



HAL
open science

Modifications dans la prise de décision au cours du vieillissement normal et dans le cadre de la maladie d'Alzheimer : liens avec les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la mémoire épisodique

Fanny Gaubert

► To cite this version:

Fanny Gaubert. Modifications dans la prise de décision au cours du vieillissement normal et dans le cadre de la maladie d'Alzheimer : liens avec les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la mémoire épisodique. Sciences agricoles. Université Lumière - Lyon II, 2022. Français. NNT : 2022LYO20020 . tel-04076507

HAL Id: tel-04076507

<https://theses.hal.science/tel-04076507>

Submitted on 20 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N° d'ordre NNT : 2022LYO20020

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 476 Neurosciences et Cognition

Discipline : Neuropsychologie

Soutenue publiquement le 16 décembre 2022, par :

Fanny GAUBERT

Modifications dans la prise de décision au cours du vieillissement normal et dans le cadre de la maladie d'Alzheimer.

*Liens avec les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la
mémoire épisodique.*

Devant le jury composé de :

Pascal HOT, Professeur des Universités, Université de Savoie, Président

Sophie BAYARD, Maître de conférences HDR, Université Montpellier 3 Paul Valéry, Rapporteur

Lucie ANGEL, Maître de conférences HDR, Université de Tours, Rapporteur

Pierre KROLAK-SALMON, Professeur des Universités, Praticien hospitalier, Université Claude Bernard Lyon 1
Hospices Civils de Lyon, Examinateur

Hanna CHAINAY, Professeure des Universités, Université Lumière Lyon 2, Co-Directrice de thèse

Céline BORG, Professeure, Neuropsychologue, Université Catholique de Lyon, Co-Directrice de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Université Lumière Lyon 2

École Doctorale Neurosciences et Cognition (NSCo) ED 476

Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (UR EMC)

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Discipline : Sciences Cognitives

Modifications dans la prise de décision au cours du vieillissement normal
et dans le cadre de la maladie d'Alzheimer : liens avec les fonctions exécutives,
la mémoire de travail et la mémoire épisodique

Par : Fanny GAUBERT

Réalisée sous la direction de Pr. Hanna CHAINAY et Dr. Céline BORG

Thèse soutenue le : 16 Décembre 2022

Devant le jury composé de :

Lucie ANGEL

Maîtresse de conférence à l'Université de Tours, Rapportrice

Sophie BAYARD

Maîtresse de conférence à l'Université de Montpellier, Rapportrice

Pascal HOT

Professeur à l'Université de Savoie Mont Blanc, Examineur

Pierre KROLAK-SALMON

Professeur aux Hospices Civils de Lyon, Examineur

Hanna Chainay

Professeure à l'Université Lumière Lyon 2, Directrice de thèse

Céline Borg

Professeure à l'Université Catholique de Lyon, Directrice de Thèse

*“Here’s to the ones who dream,
Foolish has they may seem”*

Résumé

Introduction : Le vieillissement, normal comme pathologique, entraîne des modifications cognitives pouvant impacter la capacité à prendre des décisions. Bien que cette dernière conditionne l'autonomie, aucune étude n'a, à notre connaissance, questionné de façon systématique les liens entre ses modifications et celles touchant les fonctions cognitives.

Objectif : Ce travail de thèse visait 1) à spécifier les particularités de la capacité à prendre des décisions des adultes âgés sans trouble neurocognitif ou atteints de la maladie d'Alzheimer (MA) à un stade léger ; et 2) à mettre en lien ces spécificités avec les modifications que subissent les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la mémoire épisodique au cours du vieillissement normal et pathologique. **Méthode :** Trois études ont été menées, dont deux s'intéressant au vieillissement normal et une au stade léger de la MA. Pour toutes, la capacité à prendre des décisions était évaluée au moyen de l'Iowa Gambling Task (IGT) et d'une tâche de scénarios inspirés de situations de la vie quotidienne, sous deux conditions (i.e., sous risque et sous ambiguïté). L'objectif de l'étude 1 était d'analyser les liens que partage la capacité à prendre des décisions avec les fonctions exécutives (i.e., la flexibilité mentale, l'inhibition et la mise à jour) et la mémoire de travail, dans le vieillissement normal. Cinquante adultes âgés entre 62 et 87 ans ainsi que 50 adultes jeunes âgés entre 18 et 32 ans ont été inclus. L'étude 2, visait à mettre en lumière les liens entre la capacité à prendre des décisions et la mémoire épisodique (i.e., processus de recollection et de familiarité) dans le vieillissement normal. Trente adultes âgés entre 60 et 83 ans ainsi que 30 adultes jeunes âgés entre 18 et 30 ans ont été inclus. Enfin, avec le même protocole que l'étude 1, l'étude 3 visait à montrer les liens unissant la capacité à prendre des décisions, les fonctions exécutives et la mémoire de travail chez des patients atteints de la MA à un stade léger. Vingt adultes âgés

contrôles et 20 patients atteints de la MA à un stade léger ont été inclus. **Résultats :** Les études 1 et 2 ont montré, comparativement aux adultes jeunes, une difficulté des adultes âgés à adapter leurs décisions au cours de l'IGT et une aversion au risque et à l'ambiguïté plus importante dans la tâche de scénarios. Par ailleurs, les adultes âgés s'appuyaient davantage sur le pourcentage de certitude pour élaborer leurs choix, et ce, quel que soit le contexte (i.e., gain vs. perte). Adultes jeunes et âgés se montraient toutefois sensibles à l'effet de contexte. Les études 1 et 2 ont respectivement montré une implication particulière des processus inhibiteurs et du processus de familiarité sur la capacité à prendre des décisions. L'étude 3 a montré une plus grande difficulté à conserver une stratégie stable à l'IGT chez les patients atteints de la MA que chez les adultes âgés contrôles. Pour la tâche de scénarios, en condition sous ambiguïté, adultes âgés contrôles et patients atteints de la MA adoptaient la même attitude face à l'ambiguïté et ajustaient autant leurs décisions au pourcentage de certitude de l'option non-ambiguë. En condition sous risque, les patients atteints de la MA ajustaient leur décision aux pourcentages de certitude uniquement en contexte de gain. Toutes les fonctions cognitives évaluées (i.e., inhibition, flexibilité mentale, mise à jour et mémoire de travail) expliquaient en partie les performances des adultes âgés contrôles et des patients atteints de la MA aux tâches décisionnelles. **Discussion :** Le vieillissement normal comme la MA entraînent des modifications dans la prise de décision. Les adultes âgés avec et sans trouble cognitif prennent des décisions plus sécuritaires que les adultes jeunes, permettant, d'après la *Socioemotional Selectivity Theory*, d'optimiser leur bien-être. Déjà au stade léger de la MA, l'effet de contexte semble s'affaiblir. Remettant partiellement en question le modèle de Schiebener et Brand (2015), des processus cognitifs dépendant de la voie analytique semblent également intervenir dans la prise de décision sous ambiguïté.

