B.4.P256>
- Rendell, P. G., & Craik, F. I. (2000). Virtual week and actual week: Age-related differences in prospective memory. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society*

- for *Applied Research in Memory and Cognition*, 14(7), S43-S62.
<https://doi.org/10.1002/acp.770>
- Rendell, P. G., Jensen, F., & Henry, J. D. (2007). Prospective memory in multiple sclerosis. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13(3), 410-416.
<https://doi.org/10.1017/S1355617707070579>
- Rendell, P. G., Henry, J. D., Phillips, L. H., De la Piedad Garcia, X., Booth, P., Phillips, P., & Kliegel, M. (2012). Prospective memory, emotional valence, and multiple sclerosis. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 34(7), 738-749.
<https://doi.org/10.1080/13803395.2012.670388>
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (1995). Fuzzy-trace theory: Some foundational issues. *Learning and Individual differences*, 7(2), 145-162.
- Reynolds, C.R. (2002). *Comprehensive Trail-Making Test*. Austin, TX : PRO-ED
- Richardson, A. (1969). *Mental Imagery*. New York : Springer.
- Rizzo, A., Gambino, G., Sardo, P., & Rizzo, V. (2020). Being in the past and perform the future in a virtual world: VR applications to assess and enhance episodic and prospective memory in normal and pathological aging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 297.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00297>
- Robin, N., Coudevylle, G. R., Guillot, A., & Toussaint, L. (2020). French translation and validation of the Movement Imagery Questionnaire-third version (MIQ-3f). *Movement & Sport Sciences*, (2), 23-31.
- Robin, F., & Garnier, C. (2022). The impact of enactment and imagery encoding on false memory. *Psychological Applications & Developments VIII*, 285-293.
- Roediger, H. L. (1996). Prospective memory and episodic memory. *Prospective memory: Theory and applications*, 149-155.

- Roche, N. L., Fleming, J. M., & Shum, D. H. (2002). Self-awareness of prospective memory failure in adults with traumatic brain injury. *Brain injury*, 16(11), 931-945. <https://doi.org/10.1080/02699050210138581>
- Roland, P. E., & Gulyas, B. (1994). Visual imagery and visual representation. *Trends in neurosciences*, 17(7), 281-287.
- Rouleau, I., Lajeunesse, A., Drolet, V., Potvin, M. J., Marcone, S., Lecomte, S., ... & Joubert, S. (2016). L'évaluation clinique de la mémoire prospective dans le MCI. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 16(93), 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.npg.2015.07.010>
- Rouleau, I., Dagenais, E., Tremblay, A., Demers, M., Roger, É., Jobin, C., & Duquette, P. (2020). Prospective memory impairment in multiple sclerosis: a review. *Prospective Memory in Clinical Populations*, 182-196.
- Ruano, L., Portaccio, E., Goretti, B., Niccolai, C., Severo, M., Patti, F., ... & Amato, M. P. (2017). Age and disability drive cognitive impairment in multiple sclerosis across disease subtypes. *Multiple Sclerosis Journal*, 23(9), 1258-1267. <https://doi.org/10.1177/135245851667436>
- Rummel, J., & Kvavilashvili, L. (2019). Take the field!: Investigating prospective memory in naturalistic and real-life settings. *Prospective memory*, 157-169.
- Sachdev, P. S., Blacker, D., Blazer, D. G., Ganguli, M., Jeste, D. V., Paulsen, J. S., & Petersen, R. C. (2014). Classifying neurocognitive disorders: the DSM-5 approach. *Nature Reviews Neurology*, 10(11), 634-642. DOI:10.1038/nrneurol.2014.181
- Sandry, J., Zuppichini, M., Rothberg, J., Valdespino-Hayden, Z., & DeLuca, J. (2019). Poor encoding and weak early consolidation underlie memory acquisition deficits in multiple sclerosis: Retroactive interference, processing speed, or working memory?. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 34(2), 162-182. <https://doi.org/10.1093/arclin/acy029>
- Sbordone, R. J. (1996). Ecological validity: Some critical issues for the neuropsychologist.

- Schacter, D. L., Addis, D. R., & Buckner, R. L. (2008). Episodic simulation of future events: Concepts, data, and applications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 39-60. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.001>
- Schacter, D. L., Benoit, R. G., & Szpunar, K. K. (2017). Episodic future thinking: Mechanisms and functions. *Current opinion in behavioral sciences*, 17, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.06.002>
- Schnitzspahn, K. M., Ihle, A., Henry, J. D., Rendell, P. G., & Kliegel, M. (2011). The age-prospective memory-paradox: An exploration of possible mechanisms. *International Psychogeriatrics*, 23(4), 583-592. <https://doi.org/10.1017/S1041610210001651>
- Schnitzspahn, K. M., Stahl, C., Zeintl, M., Kaller, C. P., & Kliegel, M. (2013). The role of shifting, updating, and inhibition in prospective memory performance in young and older adults. *Developmental psychology*, 49(8), 1544. <https://doi.org/10.1037/a0030579>
- Scullin, M. K., McDaniel, M. A., Shelton, J. T., & Lee, J. H. (2010). Focal/nonfocal cue effects in prospective memory: Monitoring difficulty or different retrieval processes?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(3), 736.
- Scullin, M. K., Kurinec, C. A., & Nguyen, K. (2017). The effects of implementation intention strategies on prospective memory cue encoding. *Journal of Cognitive Psychology*, 29(8), 929-938.
- Seebacher, B., Reindl, M., & Kahraman, T. (2023). Factors and strategies affecting motor imagery ability in people with multiple sclerosis: a systematic review. *Physiotherapy*, 118, 64-78. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2022.09.005>
- Shallice, T. I. M., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114(2), 727-741. <https://doi.org/10.1093/brain/114.2.727>
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703.

- Shum, D., Fleming, J., & Neulinger, K. (2002). Prospective memory and traumatic brain injury: A review. *Brain impairment*, 3(1), 1-16. <https://doi.org/10.1375/brim.3.1.1>
- Siddique, R. F., Shimul, A. M., Gias, A. U., Islam, M., & Khaled, S. M. (2015). The Role of Episodic Buffer in Episodic Future Thinking. DOI: 10.13189/ujp.2015.030101
- Simard, M., Rouleau, I., Kadlec, H., Taler, V., Tuokko, H., Voll, S., O'Connell, M., Griffith, L. E., Wolfson, C., Kirkland, S., & Raina, P. (2019). Miami prospective memory test in the Canadian longitudinal study on aging. *The Clinical Neuropsychologist*, 33(1), 137–165. <https://doi.org/10.1080/13854046.2018.1435824>
- Sintzel, M. B., Rametta, M., & Reder, A. T. (2018). Vitamin D and multiple sclerosis: a comprehensive review. *Neurology and therapy*, 7, 59-85. <https://doi.org/10.1007/s40120-017-0086-4>
- Slavin, M. J., Brodaty, H., Kochan, N. A., Crawford, J. D., Trollor, J. N., Draper, B., & Sachdev, P. S. (2010). Prevalence and predictors of “subjective cognitive complaints” in the Sydney Memory and Ageing Study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 18(8), 701-710. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3181df49fb>
- Smith, A. (1982). Symbol digit modality test (SDMT): manual (revised). *Los Angeles, CA: Psychological Services*.
- Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(3), 347.
- Smith, G., Del Sala, S., Logie, R. H., & Maylor, E. A. (2000). Prospective and retrospective memory in normal ageing and dementia: A questionnaire study. *Memory*, 8(5), 311-321. <https://doi.org/10.1080/09658210050117735>
- Smith, R. E., & Bayen, U. J. (2004). A multinomial model of event-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*

Cognition, 30(4), 756. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.4.756>

- Smith, R. E., & Hunt, R. R. (2014). Prospective memory in young and older adults: The effects of task importance and ongoing task load. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21(4), 411-431. <https://doi.org/10.1080/13825585.2013.827150>
- Soldan, S. S., & Lieberman, P. M. (2023). Epstein–Barr virus and multiple sclerosis. *Nature Reviews Microbiology*, 21(1), 51-64. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00770-5>
- Souza, A. C. D., Alexandre, N. M. C., & Guirardello, E. D. B. (2017). Psychometric properties in instruments evaluation of reliability and validity. *Epidemiologia e servicos de saude*, 26, 649-659. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000300022>
- Stevens, J. A., & Stoykov, M. E. P. (2003). Using motor imagery in the rehabilitation of hemiparesis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 84(7), 1090-1092. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(03\)00042-X](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(03)00042-X)
- Szarras, K., & Niedźwieńska, A. (2011). The role of rehearsals in self-generated prospective memory tasks. *International Journal of Psychology*, 46(5), 346-353. <https://doi.org/10.1080/00207594.2011.565342>
- Szpunar, K. K. (2010). Episodic future thought: An emerging concept. *Perspectives on Psychological Science*, 5(2), 142-162. <https://doi.org/10.1177/1745691610362350>
- Tabrizi, Y. M., Mazhari, S., Nazari, M. A., Zangiabadi, N., Sheibani, V., and Azarang, S. (2013). Compromised motor imagery ability in individuals with multiple sclerosis and mild physical disability: an ERP study. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 115, 1738–1744. doi: 10.1016/j.clineuro.2013.04.002
- Tacchino, A., Bove, M., Pedullà, L., Battaglia, M. A., Papaxanthis, C., and Bricchetto, G. (2013). Imagined actions in multiple sclerosis patients: evidence of decline in motor cognitive prediction. *Exp. Brain Res.* 229, 561–570. doi: 10.1007/s00221-013-3617-y

- Tamir, R., Dickstein, R., & Huberman, M. (2007). Integration of motor imagery and physical practice in group treatment applied to subjects with Parkinson's disease. *Neurorehabilitation and neural repair*, 21(1), 68-75. <https://doi.org/10.1177/1545968306292608>
- Tang, W., Cui, Y., & Babenko, O. (2014). Internal consistency: Do we really know what it is and how to assess it. *Journal of Psychology and Behavioral Science*, 2(2), 205-220.
- Terrett, G., Rose, N. S., Henry, J. D., Bailey, P. E., Altgassen, M., Phillips, L. H., ... & Rendell, P. G. (2016). The relationship between prospective memory and episodic future thinking in younger and older adulthood. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(2), 310-323. <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1054294>
- Thompson, C. L., Henry, J. D., Rendell, P. G., Withall, A., & Brodaty, H. (2015). How valid are subjective ratings of prospective memory in mild cognitive impairment and early dementia?. *Gerontology*, 61(3), 251-257. <https://doi.org/10.1159/000371347>
- Titov, N., & Knight, R. G. (2001). A video-based procedure for the assessment of prospective memory. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, 15(1), 61-83. [https://doi.org/10.1002/1099-0720\(200101/02\)15:1<61::AID-ACP689>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/1099-0720(200101/02)15:1<61::AID-ACP689>3.0.CO;2-Y)
- Toko, M., Kitamura, J., Ueno, H., Ohshita, T., Nemoto, K., Ochi, K., ... & Maruyama, H. (2021). Prospective memory deficits in multiple sclerosis: voxel-based morphometry and double inversion recovery analysis. *Internal Medicine*, 60(1), 39-46.
- Trawley, S. L., Law, A. S., Brown, L. A., Niven, E. H., & Logie, R. H. (2014). Prospective memory in a virtual environment: Beneficial effects of cue saliency. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(1), 39-47. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.852199>
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 26(1), 1.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: quo vadis?.

- Tulving, E. (2001a). Episodic memory and common sense: how far apart?. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 356(1413), 1505-1515. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0937>
- Tulving, E. (2001). Origin of autonoesis in episodic memory. In H. L. Roediger III, J. S. Nairne, I. Neath, & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder* (pp. 17–34). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10394-002>
- Unsworth, N., Brewer, G. A., & Spillers, G. J. (2012). Variation in cognitive failures: An individual differences investigation of everyday attention and memory failures. *Journal of Memory and Language*, 67(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2011.12.005>
- Uttl, B. (2008). Transparent meta-analysis of prospective memory and aging. *PloS one*, 3(2), e1568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001568>
- Uttl, B., & Kibreab, M. (2011). Self-report measures of prospective memory are reliable but not valid. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 65(1), 57.
- Van der Linden, M., Coyette, F., & Meulemans, T. (1995). Mémoire et imagerie mentale. *Questions de Logopédie*, 31.
- Viaud-Delmon, I. (2007). Corps, action et cognition : la réalité virtuelle au défi des sciences cognitives. *Intellectica. Revue De L'Association Pour La Recherche Cognitive*, 45(1), 37–58. doi: 10.3406/intel. 2007.1266
- Vukusic, S. (2012). Prévenir la sclérose en plaques: un objectif réaliste?. *Revue Neurologique*, 168(11), 836-845. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2012.07.008>
- Waldum, E. R., & McDaniel, M. A. (2016). Why are you late? Investigating the role of time management in time-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(8), 1049.

- Watanabe, H. (2003). Effects of encoding style, expectation of retrieval mode, and retrieval style on memory for action phrases. *Perceptual and Motor Skills*, 96(3), 707-727.
<https://doi.org/10.2466/pms.2003.96.3.707>
- Waugh, N. (1999). *Self-report of the young, middleaged, young-old and old-old individuals on prospective memory functioning*. Unpublished honours thesis, Griffith University, Brisbane, Australia.
- Weber, E., Chiaravalloti, N. D., DeLuca, J., & Goverover, Y. (2019). Time-based prospective memory is associated with functional performance in persons with MS. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 25(10), 1035-1043.
<https://doi.org/10.1017/S135561771900095X>
- Wechsler, D. (1981). *Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised manual*. New York: The Psychological Corporation.
- West, R. (2007). The influence of strategic monitoring on the neural correlates of prospective memory. *Memory & Cognition*, 35(5), 1034-1046.
<https://doi.org/10.3758/BF03193476>
- Williams, S. E., Cumming, J., Ntoumanis, N., Nordin-Bates, S. M., Ramsey, R., & Hall, C. (2012). Further validation and development of the movement imagery questionnaire. *Journal of sport and exercise psychology*, 34(5), 621-646.
<https://doi.org/10.1123/jsep.34.5.621>
- Wilson, B.A., Cockburn, J., & Baddeley, A.D. (1985). *The Rivermead Behavioral Memory Test*. Titchfield: Thames Valley Test Co.
- Wilson, B. A., Emslie, H., Foley, J., Shiel, A., Watson, P., Hawkins, K., et al. (2005). *The Cambridge Prospective Memory Test*. London: Harcourt Assessment
- Woods, S. P., Weinborn, M., Velnoweth, A., Rooney, A., & Bucks, R. S. (2012). Memory for intentions is uniquely associated with instrumental activities of daily living in healthy

older adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(1), 134-138.
DOI:10.1017/S1355617711001263

Yan, J., Guo, X., Jin, Z., Sun, J., Shen, L., & Tong, S. (2012). Cognitive alterations in motor imagery process after left hemispheric ischemic stroke. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042922>

Yip, B. C. B. & Man, W. K. (2013). Virtual reality-based prospective memory training program for people with acquired brain injury. *Neurorehabilitation*, 32, 103-115. DOI: 10.3233/NRE-130827 **DOI:** 10.3233/NRE-130827

Zimmermann-Schlatter, A., Schuster, C., Puhan, M. A., Siekierka, E., & Steurer, J. (2008). Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-8>

Zomeran, A. H., & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. Oxford University Press, USA.

Zuber, S., Kliegel, M., & Ihle, A. (2016). An individual difference perspective on focal versus nonfocal prospective memory. *Memory & Cognition*, 44, 1192-1203. <https://doi.org/10.3758/s13421-016-06>

Annexes

Annexe 1 : Feuilles de cotation du TEMP-RV pour la version A et la version B

Protocole test écologique de mémoire prospective en Réalité Virtuelle –Préparatifs de vacances (Version A)

Nom : _____ Date : _____ Code : _____

Le participant doit enlever sa montre.

Cette tâche a pour but d'évaluer votre mémoire dans la vie de tous les jours. Durant cette tâche vous allez effectuer des courses dans certains magasins et des actions à certains moments. Je vais vous montrer des photos des magasins dans lesquels vous devez faire des courses. Je vais également vous indiquer les moments où vous devez faire des actions. Pour bien représenter la réalité, vous allez vous déplacer dans une ville virtuelle, comme si vous étiez en voiture, en utilisant ce volant (*montrer le volant*). En roulant dans la ville, vous regarderez sur votre gauche et votre droite les magasins devant lesquels vous passez. Grâce au casque de réalité virtuelle (*montrer le casque*), vous aurez juste à tourner la tête pour de vrai pour voir ce qu'il y a autour de vous dans la ville virtuelle. Pour arrêter la voiture, vous devez appuyer sur le bouton qui se trouve à gauche du volant (*montrer le bouton*) et pour la redémarrer, vous appuyez sur le bouton qui se trouve à droite du volant (*montrer le bouton*). La vitesse de votre voiture est constante, vous ne pouvez ni accélérer, ni ralentir. Vous pouvez seulement vous arrêter et repartir à l'aide des boutons.

Lorsque vous apercevez autour de vous un magasin dans lequel vous devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, vous devez arrêter la voiture. Après avoir appuyé sur le bouton d'arrêt (*montrer le bouton*), vous me dites à haute voix ce que vous devez faire exactement à cet endroit ou à ce moment.

AVEC PPT - Apprentissage & RI PRATIQUE:
--

Faisons d'abord un petit entraînement. Nous allons faire un premier court déplacement dans la ville virtuelle. Vous devez effectuer deux actions pendant ce déplacement. Vous devez faire un examen de la vue au magasin Krys (*montrer la photo du magasin avec l'action*) et vous devez demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école 30 secondes après le début de votre arrivée dans la ville virtuelle (*montrer le temps avec l'action pendant 3 s*). Donc, pour démarrer la voiture, vous appuyez sur ce bouton (*montrer le bouton à droite*), la voiture roulera alors à une vitesse constante et vous aurez juste à tourner le volant pour vous diriger dans la ville. Quand vous apercevez le magasin Krys vous appuyez sur le bouton d'arrêt de la voiture (*montrer le bouton à gauche*) et vous me dites à haute voix « faire un examen de la vue », et quand vous réalisez que 30 secondes se sont écoulées depuis le début de la tâche, vous appuyez sur le bouton d'arrêt de la voiture (*montrer le bouton à gauche*) et vous me dites « demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école ». Pour que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, vous pouvez vérifier le temps en appuyant sur ce bouton avec le rond (*montrer le bouton*) aussi souvent que vous le souhaitez. Le temps écoulé depuis le début de la tâche apparaîtra alors écrit en vert au milieu de l'écran pendant 3 secondes. Même si le moment d'effectuer une action est dépassé ou que le magasin n'est plus dans votre champ de vision, il est toujours permis d'appuyer sur le bouton d'arrêt pour me dire ce que vous avez oublié de faire. Il est également toujours permis de s'arrêter quand vous reconnaissez un magasin ou que vous repérez un moment appris, même si vous ne vous souvenez pas de l'action associée à ce repère.

AVEC PPT - Apprentissage & RI 1^{ER} ESSAI & 2^E ESSAI

Nous allons maintenant vérifier si vous vous souvenez bien de ce que vous devez faire pendant l'entraînement. Je vous demanderais de répondre seulement si vous êtes absolument certain, sinon attendez que je vous donne la bonne réponse.

Faire 2 rappels indicés immédiats des items de la pratique et noter les erreurs verbatim.