Mots clés : *vieillissement ; maladie d'Alzheimer ; prise de décision ; fonctions exécutives ; mémoire de travail ; mémoire épisodique*

Abstract

Introduction: Both normal and pathological ageing lead to cognitive changes that can affect decision-making capacity (DMC). Although the elderly face many important decisions, to our knowledge, no study has systematically investigated the links between changes in DMC and changes in cognitive functions during ageing. **Objective:** The aim of this PhD thesis was double: 1) better specify the characteristics of DMC in elderly adults without neurocognitive disorders, as well as in elderly adults with mild Alzheimer's disease (AD); and 2) investigate the links between changes in DMC and changes in executive functions, working memory and episodic memory during normal ageing and mild AD. **Method:** Three studies were conducted, two interested in normal ageing and one in mild AD. In all studies, DMC was assessed using the Iowa Gambling Task (IGT) and a scenario task based on everyday life situations, comprising under-risk and under-ambiguity conditions. Study 1 aimed to understand the relationship that DMC shares with executive functions (i.e., mental flexibility, inhibition and updating) and working memory in normal ageing. Fifty adults aged between 62 and 87 years and 50 young adults aged between 18 and 32 years were included. Study 2 aimed to shed light on the relationship between DMC and episodic memory (i.e., recollection and familiarity processes) in normal ageing. Thirty adults aged between 60 and 83 years and 30 young adults aged between 18 and 30 years were included. Finally, using the same protocol as Study 1, Study 3 aimed to understand the relationship between DMC, executive functions and working memory in patients with mild AD. Twenty elderly control adults and 20 patients with mild AD were included. **Results:** Studies 1 and 2 showed that elderly adults

had more difficulty adapting their decisions during IGT and that they were more risk and ambiguity-averse in the scenario task than young adults. In addition, elderly adults relied more on the percentage of certainty of the risky option, regardless of the context (i.e., gain vs. loss), than their younger counterparts. However, both young and elderly adults were sensitive to the context effect. Studies 1 and 2 respectively showed a particular involvement of inhibitory processes and familiarity processes on the ability to make decisions. Study 3 showed greater difficulty in maintaining a stable strategy on IGT in AD patients than in elderly control adults. For the scenario task, in the under-ambiguity condition, elderly adults with AD and controls had the same attitude towards ambiguity and adjusted their decisions equally to the percentage certainty of the unambiguous option. In the under-risk condition, AD patients adjusted their decision to the certainty percentages only in the gain condition. All of the cognitive functions assessed (i.e., inhibition, mental flexibility, updating, and working memory) accounted for some of the performances of elderly control adults and of AD patients on decision tasks. **Discussion:** Both normal ageing and mild AD lead to changes in DMC. Elderly adults with and without cognitive impairment make safer decisions than young adults. According to the Socioemotional Selectivity Theory, they tend to optimise their well-being. Already in the Mild AD already knows a weakening of the context effect. Partially challenging the model of Schiebener and Brand (2015), cognitive processes, that depend on the reflective mode, also seem to be involved in decision-making under ambiguity.

Key words : ageing; Alzheimer's Disease; decision making; executive functions; working memory; episodic memory

Remerciements

Le travail de thèse est souvent comparé à la course d'un Marathon. Il est vrai que, pour l'un comme pour l'autre, il faut déployer des efforts d'endurance importants. Il est vrai aussi que la difficulté du parcours s'accroît à mesure que la fin approche. Pourtant, plus j'y réfléchis, et moins cette comparaison ne me paraît juste. Pour moi, une différence majeure rend impossible tout rapprochement entre ces deux situations : le nombre de personnes qu'elles impliquent. Un marathon se court seul·e, il peut même s'entraîner seul·e. Une thèse, en revanche, ne se réalise jamais seul·e. Ma thèse, en tout cas, n'aurait jamais vu le jour si j'avais été seule. Les prochaines pages seront alors dédiées à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont rendu ce projet possible.

Tout d'abord, je voulais évidemment remercier mes deux directrices de thèse, Hanna Chainay et Céline Borg, qui m'ont guidée tout au long de ces quatre années. Je remercie Hanna de m'avoir ouvert sa porte, à la fin de mon Master 1, et d'avoir accepté de me suivre en Master 2 Recherche alors que toutes les pistes de stages semblaient me glisser entre les doigts. « Quand je suis quelqu'un, je le suis vraiment » m'avait-elle dit, alors qu'elle réfléchissait au projet de mémoire qu'elle pourrait me proposer. Je sais maintenant ô combien cela est vrai. Quel que soit le jour de la semaine, et presque quelle que soit l'heure du jour ou de la nuit, elle a été présente pour répondre à mes interrogations, pour me donner des conseils, pour corriger mes documents. Avec Hanna, il y a toujours une solution pour tout. Le COVID n'avait qu'à bien se tenir, il n'aurait pas su empêcher cette thèse d'aboutir. Merci Hanna pour votre investissement sans faille, pour votre soutien à toute épreuve, ainsi que pour votre précision chirurgicale, qui nous a parfois menées à des débats lexicaux inattendus. Je remercie également Céline d'avoir accepté ce co-encadrement de thèse. Merci de m'avoir ouvert, et

quelquefois même prêté, ton bureau. Merci de m'avoir guidée dans le recrutement des patients. Merci pour ton œil de clinicienne, dans lequel je me suis souvent reconnue, et qui a donné à cette thèse encore plus de saveur.

Je remercie les trois centres hospitaliers qui se sont associés au projet afin de nous permettre de recruter des patients : le CMRR du CHU Nord de Saint-Etienne évidemment, mais également le CMRR Paris Nord de l'hôpital Fernand-Widal et l'hôpital de jour des Charpennes des hospices civils de Lyon. Merci aux équipes sur place qui m'ont guidée pour que les passations aient lieu dans les meilleures conditions possibles. Merci en particulier à Jean-Claude Gétenet, Marie Peurière et Malorie Bois pour Saint-Etienne ; Claire Paquet, Sandrine Indart et Stéphanie Philibert pour Paris ; Marie-Hélène Coste, Karine Goldet et Sylvie Broyer pour Lyon.

Je remercie les étudiantes en Master 2 de Neuropsychologie, Hélène Saint-Martin, Chloé Gadille, Marie Guinand et Mathilde Hammani pour avoir aidé au recrutement. Je remercie particulièrement Hélène qui, non seulement, a inclus un grand nombre de participants, mais qui a en plus participé à la programmation de la tâche en mémoire à long terme sur Psytoolkit.

Je voulais également remercier les membres de mon CSID, Pascal Hot et Pierre Krolak-Salmon, pour leur bienveillance qui m'a donné confiance et permis d'avancer dans mon projet avec sérénité, ainsi que pour la pertinence de leurs remarques et de leurs conseils qui m'ont permis d'apporter des améliorations à ce travail de thèse. J'en profite également pour remercier mes deux rapportrices, Lucie Angel et Sophie Bayard, pour avoir accepté ce rôle nécessaire à la dernière étape diplômante de ce parcours de thèse.

Je remercie Bernard Lété, directeur du laboratoire EMC, pour m'avoir accueillie et pour m'avoir fourni le cadre et le matériel nécessaires à l'établissement de mon travail. Je le

remercie également pour son soutien au Groupe Communication, dont je faisais partie. Enfin, je voulais vraiment le remercier pour m'avoir donné l'opportunité de me rendre à L'Ecole d'Eté en Logopédie-Orthophonie, édition Liégeoise de 2019, bien que je n'avais pas de travaux à présenter. Grâce à cette faveur, en adéquation complète avec mon projet professionnel, j'ai pu rencontrer Sylvia Topouzkhianian et poser mon premier orteil à l'UNADREO.

Je remercie ainsi l'UNADREO, et en particulier sa présidente Sylvia Topouzkhianian, pour m'avoir intégrée à l'équipe. Bien que non directement liés à ma thèse, les différents projets dans lesquels j'ai pu m'impliquer ont donné un sens fort à mon travail de doctorante, décuplant ainsi ma motivation et ma force. Je remercie ainsi l'UNADREO pour m'avoir rappelé pourquoi je m'étais lancée dans ce projet de thèse : construire les compétences nécessaires pour promouvoir la recherche en orthophonie. Je ne remercierai jamais assez Sylvia, et toute l'équipe, pour la confiance et la légitimité qu'ils m'ont immédiatement accordées. Je les remercie pour toutes les responsabilités qu'ils m'ont confiées, qui m'ont permis de développer de nouvelles compétences : vulgariser la science par l'intermédiaire d'articles écrits et même d'épisodes de Podcast (si j'avais su ça un jour !), modérer des sessions de communications orales lors de conférences, ou encore organiser des sessions Posters. Ce n'est que le début de l'aventure, et il me tarde de continuer avec cette équipe remplie d'énergie, d'idées incroyables, de rigueur et de bienveillance.

Je remercie toute l'équipe de doctorants du laboratoire EMC, pour sa bonne humeur, son esprit d'entre-aide et de solidarité. Merci mes deux super co-bureau, Sara puis Chloé, pour les pauses thé et les rires partagés. Merci à Théo et Hippolyte, pour leurs conseils en matière de statistique, et leurs blagues inénarrables (oui, bon, faut peut-être pas pousser, surtout pour un Ardéchois). Merci à Fede, pour les petites pauses au calme au milieu du tourbillon de nos thèses respectives, pour nos idées de collaboration (NIRS et nouveau-nés, on

va tout déchirer !). Merci à Alinette, même si tu n'es pas doctorante, tu étais quand même membre actif de la Doc'Team. Tu étais ma *wonder woman* à moi, qui trouve une solution à tout, plus vite que son ombre. Merci pour les moments confidences, pour les thés et pour les cours de crochets (#cestnouslesmémés). Enfin, merci à ma Samarounette simplement d'être toi. Pour les quelques *afterwork* à Sans souci et les soirées aux Brotteaux à décompresser. Toi aussi tu es une sacrée *wonder woman*, inspirante à jamais.

Evidemment, je voulais remercier tous les participants qui ont rendu ce travail possible, et en particulier les patients, pour qui cela demandait un effort plus important encore que pour les autres. Je remercie les participants d'autant plus que leur envie devait nécessairement surpasser leurs craintes liées au COVID, et que leur engagement s'associait à l'application de mesures barrières contraignantes. Je remercie aussi mes parents et ma belle-mère qui ont sollicité leurs réseaux afin que je trouve des volontaires supplémentaires, notamment entre les différents confinements, alors que l'Université interdisait en son sein les populations considérées « à risque », telles que les individus de plus de 65 ans. Je remercie mon frère, mes beaux-frères, mes belles-sœurs, mes cousines ainsi que mes ami-es (notamment la <3 <3 Kawai Team, et leurs chéris) de s'être également mobilisés et prêtés à l'exercice, avec le plus grand sérieux, pendant leurs soirées, leurs vacances ou leurs weekends, me permettant de continuer le recrutement même lorsque tous les cours se donnaient en distanciel et que nous n'avions plus de contact direct avec les étudiants, entravant la possibilité de mener à bien les passations. Merci à vous tous, je me suis sentie soutenue plus que jamais.

Je voulais ensuite particulièrement remercier mes parents. Je les remercie tout d'abord de tout cœur pour leur soutien inébranlable, leur amour inconditionnel, leur confiance en moi et leurs encouragements pour tous les projets que j'ai pu entreprendre dans ma vie, dont cette thèse. Je les remercie de m'avoir appris à ne jamais baisser les bras, à ne pas avoir peur d'aller

au bout de mes rêves, à donner le meilleur de moi-même en toute circonstance, de toujours chercher la lumière et le positif dans les périodes plus sombres et de m’y accrocher comme à une bouée de sauvetage. Papa et maman, je ne serai jamais arrivée là où j’en suis aujourd’hui sans vous. Je les remercie aussi pour l’aide qu’ils nous ont apportée cet été, alors que je devais rédiger le manuscrit et que nous devions, à cette même période, libérer l’appartement. Merci papa d’avoir rangé ton bureau afin que je puisse m’isoler et être dans le meilleur environnement possible. Merci maman de nous avoir concocter de merveilleux repas réconfortants, et de m’avoir régulièrement approvisionnée en eau pétillante et chocolat. Merci à tous les deux de vous être si bien occupés de Lucian. Je crois qu’il a passé un été extraordinaire. Merci d’avoir créé cet environnement propice à la rédaction intensive, sans lequel je n’aurais pas pu fournir un travail de la qualité que j’espérais. Merci, enfin, d’avoir relu la première version de la thèse, afin de vérifier l’orthographe, la grammaire et l’intelligibilité de mes phrases.

Je voulais également remercier ma belle-mère, qui nous épaula depuis début Septembre, d’une part en nous hébergeant, et d’autre part en s’occupant de Lucian dès qu’elle en a la possibilité, me permettant ainsi de finir la correction de mon manuscrit dans les meilleures conditions possibles. Pour Oma, hip hip hip, hurra !

Merci aussi à ma Florette et à ma Cécilou, sur qui je peux toujours compter, qui se sont partagées la lecture de la version finale de la thèse afin de traquer les fautes de frappe et d’orthographe qui auraient pu passer sous les radars. Merci aussi pour leurs retours enthousiastes, qui m’ont fait beaucoup de bien.