- Que devez-vous faire chez Krys (*montrer la photo du magasin Krys, dire le nom complet du magasin, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*)? *Corriger la réponse.*
- Que devez-vous faire 30 secondes après le début du film (*montrer le temps, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*)? *Corriger la réponse.*

*** Encadrer le patient s'il répond même lorsqu'il n'est pas certain.

Pratique –rappels indicés immédiats						
Indices	1 ^{er} rappel indicé			2 ^e rappel indicé		
Krys	(faire un examen de la vue)	1	0.5	(faire un examen de la vue)	1	0.5
30 s	(demander l’heure d’ouverture de la cafétéria de l’école)	1	0.5	(demander l’heure d’ouverture de la cafétéria de l’école)	1	0.5
Total 2 rappels :						

Vous avez bien mémorisé ce que vous devez faire. Attention, lors de votre déplacement dans la ville, les moments et les magasins n'apparaîtront pas nécessairement dans l'ordre dans lequel vous les avez mémorisés. Pendant votre déplacement dans toute la ville vous devrez faire attention à bien respecter les règles de conduite de base. Vous devrez donc rouler à droite, et vous arrêter pour laisser passer les piétons et les voitures. En revanche, ne tenez pas compte des feux rouges, ils sont en panne. Une voix GPS vous indiquera quand vous devez tourner à gauche ou à droite, le reste du temps, vous roulez tout droit. Le test se termine quand vous arrivez sur le rond blanc au bout de la route.

Nous allons maintenant commencer la phase d'entraînement. Notez que le temps est compté à partir du moment où vous apparaissez dans la ville virtuelle. « **ÊTES-VOUS PRÊT À DÉBUTER?** »

AVEC Réalité Virtuelle - ESSAI

Pratique					
Indices	Délect. cibles	Temps	Récupération actions		
30 s	1 0		(demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école)	1	0.5
Krys	1 0		(faire un examen de la vue)	1	0.5
Total					

Recommencer la pratique si le participant éprouve des difficultés. Si + d'une pratique : Nb=

AVEC PPT- Apprentissage & RI MÉMORISATION

Maintenant que vous avez bien compris ce qu'il faut faire, nous allons commencer la tâche. Vous allez préparer votre départ en vacances. Comme lors de l'entraînement, vous allez vous déplacer dans une

ville virtuelle au volant d'une voiture. Les différents magasins défilent sur vos côtés et vous n'aurez qu'à tourner la tête pour voir dans le casque de réalité virtuelle les bâtiments sur votre gauche et votre droite. Vous devez, comme à l'entraînement, faire une série de courses en voiture dans plusieurs magasins de la ville et faire des actions à certains moments précis. Je vais vous demander de mémoriser ces actions et soyez rassuré, nous allons prendre le temps pour bien les mémoriser. Faites juste de votre mieux.

- Voici les magasins où vous devez vous arrêter et ce que vous devez y faire. Regardez bien leur devanture (*dire le nom complet du magasin en présentant la photo et les actions pendant 15 s –ppt apprentissage et rappel indicé immédiat*).
- **1, 2, 5, 10 et 16** minutes sont les moments où vous devez faire quelque chose. Voici ce que vous devez faire à chacun de ces moments (*présenter les temps et les actions pendant 3 s – ppt apprentissage et rappel indicé immédiat*).

Pour démarrer et redémarrer la voiture, vous appuyez sur le bouton « marche » à droite du volant (*montrer le bouton*). Lorsque vous apercevez un des magasins dans lequel devez faire quelque chose, vous arrêtez la voiture en appuyant sur le bouton d'arrêt à gauche du volant (*montrer le bouton*), et vous me dites à voix haute ce que vous devez faire exactement à cet endroit. Lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, vous arrêtez la voiture en appuyant sur le bouton d'arrêt (*montrer le bouton*) et vous me dites à voix haute ce que vous devez faire exactement. Pour que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, vous pouvez vérifier le temps en appuyant sur ce bouton avec le rond (*montrer le bouton*) aussi souvent que vous le souhaitez. Le temps écoulé depuis le début de la tâche apparaîtra en vert au milieu de l'écran pendant 3 secondes. Même si le moment d'effectuer une action est dépassé ou que le magasin n'est plus dans votre champ de vision, il est toujours permis d'arrêter la voiture pour me dire si vous avez oublié de faire quelque chose. Il est également toujours permis de s'arrêter quand vous reconnaissez un magasin ou que vous repérez un moment appris, même si vous ne vous souvenez pas de l'action associée à ce repère. Attention, si vous avez l'impression de repasser dans une rue par laquelle vous êtes déjà passé, rester tout de même attentif/ve. Cela peut sembler être la même rue, mais les magasins ne seront pas tous les mêmes.

AVEC PPT- Apprentissage & RI 1^{er} 2^E & 3^E RAPPELS
--

Nous allons maintenant vérifier si vous avez bien mémorisé ce que vous devez faire pendant votre temps dans la ville virtuelle. Je vous demanderais de répondre seulement si vous êtes absolument certain, sinon attendez que je vous donne la bonne réponse.

Faire 2 rappels indicés immédiats (EVENT-BASED) ET 3 rappels indicés immédiats (TIMED-BASED) des items de la tâche et noter les réponses verbatim (suite du ppt apprentissage et rappel indicé immédiat).

- Que devez-vous faire chez ...? (*montrer la photo, dire le nom complet du magasin, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*) Corriger la réponse.
- Que devez-vous faire « x » minutes après être arrivé dans la ville virtuelle ...? (*montrer le temps, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*) Corriger la réponse.

**** Encadrer le patient s'il répond même lorsqu'il n'est pas certain.*

Après les 2(et 3) rappels indicés, dire: Vous avez bien appris ce que vous devez faire.

Tâches prospectives – rappels indicés immédiats			
Indices	Actions (la réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle)	Cotation	
Agence voyage Thomas Cook	(réserver des billets d'avion)	1	0.5
Pressing Bale	(aller chercher les chemises)	1	0.5
Station-service Total	(acheter du lave-vitre)	1	0.5
Animalerie Mascottes	(déposer la perruche)	1	0.5
Cordonnerie	(faire un double des clefs)	1	0.5
Galeries Lafayette	(acheter une serviette de plage)	1	0.5
Polyclinique du Parc	(faire une prise de sang)	1	0.5
Décathlon	(acheter des sandales)	1	0.5
Fnac	(aller chercher le guide de voyage)	1	0.5
Monoprix	(acheter du shampoing)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
1 min	(demander au voisin d'arroser les plantes)	1	0.5
2 min	(Prendre le médicament contre les allergies)	1	0.5
5 min	(réserver une chambre à l'hôtel)	1	0.5
10 min	(aller à mon rendez-vous chez le dentiste)	1	0.5
16 min	(Payer la facture de téléphone)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
		TOTAL 1 ^{er} rappel indicé	
Agence voyage Thomas Cook	(réserver des billets d'avion)	1	0.5
Pressing Bale	(aller chercher les chemises)	1	0.5
Station-service Total	(acheter du lave-vitre)	1	0.5
Animalerie Mascottes	(déposer la perruche)	1	0.5
Cordonnerie	(faire un double des clefs)	1	0.5
Galeries Lafayette	(acheter une serviette de plage)	1	0.5
Polyclinique du Parc	(faire une prise de sang)	1	0.5
Décathlon	(acheter des sandales)	1	0.5
Fnac	(aller chercher le guide de voyage)	1	0.5
Monoprix	(acheter du shampoing)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
1 min	(demander au voisin d'arroser les plantes)	1	0.5
2 min	(Prendre le médicament contre les allergies)	1	0.5
5 min	(réserver une chambre à l'hôtel)	1	0.5
10 min	(aller à mon rendez-vous chez le dentiste)	1	0.5
16 min	(Payer la facture de téléphone)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
		TOTAL 2 ^{ème} rappel indicé	
1 min	(demander au voisin d'arroser les plantes)	1	0.5
2 min	(Prendre le médicament contre les allergies)	1	0.5
5 min	(réserver une chambre à l'hôtel)	1	0.5

10 min	(aller à mon rendez-vous chez le dentiste)	1	0.5
16 min	(Payer la facture de téléphone)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
		Total 3 ^{ème} rappel indicé	

Comme dans la phase d'entraînement, vous devez bien respecter les règles de conduite de base. Vous devrez donc rouler à droite et vous arrêter pour laisser passer les piétons et les voitures. Ne tenez pas compte des feux rouges, ils sont en panne. Une voix GPS vous indiquera quand vous devez tourner à gauche ou à droite, le reste du temps, vous roulez tout droit. Le test se termine quand vous arrivez sur le rond blanc au bout de la route. Attention, lors de votre déplacement dans la ville, les moments et les magasins n'apparaîtront pas nécessairement dans l'ordre dans lequel vous les avez mémorisés. Il pourra également y avoir des moments assez longs sans que vous n'aperceviez aucun des magasins qui vous intéressent, ne vous en inquiétez pas, restez juste concentré.

Poser les questions suivantes afin de vérifier la compréhension. Noter et corriger les réponses erronées.

1. Que devez-vous faire lorsque vous apercevez un des magasins dans lequel devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée?	(j'appuie sur le bouton d'arrêt et je dis à haute voix ce que je dois faire exactement)
2. Comment pouvez-vous vérifier le temps?	(j'appuie sur le bouton avec le rond)
3. Quelle autre tâche devez-vous faire en même temps que vous surveillez le temps et les magasins qui défilent à l'écran?	(respecter les règles de conduite)

Avant de commencer, vous allez d'abord effectuer d'autres exercices pendant quelques minutes. **Une fois ces exercices terminés, je vous signalerai que vous devez commencer la tâche de déplacement dans la ville virtuelle, mais je ne répéterai pas les consignes.** Vous devez alors vous rappeler par vous-même ce que vous devez faire en essayant de ne rien oublier, soit 1) surveiller les magasins qui défilent autour de vous, 2) vérifier le temps en appuyant sur cette touche (*montrer le bouton*) afin que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, 3) appuyer sur la touche « arrêt » (*montrer le bouton*) lorsque vous apercevez un des magasins dans lesquels vous devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, 4) me dire à haute voix ce que vous devez faire exactement et 5) respecter les règles de conduite. Avez-vous des questions?