Aussi étrange que cela puisse paraître, je voulais aussi remercier mon petit Lucian. Mon Lulu, tu as débarqué dans ma vie comme une comète sur la planète, tu as bouleversé mon monde. Tu as fait de moi une maman, au milieu de cette thèse. Sans le savoir tu m’as rendu plus forte, plus confiante. Parce que tu changes si vite, tu m’as appris à prendre le

temps de savourer l'instant présent. Tu ne peux pas t'imaginer, appliqué à la thèse, à quel point il était délicieux d'apprécier, juste l'espace d'un instant, les étapes accomplies avant de rebaisser la tête vers les étapes suivantes, avec encore plus de détermination. Je te remercie aussi pour m'avoir forcée, par ta présence, à faire des pauses salutaires, peut-être même salvatrice. Je te remercie pour tout l'émerveillement et le bonheur que tu provoques en moi, plénitude que j'ai pu réinjecter sous forme d'énergie dans la thèse.

Enfin, je voulais te remercier, mon Kinou (oui, désolée, mon « Kevin » ça sonne vraiment trop bizarre). Je crois que je n'ai simplement pas les mots pour dire à quel point ton soutien a été indispensable. Tu es mon roc, mon socle, ma bouée, ma bouffée d'oxygène. Merci pour commencer d'avoir accepté de passer 4 années supplémentaires à Lyon, et d'avoir encore mis en suspens notre retour près de Toulouse et de tes racines. Merci pour ton aide en programmation, sur Excel comme sur E-Prime, qui m'a souvent permis de dénouer des problèmes sur lesquels je pouvais rester bloquée pendant des heures. Merci d'avoir été le premier à tester mes tâches, et de m'avoir livré tes impressions pour que je les améliore encore. Merci d'avoir géré, littéralement tout seul, le déménagement cet été pour me permettre de rédiger (enfin... merci aussi à Camilo et Hugo pour le transport de cartons et le Tetris !). Merci d'avoir été à mon écoute, dans les moments critiques où je te disais que j'allais avoir besoin de toi. Merci d'être mon partenaire de vie et à vie, de me suivre dans mes projets et de créer les conditions pour qu'ils aboutissent, comme s'ils étaient les tiens. J'espère pouvoir être dans tes futurs projets un pilier aussi solide pour toi que ce que tu as toujours été pour moi. Bref, merci pour tout mon chéri d'amour. Je crois que cette thèse, elle est aussi un peu à toi.

Tous ces remerciements donnés, je peux alors réaffirmer que durant ces quatre années, je ne me suis pas sentie l'âme d'une marathonnienne, mais plutôt, celle d'une mousquetaire.

« Un pour tous, et tous pour un ».

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Remerciements	v
Liste des tableaux	xv
Liste des Figures	xvi
Acronymes et abréviations	xxi
Avant-propos	xxiii

PARTIE I - Les modifications de la prise de décision au cours du vieillissement normal

Chapitre 1 - Vieillesse et prise de décision : ancrage théorique

1.	LES EFFETS PHYSIQUES ET MENTAUX DU VIEILLISSEMENT	- 3 -
1.1	LES MODIFICATIONS NEUROANATOMIQUES ET NEUROPHYSIOLOGIQUES	- 5 -
1.2	LES MODIFICATIONS COGNITIVES	- 10 -
1.2.1	<i>Les répercussions du vieillissement sur les fonctions exécutives</i>	- 11 -
1.2.2	<i>Les répercussions du vieillissement sur la mémoire de travail</i>	- 22 -
1.2.3	<i>Les répercussions du vieillissement sur la mémoire épisodique</i>	- 26 -
1.3	LES REPERCUSSIONS DU VIEILLISSEMENT SUR LE SYSTEME EMOTIONNEL ET AFFECTIF	- 35 -
1.4	LES REPERCUSSIONS DU VIEILLISSEMENT SUR LA QUALITE DE VIE	- 38 -
2	LA PRISE DE DECISION ET L'EVOLUTION DE SES MODELISATIONS THEORIQUES	- 42 -
2.1	LA PRISE DE DECISION, UNE PERSPECTIVE D'ABORD PROBABILISTE	- 43 -
2.1.1	<i>Quand les probabilités ne jouent pas le jeu</i>	- 43 -
2.1.2	<i>Les théories de l'utilité espérée : l'intégration progressive de la variable « sujet »</i>	- 45 -
2.1.3	<i>Les théories de la fin du XX^e siècle : l'intégration progressive de la variable contexte</i>	- 47 -
2.2	LA PRISE DE DECISION, PLACE AUX EMOTIONS	- 52 -
2.2.1	<i>Les modèles à double voie de la prise de décision</i>	- 52 -
2.2.2	<i>Les modèles globaux de la prise de décision</i>	- 59 -
2.3	LES MODELES DE LA PRISE DE DECISION CHEZ L'ADULTE AGE	- 64 -
3	LA PRISE DE DECISION AU COURS DU VIEILLISSEMENT	- 66 -
3.1	DES MODIFICATIONS DE LA DMC AU COURS DU VIEILLISSEMENT, SOUS AMBIGUÏTE ET SOUS RISQUE	- 67 -
3.1.1	<i>Les modifications de la DMC sous ambiguïté au cours du vieillissement</i>	- 67 -
3.1.2	<i>Les modifications de la DMC sous risque au cours du vieillissement</i>	- 69 -
3.2	LES MODIFICATIONS COGNITIVES IMPLIQUEES DANS LES MODIFICATIONS DE LA DMC	- 72 -

3.3	LES MODIFICATIONS EMOTIONNELLES IMPLIQUEES DANS LES MODIFICATIONS DE LA DMC	- 77 -
4	LES MODELES COGNITIFS THEORIQUES DE REFERENCE	- 80 -
4.1	LE MODELE DE PRISE DE DECISION DE REFERENCE	- 80 -
4.2	LES FONCTIONS EXECUTIVES SELON MIYAKE ET AL. (2000) : UN SYSTEME NON UNITAIRE	- 81 -
4.3	LA MEMOIRE DE TRAVAIL SELON LE MODELE <i>TIME BASED RESOURCE SHARING</i> (BARROUILLET ET AL., 2004)	- 83 -
4.4	LA MEMOIRE EPISODIQUE	- 85 -
5	HYPOTHESES THEORIQUES	- 86 -

Chapitre 2 - Implication des fonctions exécutives et de la mémoire de travail sur la prise de décision au cours du vieillissement : les apports empiriques