Faire les tâches intercalaires (complétion du formulaire de consentement et d'informations démographiques) et présenter la tâche de mémoire prospective sans autres instructions que : Vous allez maintenant commencer la tâche de réalité virtuelle. N'oubliez pas que le temps est compté à partir du moment où vous entrez dans la ville virtuelle. « **ÊTES-VOUS PRÊT À DÉBUTER ?** »



CHRONOMÉTRER DÈS L'ENTREE DANS LA VILLE VIRTUELLE

Tâches prospectives event-based				
Indices	Délect. cibles	Récupération actions (accorder le point si l'action récupérée est adéquate, peu importe le commerce)		
1. Polyclinique	1	(1. faire une prise de sang)	1	0.5
2. Décathlon	1	(2. Acheter des sandales)	1	0.5
3. Station-service Total	1	(3. Acheter du lave-vitre)	1	0.5
4. Monoprix	1	(4. acheter du shampoing)	1	0.5

5. Cordonnerie	1	(5. faire un double de la clé)	1	0.5
6. FNAC	1	(6. aller chercher le guide de voyage)	1	0.5
7. Thomas Cook	1	(7. réserver des billets d’avion)	1	0.5
8. Pressing	1	(8. aller chercher les chemises)	1	0.5
9. Animalerie Mascottes	1	(9. déposer la perruche)	1	0.5
10. Galeries Lafayette	1	(10. acheter une serviette de plage)	1	0.5
SOUS-TOTAUX		*l’action doit être récupérée 5 secondes après la détection de l’indice auquel elle est associée		
INTRUSIONS				
	1			1
	1			1
	1			1
SOUS-TOTAUX				
Total				

Récup. Temps		Actions		
1 min	1		1	(demander au voisin d'arroser les plantes)
2 min	1		1	(prendre le médicament contre les allergies)
5 min	1		1	(réserver une chambre à l'hôtel)
10 min	1		1	(aller à mon rendez-vous chez le dentiste)
16 min	1		1	(payer la facture de téléphone)
Total				

Une fois la tâche terminée, dire: Vous avez bien travaillé. Nous allons vérifier une dernière fois si vous vous souvenez toujours de ce que vous deviez faire pendant la tâche (ppt choix multiples du RD - montrer la photo, dire le nom du magasin et attendre la réponse, si la réponse spontanée est erronée, appuyer sur la touche pour faire apparaître les choix de réponse). Questionner le participant si la réponse spontanée est incomplète et présenter les choix multiples si elle est toujours incomplète ou erronée.

AVEC PPT- RD Choix multiples

Tâches prospectives –rappel indicé et reconnaissance différés		
Indices	Réponses spontanées	Reconnaissance (si la réponse spontanée est erronée ou incomplète)
1. Thomas Cook		a) Réserver les billets d'avion b) Aller chercher des billets de train c) Acheter une carte routière
2. Pressing		a) Aller porter un pantalon b) Faire réparer la fermeture éclair d'un bermuda c) Aller chercher les chemises
3. Station-service Total		a) Mettre de l'essence dans la voiture b) Acheter un paquet de chewing-gum c) Acheter du lave-vitre
4. Animalerie Animaland		a) Déposer la perruche b) Faire garder le chien c) Acheter de la nourriture pour le chat
5. Cordonnerie		a) Faire réparer des chaussures

		b) Acheter des lacets c) Faire un double de la clé
6. Galeries Lafayette		a) Acheter une serviette de plage b) Échanger une robe c) Acheter un maillot de bain
7. Polyclinique		a) Renouveler ma prescription de médicaments b) Me faire vacciner c) Faire une prise de sang
8. Décathlon		a) Me faire rembourser une raquette de tennis b) Acheter des chaussures de marche c) Acheter des sandales
9. FNAC		a) Aller chercher le guide de voyage b) Acheter un DVD c) Aller récupérer un colis
10. Monoprix		a) Acheter du shampoing b) Me faire faire une carte de fidélité c) Acheter une brosse à cheveux
S-total (RI+Rec)	Sous-total réponses spontanées	Sous-total reconnaissance
1 min		a) Acheter un cadeau au voisin b) Demander à ma cousine de relever le courrier c) Demander au voisin d'arroser les plantes
2 min		a) Faire une sieste b) Prendre le médicament contre les allergies c) Prendre le médicament contre les maux de tête
5 min		a) Réserver une chambre à l'hôtel b) Écouter la météo à la radio c) Faire une réservation au restaurant
10 min		a) Aller prendre un café avec un ami b) Aller à mon rendez-vous chez le dentiste c) Prendre un rendez-vous avec mon médecin
16 min		A) Envoyer un chèque à EDF B) Faire installer la fibre C) Payer ma facture de téléphone
S-total (RI+Rec)	Sous-total réponses spontanées	Sous-total reconnaissance
Total (RI+Rec)	Total réponses spontanées	Total reconnaissance

Avez-vous appuyé sur la touche rond pour vérifier le temps? ____ Si oui, combien de fois? ____

Observations:

Protocole test écologique de mémoire prospective en Réalité Virtuelle –Préparatifs d'un dîner d'anniversaire (Version B)

Nom : _____ Date : _____ Code : _____

Le participant doit enlever sa montre.

Cette tâche a pour but d'évaluer votre mémoire dans la vie de tous les jours. Durant cette tâche vous allez effectuer des courses dans certains magasins et des actions à certains moments. Je vais vous montrer des photos des magasins dans lesquels vous devez faire des courses. Je vais également vous indiquer les moments où vous devez faire des actions. Pour bien représenter la réalité, vous allez vous déplacer dans une ville virtuelle, comme si vous étiez en voiture, en utilisant ce volant (*montrer le volant*). En roulant dans la ville, vous regarderez sur votre gauche et votre droite les magasins devant lesquels vous passez. Grâce au casque de réalité virtuelle (*montrer le casque*), vous aurez juste à tourner la tête pour de vrai pour voir ce qu'il y a autour de vous dans la ville virtuelle. Pour arrêter la voiture, vous devez appuyer sur le bouton qui se trouve à gauche du volant (*montrer le bouton*) et pour la redémarrer, vous appuyez sur le bouton qui se trouve à droite du volant (*montrer le bouton*). La vitesse de votre voiture est constante, vous ne pouvez ni accélérer, ni ralentir. Vous pouvez seulement vous arrêter et repartir à l'aide des boutons.

Lorsque vous apercevez autour de vous un magasin dans lequel vous devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, vous devez arrêter la voiture. Après avoir appuyé sur le bouton d'arrêt (*montrer le bouton*), vous me dites à haute voix ce que vous devez faire exactement à cet endroit ou à ce moment.

AVEC PPT - Apprentissage & RI PRATIQUE:

Faisons d'abord un petit entraînement. Nous allons faire un premier court déplacement dans la ville virtuelle. Vous devez effectuer deux actions pendant ce déplacement. Vous devez faire un examen de la vue au magasin Kryz (*montrer la photo du magasin avec l'action*) et vous devez demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école 30 secondes après le début de votre arrivée dans la ville virtuelle (*montrer le temps avec l'action pendant 3 s*). Donc, pour démarrer la voiture, vous appuyez sur ce bouton (*montrer le bouton à droite*), la voiture roulera alors à une vitesse constante et vous aurez juste à tourner le volant pour vous diriger dans la ville. Quand vous apercevez le magasin Kryz vous appuyez sur le bouton d'arrêt de la voiture (*montrer le bouton à gauche*) et vous me dites à haute voix « faire un examen de la vue », et quand vous réalisez que 30 secondes se sont écoulées depuis le début de la tâche, vous appuyez sur le bouton d'arrêt de la voiture (*montrer le bouton à gauche*) et vous me dites « demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école ». Pour que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, vous pouvez vérifier le temps en appuyant sur ce bouton avec le rond (*montrer le bouton*) aussi souvent que vous le souhaitez. Le temps écoulé depuis le début de la tâche apparaîtra alors écrit en vert au milieu de l'écran pendant 3 secondes. Même si le moment d'effectuer une action est dépassé ou que le magasin n'est plus dans votre champ de vision, il est toujours permis d'appuyer sur le bouton d'arrêt pour me dire ce que vous avez oublié de faire. Il est également toujours permis de s'arrêter quand vous reconnaissez un magasin ou que vous repérez un moment appris, même si vous ne vous souvenez pas de l'action associée à ce repère.

AVEC PPT - Apprentissage & RI 1^{ER} ESSAI & 2^E ESSAI

Nous allons maintenant vérifier si vous vous souvenez bien de ce que vous devez faire pendant

l'entraînement. Je vous demanderais de répondre seulement si vous êtes absolument certain, sinon attendez que je vous donne la bonne réponse.

Faire 2 rappels indicés immédiats des items de la pratique et noter les erreurs verbatim.

- Que devez-vous faire chez Krys (*montrer la photo du magasin Krys, dire le nom complet du magasin, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*)? *Corriger la réponse.*
- Que devez-vous faire 30 secondes après le début du film (*montrer le temps, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*)? *Corriger la réponse.*

*** Encadrer le patient s'il répond même lorsqu'il n'est pas certain.

Pratique –rappels indicés immédiats						
Indices	1 ^{er} rappel indicé			2 ^e rappel indicé		
Krys	(faire un examen de la vue)	1	0.5	(faire un examen de la vue)	1	0.5
30 s	(demander l’heure d’ouverture de la cafétéria de l’école)	1	0.5	(demander l’heure d’ouverture de la cafétéria de l’école)	1	0.5
Total 2 rappels :						

Vous avez bien mémorisé ce que vous devez faire. Attention, lors de votre déplacement dans la ville, les moments et les magasins n'apparaîtront pas nécessairement dans l'ordre dans lequel vous les avez mémorisés. Pendant votre déplacement dans toute la ville vous devrez faire attention à bien respecter les règles de conduite de base. Vous devrez donc rouler à droite, et vous arrêter pour laisser passer les piétons et les voitures. En revanche, ne tenez pas compte des feux rouges, ils sont en panne. Une voix GPS vous indiquera quand vous devez tourner à gauche ou à droite, le reste du temps, vous roulez tout droit. Le test se termine quand vous arrivez sur le rond blanc au bout de la route.

Nous allons maintenant commencer la phase d'entraînement. Notez que le temps est compté à partir du moment où vous apparaissez dans la ville virtuelle. « **ÊTES-VOUS PRÊT À DÉBUTER?** »

AVEC Réalité Virtuelle - **ESSAI**

Pratique					
Indices	Délect. Cibles	Temps	Récupération actions		
30 s	1 0		(demander l'heure d'ouverture de la cafétéria de l'école)	1	0.5
Krys	1 0		(faire un examen de la vue)	1	0.5
Total					

Recommencer la pratique si le participant éprouve des difficultés. Si + d'une pratique : Nb=

AVEC PPT- Apprentissage & RI **MÉMORISATION**

Maintenant que vous avez bien compris ce qu'il faut faire, nous allons commencer la tâche. Vous allez préparer une soirée d'anniversaire. Comme lors de l'entraînement, vous allez vous déplacer dans une ville virtuelle au volant d'une voiture. Les différents magasins défilent sur vos côtés et vous n'aurez qu'à tourner la tête pour voir dans le casque de réalité virtuelle les bâtiments sur votre gauche et votre droite. Vous devez, comme à l'entraînement, faire une série de courses en voiture dans plusieurs magasins de la ville et faire des actions à certains moments précis. Je vais vous demander de mémoriser

ces actions et soyez rassuré, nous allons prendre le temps pour bien les mémoriser. Faites juste de votre mieux.

- Voici les magasins où vous devez vous arrêter et ce que vous devez y faire. Regardez bien leur devanture (*dire le nom complet du magasin en présentant la photo et les actions pendant 15 s –ppt apprentissage et rappel indicé immédiat*).
- **1, 2, 5, 10 et 16** minutes sont les moments où vous devez faire quelque chose. Voici ce que vous devez faire à chacun de ces moments (*présenter les temps et les actions pendant 3 s – ppt apprentissage et rappel indicé immédiat*).

Tâches prospectives –rappels indicés immédiats			
Indices	Actions (la réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle)	Cotation	
La Foir’Fouille	(acheter des ballons de baudruche)	1	0.5
Carrefour	(acheter des tomates)	1	0.5
Banque LCL	(retirer 120euros pour payer le clown)	1	0.5
Caviste Nicolas	(acheter du champagne)	1	0.5
Boulangerie	(commander un gâteau)	1	0.5
Poissonnerie	(acheter des crevettes)	1	0.5
Bijouterie La poudre d’or	(acheter une montre en cadeau)	1	0.5
TATI	(acheter des bougies)	1	0.5
Darty	(faire réparer la chaîne HiFi)	1	0.5
Bureau de presse	(acheter une carte d’anniversaire)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
1 min	(louer un barnum)	1	0.5
2 min	(mettre de l’argent dans le parcomètre)	1	0.5
5 min	(aller chercher un invité (mon ami) à l’aéroport)	1	0.5
10 min	(appeler pour réserver un clown)	1	0.5
16 min	(aller chercher des chaises)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
		TOTAL 1 ^{er} rappel indicé	
La Foir’Fouille	(acheter des ballons de baudruche)	1	0.5
Carrefour	(acheter des tomates)	1	0.5
Banque LCL	(retirer 120euros pour payer le clown)	1	0.5
Caviste Nicolas	(acheter du champagne)	1	0.5
Boulangerie	(commander un gâteau)	1	0.5
Poissonnerie	(acheter des crevettes)	1	0.5
Bijouterie La poudre d’or	(acheter une montre en cadeau)	1	0.5
TATI	(acheter des bougies)	1	0.5
Darty	(faire réparer la chaîne HiFi)	1	0.5
Bureau de presse	(acheter une carte d’anniversaire)	1	0.5
		SOUS-TOTAL	
1 min	(louer un barnum)	1	0.5
2 min	(mettre de l’argent dans le parcomètre)	1	0.5
5 min	(aller chercher un invité (mon père) à l’aéroport)	1	0.5
10 min	(appeler pour réserver un clown)	1	0.5
16 min	(aller chercher des chaises)	1	0.5
La réponse doit être exacte, questionner si la réponse est partielle		SOUS-TOTAL	
		TOTAL 2 ^e rappel indicé	

1 min	(louer un barnum)	1	0.5
2 min	(mettre de l'argent dans le parcomètre)	1	0.5
5 min	(aller chercher un invité (mon père) à l'aéroport)	1	0.5
10 min	(appeler pour réserver un clown)	1	0.5
16 min	(aller chercher des chaises)	1	0.5
		TOTAL 3 ^{ème} rappel indicé	

Pour démarrer et redémarrer la voiture, vous appuyez sur le bouton « marche » à droite du volant (*montrer le bouton*). Lorsque vous apercevez un des magasins dans lequel devez faire quelque chose, vous arrêtez la voiture en appuyant sur le bouton d'arrêt à gauche du volant (*montrer le bouton*), et vous me dites à voix haute ce que vous devez faire exactement à cet endroit. Lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, vous arrêtez la voiture en appuyant sur le bouton d'arrêt (*montrer le bouton*) et vous me dites à voix haute ce que vous devez faire exactement. Pour que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, vous pouvez vérifier le temps en appuyant sur ce bouton avec le rond (*montrer le bouton*) aussi souvent que vous le souhaitez. Le temps écoulé depuis le début de la tâche apparaîtra en vert au milieu de l'écran pendant 3 secondes. Même si le moment d'effectuer une action est dépassé ou que le magasin n'est plus dans votre champ de vision, il est toujours permis d'arrêter la voiture pour me dire si vous avez oublié de faire quelque chose. Il est également toujours permis de s'arrêter quand vous reconnaissez un magasin ou que vous repérez un moment appris, même si vous ne vous souvenez pas de l'action associée à ce repère. Attention, si vous avez l'impression de repasser dans une rue par laquelle vous êtes déjà passé, rester tout de même attentif/ve. Cela peut sembler être la même rue, mais les magasins ne seront pas tous les mêmes.

AVEC PPT- Apprentissage & RI 1^{er} 2^E & 3^E RAPPELS

Nous allons maintenant vérifier si vous avez bien mémorisé ce que vous devez faire pendant votre temps dans la ville virtuelle. Je vous demanderais de répondre seulement si vous êtes absolument certain, sinon attendez que je vous donne la bonne réponse.

Faire 2 rappels indicés immédiats (EVENT-BASED) ET 3 rappels indicés immédiats (TIMED-BASED) des items de la tâche et noter les réponses verbatim (suite du ppt apprentissage et rappel indicé immédiat).

- Que devez-vous faire chez ...? (*montrer la photo, dire le nom complet du magasin, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*) Corriger la réponse.
- Que devez-vous faire « x » minutes après être arrivé dans la ville virtuelle ...? (*montrer le temps, attendre la réponse et appuyer sur la touche pour faire apparaître l'action*) Corriger la réponse.

***** Encadrer le patient s'il répond même lorsqu'il n'est pas certain.**

Après les 2(et 3) rappels indicés, dire: Vous avez bien appris ce que vous devez faire.

Comme dans la phase d'entraînement, vous devez bien respecter les règles de conduite de base. Vous devrez donc rouler à droite et vous arrêter pour laisser passer les piétons et les voitures. Ne tenez pas compte des feux rouges, ils sont en panne. Une voix GPS vous indiquera quand vous devez tourner à gauche ou à droite, le reste du temps, vous roulez tout droit. Le test se termine quand vous arrivez sur le rond blanc au bout de la route. Attention, lors de votre déplacement dans la ville, les moments et les magasins n'apparaîtront pas nécessairement dans l'ordre dans lequel vous les avez mémorisés. Il pourra également y avoir des moments assez longs sans que vous n'aperceviez aucun des magasins

qui vous intéressent, ne vous en inquiétez pas, restez juste concentré.

Poser les questions suivantes afin de vérifier la compréhension. Noter et corriger les réponses erronées.

1. Que devez-vous faire lorsque vous apercevez un des magasins dans lequel devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée?	(j'appuie sur le bouton d'arrêt et je dis à haute voix ce que je dois faire exactement)
2. Comment pouvez-vous vérifier le temps?	(j'appuie sur le bouton avec le rond)
3. Quelle autre tâche devez-vous faire en même temps que vous surveillez le temps et les magasins qui défilent à l'écran?	(respecter les règles de conduite)

Avant de commencer, vous allez d'abord effectuer d'autres exercices pendant quelques minutes. **Une fois ces exercices terminés, je vous signalerai que vous devez commencer la tâche de déplacement dans la ville virtuelle, mais je ne répéterai pas les consignes.** Vous devez alors vous rappeler par vous-même ce que vous devez faire en essayant de ne rien oublier, soit 1) surveiller les magasins qui défilent autour de vous, 2) vérifier le temps en appuyant sur cette touche (*montrer le bouton*) afin que votre réponse soit le plus près possible du moment attendu, 3) appuyer sur la touche « arrêt » (*montrer le bouton*) lorsque vous apercevez un des magasins dans lesquels vous devez faire quelque chose ou lorsque vous réalisez que c'est le moment de faire l'action demandée, 4) me dire à haute voix ce que vous devez faire exactement et 5) respecter les règles de conduite. Avez-vous des questions?