1	ETUDE 1 – LIEN ENTRE DMC, FONCTIONS EXECUTIVES ET MEMOIRE DE TRAVAIL AU COURS DU VIEILLISSEMENT	- 91 -
1.1	PRÉAMBULE	- 91 -
1.2	CONTENU DE L'ARTICLE 1 : <i>DECISION-MAKING AND AGEING: EVERYDAY LIFE SITUATIONS UNDER RISK AND UNDER AMBIGUITY</i>	- 93 -
1.3	ANNEXE DE L'ARTICLE 1 : DESCRIPTION DETAILLEE DES TACHES	- 122 -
I.	EXECUTIVE FUNCTIONS ASSESSMENT	- 122 -
II.	WORKING MEMORY TASKS	- 128 -
III.	DECISION-MAKING TASKS	- 131 -
1.4	RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE 1	- 132 -
2	ETUDE 2 – LIEN ENTRE LA DMC ET LA MEMOIRE EPISODIQUE AU COURS DU VIEILLISSEMENT	- 135 -
2.1	PREAMBULE	- 135 -
2.2	CONTENU DE L'ARTICLE 2 : <i>THE IMPACT OF EPISODIC MEMORY ON DECISION MAKING COMPETENCE IN AGING: IOWA GAMBLING TASK AND DAILY LIFE SITUATIONS</i>	- 137 -
2.3	RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE 2	- 160 -
3	DISCUSSION GENERALE : LA PRISE DE DECISION ET LES FONCTIONS COGNITIVES DANS LE VIEILLISSEMENT NORMAL	- 162 -
3.1	LE VIEILLISSEMENT DES FONCTIONS COGNITIVES	- 163 -
3.1.1	<i>L'effet du vieillissement sur la flexibilité mentale</i>	- 163 -
3.1.2	<i>L'effet du vieillissement sur l'inhibition</i>	- 164 -
3.1.3	<i>L'effet du vieillissement sur la mise à jour en MT</i>	- 165 -
3.1.4	<i>L'effet du vieillissement sur le maintien et la manipulation d'informations en MT</i>	- 167 -
3.1.5	<i>L'effet du vieillissement sur la mémoire épisodique</i>	- 168 -
3.2	L'EFFET DE VIEILLISSEMENT SUR LA CAPACITE A PRENDRE DES DECISIONS	- 174 -
3.2.1	<i>L'effet du vieillissement sur les performances à l'IGT</i>	- 174 -
3.2.2	<i>L'effet du vieillissement sur des décisions hypothétiques de la vie quotidienne</i>	- 177 -
3.3	LES LIENS ENTRE FONCTIONS COGNITIVES ET CAPACITE A PRENDRE DES DECISIONS	- 184 -
3.3.1	<i>Le rôle des processus inhibiteurs dans la prise de décision</i>	- 185 -
3.3.2	<i>Le rôle du sentiment de familiarité dans la prise de décision</i>	- 187 -

PARTIE II - Les modifications de la prise de décision au stade léger de la maladie d'Alzheimer

Chapitre 1 - Maladie d'Alzheimer et prise de décision : ancrage théorique

1	LA MALADIE D'ALZHEIMER	- 194 -
1.1	ÉTILOGIE DE LA MALADIE D'ALZHEIMER	- 195 -
1.1.1	<i>Les marqueurs pathologiques de la MA</i>	- 196 -
1.1.2	<i>Les marqueurs topologiques de la MA</i>	- 200 -
1.2	LA SYMPTOMATOLOGIE DE LA MALADIE D'ALZHEIMER	- 204 -
1.2.1	<i>Les modifications de la mémoire épisodique</i>	- 205 -
1.2.2	<i>Les modifications de la mémoire de travail</i>	- 209 -
1.2.3	<i>Les modifications des fonctions exécutives</i>	- 211 -
2	LA PRISE DE DECISION DANS LA MALADIE D'ALZHEIMER	- 219 -
2.1	PREAMBULE	- 219 -
2.2	REVUE SYSTEMATIQUE DE LA LITTERATURE	- 220 -
2.3	MISE A JOUR DE LA REVUE DE LITTERATURE	- 250 -

Chapitre 2 - Implication des fonctions exécutives et de la mémoire de travail sur la prise de décision au stade léger de la maladie d'Alzheimer : les apports empiriques

1	ÉTUDE 3 - LIEN ENTRE DMC, FONCTIONS EXECUTIVES ET MEMOIRE DE TRAVAIL AU STADE LEGER DE LA MA	- 253 -
1.1	PRÉAMBULE	- 253 -
1.2	CONTENU DE L'ARTICLE 4	- 255 -
1.4	RESUME DES RESULTATS DE L'ETUDE 3	- 283 -

PARTIE III - Discussion générale et conclusion

Discussion générale

1	LA PRISE DE DECISION DANS LE VIEILLISSEMENT NORMAL ET DANS LA MA : LES DIFFERENCES COMPORTEMENTALES	- 289 -
1.1	LES DIFFERENCES COMPORTEMENTALES OBSERVEES A L'IGT	- 289 -
1.2	LES DIFFERENCES COMPORTEMENTALES OBSERVEES A LA TACHE DE SCENARIOS	- 296 -
1.2.1	<i>Les scénarios sous ambiguïté</i>	- 296 -
1.2.2	<i>Les scénarios sous risque</i>	- 303 -
1.3	LES DIFFERENCES COGNITIVES : LES FONCTIONS ENGAGEES DANS LA PRISE DE DECISION	- 306 -
2	LIMITES ET PERSPECTIVES	- 311 -

Conclusion

Liste des tableaux

TABLEAU 1. RESULTS FOR EXECUTIVE FUNCTION AND WORKING MEMORY TASKS AND T-TEST COMPARISONS FOR OLD AND YOUNG ADULTS	- 102 -
TABLEAU 2. CORRELATIONS BETWEEN THE RESULTS IN THE DECISION-MAKING TASKS AND THE RESULTS IN EXECUTIVE AND WORKING MEMORY TASKS FOR HIGH AND LOW PERFORMERS INDEPENDENTLY	- 110 -
TABLEAU 3. MULTIPLE REGRESSIONS WITH THE DECISION-MAKING TASKS AS CRITERION AND THE EXECUTIVE AND WORKING MEMORY TASKS AS FACTOR SCORES	- 111 -
TABLEAU 4. SCORES (MEAN AND SD) OF YOUNG AND OLD ADULTS ON THE EPISODIC MEMORY TASK	- 146 -
TABLEAU 5. CORRELATIONS BETWEEN THE RESULTS ON THE DECISION-MAKING TASKS AND THE RESULTS OF THE EPISODIC MEMORY TASK FOR BOTH GROUPS COMBINED	- 154 -
TABLEAU 6. MULTIPLE REGRESSIONS WITH THE DECISION-MAKING TASKS AS CRITERION AND THE EPISODIC MEMORY SCORES AS FACTORS	- 155 -
TABLEAU 7. RECAP CHART OF THE 31 EMPIRICAL STUDIES INCLUDED IN THE PRESENT REVIEW, WITH AUTHORS NAMES, DATE OF THE PUBLICATION, TYPE OF PARTICIPANTS AND THEIR NUMBER PER GROUP, AD STAGE, TASKS USED IN THE STUDY AND MAIN RESULTS	- 229 -
TABLEAU 8. DEMOGRAPHIC INFORMATION AND THE STATISTICAL DIFFERENCES BETWEEN THE GROUPS	- 262 -
TABLEAU 9. RESULTS FOR EXECUTIVE FUNCTIONS AND WORKING MEMORY TASKS AND T-TEST COMPARISONS FOR OLD ADULTS AND PATIENTS	- 269 -
TABLEAU 10. CORRELATIONS BETWEEN THE RESULTS IN THE DECISION-MAKING TASKS AND THE RESULTS IN THE EXECUTIVE AND WORKING MEMORY TASKS FOR BOTH GROUPS COMBINED	- 273 -
TABLEAU 11. MULTIPLE LINEAR REGRESSIONS WITH THE DECISION-MAKING TASKS AS CRITERION AND THE EXECUTIVE AND WORKING MEMORY TASKS AS FACTOR SCORES	- 276 -