Faire les tâches intercalaires (complétion du formulaire de consentement et d'informations démographiques) et présenter la tâche de mémoire prospective sans autres instructions que : Vous allez maintenant commencer la tâche de réalité virtuelle. N'oubliez pas que le temps est compté à partir du moment où vous entrez dans la ville virtuelle. « **ÊTES-VOUS PRÊT À DÉBUTER ?** »



CHRONOMÉTRER DÈS L'ENTRÉE DANS LA VILLE VIRTUELLE

Tâches prospectives event-based					
Indices	Délect. cibles	Temps (+ 5s)	Récupération actions (accorder le point si l'action récupérée est adéquate, peu importe le commerce)		
1. Tati	1		(1. acheter des bougies)	1	0.5
2. Banque LCL	1		(2. retirer 120euros pour payer le clown)	1	0.5
3. Darty	1		(3. faire réparer la chaîne HiFi)	1	0.5
4. La Foir'Fouille	1		(4. acheter des ballons de baudruche)	1	0.5
5. Bureau de presse	1		(5. acheter une carte d'anniversaire)	1	0.5
6. Boulangerie	1		(6. commander un gâteau)	1	0.5
7. Bijouterie La poudre d'or	1		(7. acheter une montre en cadeau)	1	0.5
8. Poissonnerie	1		(8. acheter des crevettes)	1	0.5
9. Caviste	1		(9. acheter du champagne)	1	0.5
10. Carrefour	1		(10. acheter des tomates)	1	0.5
SOUS-TOTAUX			*l'action doit être récupérée 5 secondes après la détection de l'indice auquel elle est associée		
INTRUSIONS					

SOUS-TOTAUX				
Total				
Tâches prospectives time-based				
Délect. temps (+/-10s)	Récup. temps	Actions		
1 min	1	(louer un barnum)	1	0.5
2 min	1	(mettre de l'argent dans le parcmètre)	1	0.5
5 min	1	(aller chercher un invité (mon ami) à l'aéroport)	1	0.5
10 min	1	(appeler pour réserver un clown)	1	0.5
16 min	1	(aller chercher des chaises)	1	0.5
Total		*l'action doit être récupérée 5 secondes après la détection du temps		

Une fois la tâche terminée, dire: Vous avez bien travaillé. Nous allons vérifier une dernière fois si vous vous souvenez toujours de ce que vous deviez faire pendant la tâche (*ppt choix multiples du RD - montrer la photo, dire le nom du magasin et attendre la réponse, si la réponse spontanée est erronée, appuyer sur la touche pour faire apparaître les choix de réponse*). Questionner le participant si la réponse spontanée est incomplète et présenter les choix multiples si elle est toujours incomplète ou erronée.

AVEC PPT- RD Choix multiples		
Tâches prospectives –rappel indicé et reconnaissance différés		
Indices	Réponses spontanées	Reconnaissance (si la réponse spontanée est erronée ou incomplète)
La Foir'Fouille		a) Commander une fontaine extérieure b) Faire souffler des ballons c) Acheter des fleurs
Carrefour		a) Faire préparer des sandwichs b) Acheter des saucisses c) Acheter des tomates
Banque LCL		a) Retirer 120\$ pour payer le clown b) Ouvrir un compte c) Échanger un chèque de 200\$
Caviste		a) Acheter du champagne b) Échanger une bouteille de vin bouchonné c) Acheter de la bière
Boulangerie		a) Faire préparer un gâteau b) Acheter des croissants c) Faire préparer une tarte
Poissonnerie		a) Acheter de la morue b) Acheter des crevettes c) Faire préparer un pâté au saumon
Bijouterie La poudre d'or		a) Faire réparer une horloge b) Acheter une montre en cadeau

		c) Acheter une chaîne
Tati		a) Acheter des chandelles b) Acheter des verres de plastiques c) Acheter des guirlandes
Darty		a) Se faire rembourser une télévision défectueuse b) Acheter un lecteur DVD c) Faire réparer le système de son
Bureau de presse		a) Acheter du papier d'emballage b) Demander un conseil au pharmacien c) Acheter une carte d'anniversaire
S-total (RI+Rec)	Sous-total réponses spontanées	Sous-total reconnaissance
1 min		a) Aller chercher du charbon pour le barbecue b) Louer un barnum c) Aller chercher des feux d'artifice
2 min		a) Mettre de l'argent dans le parcmètre b) Faire décorer la maison c) Aller chercher la voiture au garage
5 min		a) Confirmer la date de la soirée au traiteur b) Inviter un collègue de travail à la soirée c) Aller chercher un invité (mon ami) à l'aéroport
10 min		a) Acheter des confettis b) Annuler les musiciens c) Appeler pour réserver un clown
16 min		a) Passer l'aspirateur b) Aller chercher des chaises c) Aller chercher de la glace
S-total (RI+Rec)	Sous-total réponses spontanées	Sous-total reconnaissance
Total (RI+Rec)	Total réponses spontanées	Total reconnaissance

Observations:

Annexe 2 : Consignes et cotation des subtests de la BC Cog SEP

Bilan neuropsychologique **California Verbal Learning Test (CVLT)**

Rappel libre immédiat, liste A (liste du Lundi)

Essai 1. Commencer en disant : « Supposons que vous alliez faire des courses Lundi. Je vais vous lire une liste d'articles à acheter. Ecoutez-moi bien, car lorsque j'aurai fini, je vous demanderai de me dire autant d'articles que vous le pouvez. L'ordre dans lequel vous les donnez n'a aucune importance. Dites-moi seulement autant d'articles que vous pouvez. Etes- vous prêt ? »

Avant de commencer, assurez-vous que le sujet a bien compris la tâche. Lisez ensuite à haute voix les mots de la liste A (la liste du « Lundi ») au rythme d'un mot par seconde environ. Après avoir lu la liste, dites : « Dites moi maintenant autant d'articles que vous le pouvez ».

Liste A (liste du lundi)	Rappel 1	Rappel 2	Rappel 3	Rappel 4	Rappel 5
Tenaille					
Raisin					
Veste					
Cannelle					
Abricot					
Muscade					
Cravate					
Perceuse					
Ciboulette					
Mandarine					
Burin					
Manteau					
Romarin					
Prunes					
Rabot					
Gilet					

Enregistrement des réponses. Notez verbatim toutes les réponses données par le sujet dans l'ordre où il vous les donne. Cochez les intrusions (items n'appartenant pas à la liste A) à la fin du test. Si un sujet répète plusieurs fois la même réponse au cours d'un même essai, essayez de déterminer, en cours de test, si cette répétition constitue une réelle persévération. Si vous voyez que le sujet se répète dans un but d'auto-indiçage (par exemple, « voyons, j'ai dit tenailles, raisin, etc. », n'enregistrez pas cette réponse. Lorsque vous n'êtes pas certain de la raison d'une répétition (comme lorsqu'un sujet hésite longuement avant de répéter une réponse), enregistrez la réponse et demandez au sujet s'il pense l'avoir déjà donnée. Si le sujet répond « oui », ou « je pense », considérez cette réponse comme une simple répétition et non comme une persévération. Au contraire, si le sujet dit « non » ou « je ne sais pas », enregistrez la réponse comme une persévération. Ce sera parfois le sujet qui vous demandera s'il a déjà donné telle réponse lors du même essai. Si c'est le cas, renvoyez-lui la question : « Pensez-vous l'avoir déjà dit ? ». Là encore, considérez la réponse comme une persévération seulement dans le cas où le sujet répond « non » ou « je ne sais pas ». Si cette réponse n'a pas encore été donnée,

notez-la comme réponse correcte ou comme intrusion dans le cas où le mot n'appartient pas à la liste.

Relance : Lorsque le sujet s'arrête de répondre pendant 10 à 20 secondes, ou lorsqu'il indique qu'il ne peut rien se rappeler d'autre, procédez à une seule relance, comme : « Dites-moi quelque chose d'autre ».

Essai 2 : « *Je vais vous répéter la liste de courses du Lundi. De nouveau, je vous demande de me dire autant d'articles que vous le pouvez, dans n'importe quel ordre, y compris ceux que vous m'avez dits la dernière fois.* »

De nouveau, lisez la liste A au rythme de un par seconde environ. Enregistrez les réponses du sujet. Suivez les mêmes procédures d'enregistrement et de relance que pour le premier essai.

Essais 3 à 5 : Après la fin du deuxième essai, dire : « *Je vais vous répéter la liste de courses du Lundi. De nouveau, je vous demande de me dire autant d'articles que vous le pouvez, dans n'importe quel ordre, y compris ceux que vous m'avez déjà donnés.* »

De nouveau, lisez la liste A au rythme de un par seconde environ. Enregistrez les réponses du sujet. Suivez les mêmes procédures d'enregistrement et de relance que pour les essais précédents.

Lorsque le cinquième essai est terminé, passez à la liste B.

Rappel libre immédiat, liste B (liste du Mardi)

Dites au sujet : « *Supposons que vous alliez de nouveau faire des courses le Mardi. Je vais vous lire une nouvelle liste d'articles à acheter. Quand j'aurai fini, je vous demanderai de me dire autant d'articles que vous le pouvez, dans n'importe quel ordre.* ». Lire à haute voix les mots de la liste B (liste du Mardi) au rythme d'un par seconde environ. Après avoir lu la liste, dites : « *Dites-moi autant d'articles que vous le pouvez.* ». Enregistrer les réponses du sujet verbatim. Utiliser les mêmes procédures d'enregistrement et de relance que pour la liste A.

Liste B (liste du mardi)	
Marmite	
Framboise	
Merlan	
Paprika	
Citron	
Louche	
Persil	
Cabillaud	
Estragon	
Ananas	
Rouget	
Passoire	
Cerise	
Limande	
Cumin	
Spatule	

Rappel libre à court terme, liste A

Après avoir procédé au rappel de la liste B, dire : « *Maintenant, je voudrais que vous me disiez autant d'articles que vous le pouvez de la liste du Lundi. C'est la liste que je vous ai lue plusieurs fois* ». Enregistrer les réponses du sujet, avec les mêmes procédures que précédemment.

Liste A (liste du lundi)	
Tenaille	
Raisin	
Veste	
Cannelle	
Abricot	
Muscade	
Cravate	
Perceuse	
Ciboulette	
Mandarine	
Burin	
Manteau	
Romarin	
Prunes	
Rabot	
Gilet	

Rappel indicé à court terme, liste A

Dire : « *Dites-moi tous les articles de la liste du Lundi qui sont des outils* » Enregistrer les réponses du sujet. Relancer une fois si le sujet n'a pas rappelé les quatre items appartenant à cette catégorie. Dire ensuite : « *Maintenant, dites-moi tous les articles de la liste du Lundi qui sont des épices/herbes aromatiques* ». Répéter la procédure pour chacune des catégories restantes (« fruits » et « vêtements »).

Intervalle de rétention : Il faut alors laisser passer un intervalle d'environ 20 minutes, pendant lequel on procédera à des tests non verbaux.

Test de mémoire visuelle 10/36

Rappel immédiat 1

Dire : « *Je vais vous montrer une grille qui comporte 36 cases. Sur 10 de ces cases, des pastilles noires ont été placées. Regardez attentivement où sont placées ces pastilles noires, je vais vous demander ensuite d'essayer de les replacer de mémoire.* » Montrer la grille pendant 10 secondes.

Puis, cacher la grille d'apprentissage et donner au sujet la première grille vierge en disant : « *Maintenant indiquez moi à l'aide de ce stylo où se trouvaient les 10 pastilles sur la grille. Essayez de vous souvenir au mieux, sans répondre au hasard* ».

Rappel immédiat 2

Dire : « *De nouveau je vais vous montrer la grille qui comporte 36 cases avec les 10 pastilles*

noires placées. Regardez attentivement où sont placées ces pastilles noires, je vais vous demander ensuite d'essayer de les replacer de mémoire. » Montrer la grille pendant 10 secondes.

Puis, cacher la grille d'apprentissage et donner au sujet la première grille vierge en disant : « Maintenant indiquez moi à l'aide de ce stylo où se trouvaient les 10 pastilles sur la grille. Essayer de vous souvenir au mieux, sans répondre au hasard ».

Rappel immédiat 3

Mêmes consignes que rappel immédiat 2.

Intervalle de rétention : Il faut alors laisser passer un intervalle d'environ 7 minutes, pendant lequel on procédera à des tests non verbaux.

Codage de signes

Dire : « Voici un code. Comme vous le voyez, selon ce code, les chiffres suivants correspondent aux lettres suivantes. Votre tâche va être de traduire les lignes de chiffres ci-dessous en utilisant ce code. Vous devez donc écrire sous chaque chiffre la lettre qui y correspond d'après le code. Commençons par un essai en traduisant les premiers chiffres des cases grises. »

« Très bien, vous avez compris. Nous allons maintenant commencer l'exercice. Vous allez, comme lors de l'essai, écrire sous chaque chiffre la lettre qui y correspond d'après le code. Vous devez aller le plus vite possible, en travaillant de gauche à droite, sans sauter de case et sans faire d'erreur. Dès que je vous dirais « STOP », vous levez le crayon et arrêtez l'exercice. Vous n'aurez probablement pas le temps de finir toutes les lignes, mais soyez rassuré, c'est tout à fait normal. Vous êtes prêt ? »

Chronométrer et arrêter la tâche au bout de 90 secondes.

Ordres contraires

Demander au patient de taper 1 fois lorsque l'examineur tape 2 fois et vice-versa.

Go No Go

Le patient doit taper 1 fois quand l'examineur tape 1 fois et ne pas taper lorsque l'examineur tape 2 fois.

CVLT (suite)

Rappel libre à long terme, liste A

Dire : « Tout à l'heure, je vous ai lu une série d'articles à acheter. Je voudrais que vous me disiez tous les articles dont vous vous rappelez de la liste du Lundi - c'est-à-dire la première liste, celle que je vous ai lue plusieurs fois ». Enregistrer les réponses du sujet et, si nécessaire, procéder à une relance comme lors des essais antérieurs.

Liste A (liste du lundi)	
Tenaille	
Raisin	
Veste	
Cannelle	
Abricot	
Muscade	
Cravate	
Perceuse	

Ciboulette	
Mandarine	
Burin	
Manteau	
Romarin	
Prunes	
Rabot	
Gilet	

Rappel indicé à long terme, liste A

Dire : « Dites-moi tous les articles de la liste du Lundi qui étaient des vêtements ». Suivre la même procédure d'enregistrement et de relance que pour le rappel indicé à court terme, en demandant successivement les « outils », les « herbes aromatiques/épices » et les « fruits ». Puis passer à l'épreuve de reconnaissance à long terme.

Reconnaissance à long terme, liste A

Dire : « Je vais vous lire une longue liste d'articles à acheter. A chaque mot que je lis, dites « Oui » si vous pensez que cet article appartenait à la liste du Lundi, et « Non » dans tous les autres cas ». Lire à haute voix les 44 mots de l'épreuve de reconnaissance, et noter chaque réponse du sujet. Si le sujet dit, « Je ne sais pas », procéder à une relance comme: « Dites-moi si vous pensez que (répéter le mot) était dans la liste du Lundi. Si le sujet persiste à dire « je ne sais pas » ou ne répond pas, noter l'absence de réponse et passer à l'item suivant.

Reconnaissance

Je vais vous lire une longue liste d'articles à acheter. Lorsque j'aurai lu chacun d'entre eux, dites « Oui » si cet article était dans la liste du lundi, et « non » s'il n'y était pas. Si le patient dit « Je ne sais pas », vous pouvez le relancer en disant : « Dites-moi si vous pensez que (répéter le mot) était dans la liste du lundi. Si le patient persiste à dire « Je ne sais pas » ou ne répond pas, noter l'absence de réponse et passer à l'item suivant.

	L	Mp	Mnp	Pro	NI	Pho
cravate						
persil						
cabillaud						
tapis						
filet						
poivre						
manteau						
aspirine						
quenelles						
tenailles						
prunes						
louche						
framboises						
résine						
ciboulette						
films						
burin						
cartable						
verseuse						
mandarines						
montre						
pantalon						
abricots						

	L	Mp	Mnp	Pro	NI	Pho
limande						
muscade						
crevettes						
paprika						
gilet						
livres						
cannelle						
veste						
pomme						
semoules						
raisin						
perceuse						
ananas						
cigarettes						
vitamines						
rabot						
spatule						
tournevis						
romarin						
haricots						
savon						

	L	Mp	Mnp	Pro	NI	Pho
Total						

L	Lundi
Mp	Mardi partagés
Mnp	Mardi non partagés
Pro	Prototypes (distracteurs)
NI	Non liés (distracteurs)
Pho	Phonétiquement similaires (distracteurs)

Test de mémoire visuelle 10/36 (suite)

Rappel à long terme

Donner la quatrième grille vierge. Dire : « *Tout à l'heure je vous ai montré une grille qui comportait 36 cases. Sur 10 de ces cases, des pastilles noires avaient été placées. Pouvez-vous m'indiquer de mémoire où se trouvaient les 10 pastilles sur la grille, à l'aide de ce crayon ? Essayer de vous souvenir au mieux, sans répondre au hasard* »

PASAT

Dire : « *Sur l'enregistrement que vous allez entendre, une série de chiffres vous seront présentés un par un toutes les 3 secondes. Ecoutez les 2 premiers chiffres, additionnez-les et donnez-moi votre réponse. Lorsque vous entendez le chiffre suivant, additionnez-le à celui que vous avez entendu sur l'enregistrement juste avant. Continuez à additionner chaque fois le chiffre suivant avec le précédent. Rappelez-vous, vous ne devez pas donner un total cumulé, mais juste la somme des deux derniers chiffres qui ont été prononcés sur l'enregistrement. Par exemple, si les deux premiers chiffres étaient 5 et 7, vous direz 12. Si le chiffre après était 3, vous direz 10 (7+3), et ainsi de suite.* »

« *Ceci est une tâche très difficile. Si vous perdez le fil, il faut juste écouter les deux derniers chiffres, les additionner et continuer. Essayons d'abord un petit entraînement.* »

Fluences verbales

Fluences lexicales

Dire : « *Je vais vous demander de me donner le maximum de mots commençant par la lettre P jusqu'à ce que je vous dise stop. Dites tous les mots qui vous passent par la tête, que ce soit des objets, des actions, des adjectifs...mais évitez les noms propres tels que « Patrick » et ne vous répétez pas. Allez-y, dites moi le maximum de mots commençant par la lettre P jusqu'à ce que je dise stop* ». Chronométrer et arrêter le sujet au bout d'1 minute.

Fluences sémantiques

Dire : « *Je vais vous demander de me donner le maximum de nom d'animaux possibles jusqu'à ce que je vous dise stop. Dites tous les noms qui vous passent par la tête mais évitez de dire plusieurs noms de la même famille tels que « vache, veau... » et ne vous répétez pas. Allez-y, dites moi un maximum de noms d'animaux jusqu'à ce que je dise stop* ». Chronométrer et arrêter le sujet au bout d'1 minute.

Mémoire des chiffres

Empan endroit

Dire : « *Je vais vous lire des séries de chiffre. Ecoutez attentivement, je ne peux les dire qu'une seule fois. Quand j'aurai fini, je veux que vous les répétiez exactement dans le même ordre. Ces séries de chiffres sont très courtes au début, et augmentent au fur et à mesure. Au bout d'un moment, elles seront trop longues pour que vous puissiez les répéter en entier, c'est tout à fait normal. Je vais commencer avec la première série, dites-la exactement comme je l'ai dit.* »

Empan envers

Dire : « *Comme l'exercice précédent, je vais vous lire des séries de chiffre mais cette fois-ci, quand j'aurai terminé, je veux que vous me les répétiez dans l'ordre inverse. Par exemple, si je dis « 7, 1 » vous me répondez ?* ». Corriger si réponse erronée à l'exemple.