Liste des figures

FIGURE 1. ILLUSTRATION DE L’IOWA GAMBLING TASK (IGT)	- 53 -
FIGURE 2. REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MODELE THEORIQUE FOCALISE SUR LA PRISE DE DECISION SOUS RISQUE PROPOSE PAR BRAND ET AL. (2006)	- 57 -
FIGURE 3. REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MODELE EIC PROPOSE PAR LERNER ET AL. (2015).....	- 63 -
FIGURE 4. SCHEMA DE L’EVOLUTION DES TRACES MNESIQUES AU COURS D’UNE TACHE D’EMPANS COMPLEXES SELON LE MODELE TBRS	- 83 -
FIGURE 5. EXAMPLE OF SCENARIO UNDER RISK ON THE LEFT, AND UNDER AMBIGUITY ON THE RIGHT	- 100 -
FIGURE 6. MEAN NUMBER OF ADVANTAGEOUS SELECTIONS IN IGT BLOCKS (MAX = 20) IN OLD AND YOUNG ADULTS (BARS REPRESENT STANDARD ERRORS).	- 104 -
FIGURE 7. (A) MEAN NUMBER OF ADVANTAGEOUS SELECTIONS IN IGT HALVES IN OLD AND YOUNG ADULTS; (B) IGT NET SCORE, CORRESPONDING TO (C+D)-(A+B) DECK SELECTIONS. BARS REPRESENT STANDARD ERRORS.....	- 104 -
FIGURE 8. MEAN FREQUENCY OF SWITCHES BETWEEN ADVANTAGEOUS (C +D) AND DISADVANTAGEOUS DECKS IN IGT (BARS REPRESENT STANDARD ERRORS).....	- 105 -
FIGURE 9. (A) MEAN SELECTIONS OF LESS ADVANTAGEOUS CHOICES: AMBIGUOUS IN UNDER AMBIGUITY SCENARIOS AND RISKY IN UNDER RISK SCENARIOS ;(B) MEAN SELECTIONS OF RISKY OPTIONS IN UNDER RISK SCENARIO DEPENDING ON THE CONTEXT, I.E., GAIN OR LOSS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS.....	- 106 -
FIGURE 10. MEAN NUMBER OF RISKY OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THESE OPTIONS, IN GAIN CONTEXT (A) AND IN LOSS CONTEXT (B). BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS PER PERCENTAGE = 2.	- 107 -
FIGURE 11. MEAN NUMBER OF AMBIGUOUS OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE UNAMBIGUOUS OPTIONS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS PER PERCENTAGE = 4.	- 107 -
FIGURE 12. CORRELATIONS BETWEEN THE NUMBER OF SWITCHES DURING THE IGT AND THE STROOP SCORE, THE MAXIMUM NUMBER OF SWITCHES BEING 99.....	- 108 -

FIGURE 13. CORRELATIONS BETWEEN THE TOTAL NUMBER OF AMBIGUOUS OPTIONS (MAX = 36) CHOSEN IN THE UNDER-AMBIGUITY CONDITION AND THE UPDATING COMPOSITE SCORE (A), THE WORKING MEMORY COMPOSITE SCORE (B), AND THE STROOP SCORE (C).....	- 109 -
FIGURE 14. CORRELATIONS BETWEEN THE TOTAL NUMBER OF RISKY OPTIONS (MAX = 36) CHOSEN IN THE UNDER-RISK CONDITION; AND: THE UPDATING COMPOSITE SCORE (A), AND THE STROOP SCORE (B,); AND BETWEEN THE NUMBER OF RISKY OPTIONS CHOSEN IN THE GAIN CONTEXT (MAX = 18), THE UPDATING COMPOSITE SCORE (C), AND THE STROOP SCORE.	- 109 -
FIGURE 15. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF LETTER UPDATING TRIAL	- 122 -
FIGURE 16. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF N-BACK TRIAL	- 123 -
FIGURE 17. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF NUMBER-LETTER TRIAL	- 124 -
FIGURE 18. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF CATEGORY SWITCH TRIAL	- 125 -
FIGURE 19. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF TWO STOP SIGNAL TRIALS: EXAMPLE OF THE FIRST PHASE ON THE LEFT (A.) AND EXAMPLE OF THE SECOND PHASE ON THE RIGHT (B.)	- 126 -
FIGURE 20. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF CONTINUOUS OPERATION SPAN - THE PARTICIPANTS READ LETTERS, NUMBERS AND SIGN-OPERAND PAIRS OUT LOUD AND GIVE THE RESULTS OF THE CALCULATIONS VERBALLY WHILE THE WHITE SCREEN IS DISPLAYED.	- 129 -
FIGURE 21. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF READING OPERATION SPAN	- 130 -
FIGURE 22. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF READING OPERATION SPAN	- 131 -
FIGURE 23. EXAMPLE OF SCENARIO UNDER RISK ON THE LEFT, AND UNDER AMBIGUITY ON THE RIGHT	- 142 -
FIGURE 24. DIAGRAM DESCRIBING THE REMEMBER/KNOW TASK PROCEDURE.....	- 143 -
FIGURE 25. (A) MEAN TOTAL NUMBER OF RECALLED ADJECTIVES (WORDS FROM THE ENCODING AND THE RECOGNITION LISTS TAKEN INTO ACCOUNT) FOR IMMEDIATE AND DEFERRED RECALL SEPARATELY; (B) MEAN TOTAL NUMBER OF ENCODED RECALLED ADJECTIVES (ONLY WORDS FROM THE ENCODING LIST TAKEN INTO ACCOUNT) FOR IMMEDIATE AND DEFERRED RECALL SEPARATELY. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS.	- 147 -
FIGURE 26. (A) d' INDICATOR REFLECTING THE ABILITY TO DISTINGUISH PREVIOUSLY SEEN FROM NEW ITEMS FOR EACH GROUP AND EACH RECOGNITION TIME SEPARATELY; (B) C INDICATOR REFLECTING THE DECISIONAL STRATEGY FOR EACH GROUP AND EACH RECOGNITION TIME SEPARATELY. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS.	- 147 -
FIGURE 27. (A) NUMBER OF HITS FOR EACH GROUP AND EACH RECOGNITION TIME SEPARATELY; (B) NUMBER OF HITS FOR EACH GROUP AND EACH RECOGNITION TIME SEPARATELY. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS.	- 148 -