Annexe 3 : Questionnaire BDI-FS

Choisissez la réponse qui correspond le mieux à votre état au cours de ces 2 dernières semaines.

1 Tristesse

- 1- Je ne me sens pas triste.
- 2- Je me sens très souvent triste.
- 3- Je suis tout le temps triste.
- 4- Je suis si triste ou si malheureux(se), que ce n'est pas supportable.

2 Pessimisme

- 1- Je ne me sens pas découragé(e) face à mon avenir.
- 2- Je me sens plus découragé(e) qu'avant face à mon avenir.
- 2- Je ne m'attends pas à ce que les choses s'arrangent pour moi.
- 3- . J'ai le sentiment que mon avenir est sans espoir et qu'il ne peut qu'empirer.

3 Echecs dans le passé

- 1- Je n'ai pas le sentiment d'avoir échoué dans la vie, d'être un.e raté.e.
- 2- J'ai échoué plus souvent que j'aurai dû.
- 3- Quand je pense à mon passé, je constate un grand nombre d'échecs.
- 4- J'ai le sentiment d'avoir complètement raté ma vie.

4 Perte de plaisir

- 1- J'éprouve toujours autant de plaisir qu'avant aux choses qui me plaisent
- 2- Je n'éprouve pas autant de plaisir aux choses qu'avant.
- 3- j'éprouve très peu de plaisir aux choses qui me plaisaient habituellement.
- 3- Je n'éprouve aucun plaisir aux choses qui me plaisaient habituellement.

5 Sentiments négatifs envers moi-même

- 1- Mes sentiments envers moi-même n'ont pas changé.
- 2- J'ai perdu confiance en moi.
- 3- Je suis déçu.e par moi-même.
- 4- Je ne m'aime pas du tout.

6 Attitude critique envers soi

- 1- Je ne me blâme pas ou ne me critique pas plus que d'habitude.
- 2- Je suis plus critique envers moi.
- 3- Je me reproche tous mes défauts.
- 4- Je me reproche tous les malheurs qui arrivent.

7 Pensées ou désirs de suicide

- 1- Je ne pense pas du tout à me suicider.
- 2- Il m'arrive de penser à me suicider, mais je ne le ferai pas.
- 3- J'aimerais me suicider.
- 4- Je me suiciderais si l'occasion se présentait.

Annexe 4 : Questionnaire STAI-Y

Inventaire d'Anxiété Etat - Trait de Spielberger (STAI)

Nom :	Âge :	Sexe :	Date :
-------	-------	--------	--------

Forme Y-A (état)

Un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase puis entourez, parmi les 4 points à droite, celui qui correspond le mieux à ce que vous ressentez A L'INSTANT, JUSTE EN CE MOMENT. Il n'y a pas de bonnes ni de mauvaises réponses. Ne passez pas trop de temps sur l'une ou l'autre de ces propositions et indiquez la réponse qui décrit le mieux vos sentiments ACTUELS.

	Non	Plutôt non	Plutôt oui	Oui
1. Je me sens calme	•	•	•	•
2. Je me sens en sécurité, sans inquiétude, en sûreté	•	•	•	•
3. Je suis tendu(e), crispé(e)	•	•	•	•
4. Je me sens surmené(e)	•	•	•	•
5. Je me sens tranquille, bien dans ma peau	•	•	•	•
6. Je me sens ému(e), bouleversé(e), contrarié(e)	•	•	•	•
7. L'idée de malheurs éventuels me tracasse en ce moment	•	•	•	•
8. Je me sens content(e)	•	•	•	•
9. Je me sens effrayé(e)	•	•	•	•
10. Je me sens à mon aise (je me sens bien)	•	•	•	•
11. Je sens que j'ai confiance en moi	•	•	•	•
12. Je me sens nerveux (nerveuse), irritable	•	•	•	•
13. J'ai la frousse, la trouille (j'ai peur)	•	•	•	•
14. Je me sens indécis(e)	•	•	•	•
15. Je suis décontracté(e), détendu(e)	•	•	•	•
16. Je suis satisfait(e)	•	•	•	•
17. Je suis inquiet, soucieux (inquiète, soucieuse)	•	•	•	•

18	Je ne sais plus où j'en suis, je me sens déconcerté(e), dérouté(e)	•	•	•	•
19	Je me sens solide, posé(e), pondéré(e), réfléchi(e)	•	•	•	•
20	Je me sens de bonne humeur, aimable	•	•	•	•

Inventaire d'Anxiété Etat - Trait de Spielberger (STAI)

Nom :	Âge :	Sexe :	Date :
-------	-------	--------	--------

Forme Y-B (trait)

Un certain nombre de phrases que l'on utilise pour se décrire sont données ci-dessous. Lisez chaque phrase puis entourez, parmi les 4 points à droite, celui qui correspond le mieux à ce que vous ressentez GENELEMENT. Il n'y a pas de bonnes ni de mauvaises réponses. Ne passez pas trop de temps sur l'une ou l'autre de ces propositions et indiquez la réponse qui décrit le mieux vos sentiments HABITUELS.

		Non	Plutôt non	Plutôt oui	Oui
21	Je me sens de bonne humeur, aimable	•	•	•	•
22	Je me sens nerveux (nerveuse) et agité(e)	•	•	•	•
23	Je me sens content de moi	•	•	•	•
24	Je voudrais être aussi heureux (heureuse) que les autres	•	•	•	•
25	J'ai un sentiment d'échec	•	•	•	•
26	Je me sens reposé(e)	•	•	•	•
27	J'ai tout mon sang-froid	•	•	•	•
28	J'ai l'impression que les difficultés s'accumulent à un tel point que je ne peux plus les surmonter	•	•	•	•
29	Je m'inquiète à propos de choses sans importance	•	•	•	•
30	Je me sens heureux (heureuse)	•	•	•	•
31	J'ai des pensées qui me perturbent	•	•	•	•
32	Je manque de confiance en moi	•	•	•	•

33	Je me sens sans inquiétude, en sécurité, en sûreté	•	•	•	•
34	Je prends facilement des décisions	•	•	•	•
35	Je me sens incompetent(e), pas à la hauteur	•	•	•	•
36	Je suis satisfait(e)	•	•	•	•
37	Des idées sans importance trottant dans ma tête me dérangent	•	•	•	•
38	Je prends les déceptions tellement à cœur que je les oublie difficilement	•	•	•	•
39	Je suis une personne posée, solide, stable	•	•	•	•
40	Je deviens tendu(e) et agité(e) quand je réfléchis à mes soucis	•	•	•	•

Titre : Imagerie mentale et mémoire prospective dans la sclérose en plaques récurrente-rémittente

Mots clés : mémoire prospective, imagerie mentale, sclérose en plaques, remédiation cognitive

Résumé : L'objectif de cette thèse est d'étudier les perturbations de la mémoire prospective (MP) dans la forme récurrente-rémittente de la sclérose en plaques (SEP-RR). Puis, de tester l'effet d'une consigne d'imagerie mentale sur les performances en MP des personnes atteintes de SEP-RR. La MP est un processus complexe qui mobilise à la fois les fonctions exécutives et les fonctions mnésiques. Pour étudier la MP de manière complète et écologique, nous avons adapté un outil déjà validé – le Test Ecologique de Mémoire Prospective (TEMP, Potvin et al., 2011a) – en réalité virtuelle (RV). Dans l'étude 1 de cette thèse, nous validons les qualités psychométriques du TEMP-RV, à partir d'un échantillon de la population générale ($N = 52$). Dans l'étude 2, nous comparons les performances d'un groupe « SEP-RR » ($N = 22$) et d'un groupe « Contrôle » ($N = 27$) au TEMP-RV.

Dans l'étude 3, nous comparons les performances de ces deux groupes avec et sans consigne d'imagerie mentale. Cette thèse permet d'apporter les conclusions suivantes : (1) le TEMP-RV est un outil valide, sensible et écologique pour évaluer la MP ; (2) la SEP-RR entraîne des difficultés spécifiquement dans la composante prospective de la MP, en lien avec des difficultés de contrôle exécutif ; (3) l'imagerie mentale permet d'améliorer les performances à la composante rétrospective de la MP pour l'ensemble des participants à l'étude 3. En revanche, elle ne permet pas d'améliorer les performances à la composante prospective de la MP, et d'autres stratégies de remédiation de la MP sont donc à explorer pour répondre plus spécifiquement aux problématiques des personnes atteintes de SEP-RR.

Title : Mental imagery and prospective memory in relapsing-remitting multiple sclerosis

Keywords : prospective memory, mental imagery, multiple sclerosis, cognitive remediation

Abstract : The aim of this thesis is to study the disruption of prospective memory (PM) in two groups with and without mental imagery relapsing-remitting multiple sclerosis (RRMS). And then, to test the effect of a mental imagery instruction on the PM performance of people with RRMS. PM is a complex process involving both executive and memory functions. To study PM in a comprehensive and ecological way, we adapted an already validated tool - the Ecological Prospective Memory Test (TEMP, Potvin et al., 2011a) - into virtual reality (RV). In Study 1 of this thesis, we validate the psychometric qualities of the TEMP-RV, using a general population sample ($N = 52$). In Study 2, we compare the performance of an "RRMS" group ($N = 22$) and a "Control" group ($N = 27$) on the TEMP-RV.

In Study 3, we compare the performance of these instructions. This thesis leads to the following conclusions: (1) the TEMP-RV is a valid, sensitive and ecological tool for assessing PM;

(2) RRMS causes difficulties specifically in the prospective component of PM, linked to executive control difficulties; (3) mental imagery improves performance in the retrospective component of PM for all participants in Study 3. However, it did not improve performance in the prospective component of PM, and other strategies for remediating PM therefore need to be explored to respond more specifically to the problems of people with RRMS.