FIGURE 28. IN EACH BLOCK AND FOR THE TWO GROUPS INDEPENDENTLY: (A) IGT NET SCORE, CORRESPONDING TO (C+D)-(A+B) DECK SELECTIONS; (B) MEAN FREQUENCY OF SHIFTS BETWEEN ADVANTAGEOUS AND DISADVANTAGEOUS DECKS. BARS REPRESENT STANDARD ERRORS..... - 150 -

FIGURE 29. (A) MEAN SELECTIONS OF LESS ADVANTAGEOUS CHOICES: AMBIGUOUS IN UNDER AMBIGUITY SCENARIOS AND RISKY IN UNDER RISK SCENARIOS; (B) MEAN SELECTIONS OF RISKY OPTIONS IN UNDER RISK SCENARIO DEPENDING ON THE CONTEXT OF GAIN OR LOSS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS..... - 151 -

FIGURE 30. (A) MEAN NUMBER OF RISKY OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE RISKY OPTIONS IN THE GAIN CONTEXT; (B) MEAN NUMBER OF RISKY OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE RISKY OPTIONS IN THE LOSS CONTEXT. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS PER PERCENTAGE = 2..... - 151 -

FIGURE 31. (A) MEAN SELECTIONS OF RISKY OPTIONS DEPENDING ON THE NUMERICAL PRESENTATION IN THE UNDER-RISK CONDITION ; (B). MEAN SELECTIONS OF AMBIGUOUS OPTIONS DEPENDING ON THE NUMERICAL PRESENTATION IN THE UNDER-AMBIGUITY CONDITION. IN BOTH FIGURES, BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICES OF RISKY AND AMBIGUOUS OPTIONS = 18..... - 152 -

FIGURE 32. MEAN NUMBER OF AMBIGUOUS OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE UNAMBIGUOUS OPTIONS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS PER PERCENTAGE = 4. - 153 -

FIGURE 33. SCHEMA DES VOIES AMYLOÏDES ET NON-AMYLOÏDES, TIRE DE QUERFURTH ET LAFERLA, (2010)..... - 197 -

FIGURE 34. SCHEMA DE LA FORMATION DES ENCHEVETREMENTS NEUROFIBRILLAIRES, TIRE DE QUERFURTH ET LAFERLA, (2010)- 199 -

FIGURE 35. DEVELOPPEMENT DES PLAQUES AMYLOÏDES AU COURS DE LA MA SELON BRAAK ET BRAAK (1991). STADE A DEPOTS INITIAUX SE TROUVANT DANS LES PORTIONS BASALES DU NEOCORTEX. STADE B DEPOT AMYLOÏDE DANS TOUTES LES AIRES ASSOCIATIVES DU NEOCORTEX, LA FORMATION HIPPOCAMPIQUE EST SEULEMENT MODEREMENT ATTEINTE. STADE C TOUTES LES AIRES DU NEOCORTEX SONT TOUCHEES, Y COMPRIS LES AIRES MOTRICES ET SENSORIELLES. L'INTENSIFICATION DE LA DENSITE DES OMBRES INDIQUE UNE AUGMENTATION DE LA SEVERITE DU DEPLOIEMENT DES DEPOTS AMYLOÏDES. - 202 -

FIGURE 36. DEVELOPPEMENT DES ENCHEVETREMENTS NEUROFIBRILLAIRES AU COURS DE LA MA SELON BRAAK ET BRAAK (1991). SIX STADES (I-VI) PEUVENT ETRE DISTINGUES. LES STADES I-II MONTRENT UNE ALTERATION DE LA COUCHE SUPERFICIELLE DES REGIONS TRANSANTORHINALES. LES CARACTERISTIQUES CLES DES STADES III-IV SONT LE DEVELOPPEMENT SEVERE DANS LA COUCHE PRE- A DES REGIONS ENTORHINALES ET TRANSETHORINALES. LES STADES V-VI SONT MARQUES PAR UNE

DESTRUCTION ISOCORTICALE. L'INTENSIFICATION DE LA DENSITE DES OMBRES INDIQUE UNE AUGMENTATION DE LA SEVERITE DU
DEPLOIEMENT DES ENCHEVETREMENTS NEUROFIBRILLAIRES - 203 -

FIGURE 37. FLOW CHART - 227 -

FIGURE 38. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF LETTER UPDATING TRIAL - 263 -

FIGURE 39. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF N-BACK TRIAL - 263 -

FIGURE 40. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF NUMBER-LETTER TRIAL - 263 -

FIGURE 41. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF CATEGORY SWITCH TRIAL - 264 -

FIGURE 42. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF TWO STOP SIGNAL TRIALS: EXAMPLE OF THE FIRST PHASE ON THE LEFT (A.) AND EXAMPLE OF
THE SECOND PHASE ON THE RIGHT (B.) - 264 -

FIGURE 43. EXPERIMENTAL DIAGRAM OF A) BABA SPAN, B) READING OPERATIONS SPAN AND C) CONTINUOUS OPERATION SPAN. - 265 -

FIGURE 44. EXAMPLE OF SCENARIO UNDER RISK ON THE LEFT, AND UNDER AMBIGUITY ON THE RIGHT - 266 -

FIGURE 45. IN EACH BLOCK AND FOR THE TWO GROUPS INDEPENDENTLY: (A) IGT NET SCORE, CORRESPONDING TO (C+D)-(A+B) DECK
SELECTIONS; (B) MEAN FREQUENCY OF SHIFTS BETWEEN ADVANTAGEOUS AND DISADVANTAGEOUS DECKS, WITH THE
RECTANGLES REPRESENTING THE DATA OF EACH GROUP. BARS REPRESENT STANDARD ERRORS. - 270 -

FIGURE 46. (A) MEAN SELECTIONS OF LESS ADVANTAGEOUS CHOICES: AMBIGUOUS IN UNDER-AMBIGUITY SCENARIOS AND RISKY
UNDER-RISK SCENARIOS; (B) MEAN SELECTIONS OF RISKY OPTIONS IN UNDER-RISK SCENARIO DEPENDING ON THE CONTEXT:
GAIN OR LOSS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS..... - 271 -

FIGURE 47. (A) MEAN NUMBER OF RISKY OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE RISKY OPTIONS IN
THE GAIN CONTEXT; (B) MEAN NUMBER OF RISKY OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY OF THE
RISKY OPTIONS IN THE LOSS CONTEXT. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS
PER PERCENTAGE = 2 - 271 -

FIGURE 48. (A) MEAN SELECTIONS OF RISKY OPTIONS DEPENDING ON THE NUMERICAL PRESENTATION IN THE UNDER-RISK CONDITION ;
(B). MEAN SELECTIONS OF AMBIGUOUS OPTIONS DEPENDING ON THE NUMERICAL PRESENTATION IN THE UNDER-AMBIGUITY
CONDITION. IN BOTH FIGURES, BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICES OF RISKY AND AMBIGUOUS
OPTIONS = 18 - 272 -

FIGURE 49. MEAN NUMBER OF AMBIGUOUS OPTIONS SELECTED DEPENDING ON THE PERCENTAGE OF CERTAINTY IN THE
UNAMBIGUOUS OPTIONS. BARS CORRESPOND TO STANDARD ERRORS, MAXIMUM CHOICE OF AMBIGUOUS OPTIONS PER
PERCENTAGE = 4. - 272 -

FIGURE 50. CORRELATIONS BETWEEN THE TOTAL NUMBER OF STRATEGY CHANGES IN IGT AND THE STROOP Z-SCORE (A), AND THE WORKING MEMORY COMPOSITE SCORE (B); BETWEEN THE TOTAL NUMBER OF RISKY CHOICES AND THE SWITCHING COST COMPOSITE SCORE (C); BETWEEN THE NUMBER OF RISKY CHOICES IN THE GAIN CONTEXT AND THE UPDATING COMPOSITE SCORE (D), AND THE WORKING MEMORY COMPOSITE SCORE (E); AND BETWEEN THE NUMBER OF RISKY CHOICES IN THE LOSS CONTEXT AND THE SWITCHING COST COMPOSITE SCORE (F); ALL FOR BOTH GROUPS OF PARTICIPANTS TAKEN TOGETHER. 274

FIGURE 51. CORRELATIONS BETWEEN THE NUMBER OF RISKY CHOICES IN THE LOSS CONTEXT AND THE SWITCHING COST COMPOSITE SCORE IN THE ELDERLY CONTROL ADULTS (A) ; CORRELATIONS BETWEEN THE IGT NET SCORE AND THE SSRT IN THE ELDERLY CONTROL ADULTS (B).....- 274 -

FIGURE 52. CORRELATIONS BETWEEN THE IGT TOTAL NET SCORE AND THE STOP SIGNAL REACTION TIME (A), CORRELATIONS BETWEEN THE TOTAL NUMBER OF RISKY CHOICES AND THE SWITCHING COST COMPOSITE SCORE (B), AND CORRELATIONS BETWEEN THE NUMBER OF RISKY CHOICES IN THE GAIN CONTEXT AND THE UPDATING COMPOSITE SCORE (C), AND THE WORKING MEMORY COMPOSITE SCORE (D) ALL FOUR IN THE AD PATIENTS GROUP.....- 275 -

Acronymes et abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

IRM : imagerie par résonance magnétique

HAROLD : hemispheric asymmetry reduction in older adults

PASA : posterior-anterior shift in aging

EEG : électro-encéphalogramme

SSRT : stop signal reaction time

SSD : stop-signal delay

STAC : Scaffolding Theory of Aging and Cognition

CRUNCH : Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis

HIPER : Hippocampal Encoding/Retrieval

SST : Socioemotional Selectivity Theory

CPFvm : cortex préfrontal ventromédian

IGT : Iowa Gambling Task

ATF : Appraisal Tendency Framework

EIC : Emotion-Imbued Choice

DMC : decision-making competence

PTFF : Person-Task-Fit Framework

FE : fonctions exécutives

TBRS : Time Based Resource Sharing

MT : Mémoire de travail

EF : executive functions

MRT : mean response time

IWG : international working group

BST : block suppression test

MCI : Mild Cognitive Impairment

MA : maladie d'Alzheimer

AD : Alzheimer's Disease

WM : working memory

Avant-propos

Chaque jour nous sommes amenés à prendre une multitude de décisions. Certaines sont anodines, « est-ce que je mets le chemisier bleu ou le t-shirt vert ? », d'autres plus impactantes, « dois-je me réorienter professionnellement ? ». Certaines se prennent en une fraction de seconde, quand d'autres demandent du temps pour mûrir. Quelle qu'en soit leur nature, les décisions façonnent notre quotidien et dictent notre avenir. Pendant longtemps, la capacité à prendre des décisions a été réduite à un calcul de probabilités. Au fil des années, et des théories qui se sont succédé, elle a vu ses représentations évoluer, se complexifier, intégrant progressivement les influences émanant du contexte décisionnel ou encore du décideur lui-même. Aujourd'hui, les modèles théoriques en psychologie cognitive donnent une place centrale à la mémoire, aux fonctions exécutives ou encore aux émotions dans la capacité à prendre des décisions. Mais alors, que se passe-t-il si certains de ces processus viennent à s'altérer ? La question prend une ampleur particulièrement notable dans une société vieillissante, telle que la nôtre, comptant plus de personnes âgées que d'enfants en bas âge. En effet, le vieillissement s'accompagne d'un ensemble de modifications physiques et mentales, caractérisées notamment par un système mnésique moins efficace mais généralement plus fourni, un déclin des fonctions exécutives, ou encore, une meilleure régulation émotionnelle. En d'autres termes, le vieillissement affecte de nombreux processus a priori sollicités au moment de prendre une décision. Dans ces conditions, se pose alors la question des répercussions de ces modifications sur la capacité et la manière de prendre des décisions par les personnes âgées. Car en dépit de ces transformations cognitives et émotionnelles, les adultes âgés doivent faire face à des décisions aux conséquences

particulièrement influentes sur leur qualité de vie, notamment dans les domaines des finances, de la santé ou encore de l'hébergement. Par ailleurs, au sein de la population vieillissante, une proportion non négligeable d'individus développent des troubles neurocognitifs dégénératifs. La maladie d'Alzheimer, qui demeure la plus fréquente d'entre eux, entraîne progressivement des déficits cognitifs majeurs. Ces derniers touchent en premier lieu la mémoire épisodique, mais impactent également les systèmes exécutifs et émotionnels, autant de processus qui, d'après les modèles récents en psychologie cognitive, jouent un rôle dans la prise de décision.

Ce travail de thèse s'inscrit alors dans ce contexte, et tentera 1) de décrire les modifications de la prise de décisions dans le vieillissement normal et dans le cadre de la maladie d'Alzheimer, notamment à l'aide de tâches de scénarios inspirés de la vie quotidienne ; et 2) d'interroger les liens que partagent la capacité à prendre des décisions des adultes âgés sans trouble neurocognitif et de ceux avec une maladie d'Alzheimer à un stade léger, et trois fonctions cognitives, que sont les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la mémoire épisodique.

Ce manuscrit suivra un plan en trois parties. La première d'entre elles se focalisera sur les modifications de la prise de décision au cours du vieillissement normal, et se partagera en deux chapitres. Le premier chapitre abordera la thématique mentionnée ci-dessus en établissant un état des connaissances théoriques actuelles, à l'aide de trois sous-chapitres. Dans le premier sous-chapitre, sera définie la notion de « vieillissement », en exposant les modifications induites par ce processus naturel, et en se centrant particulièrement sur les transformations neurologiques, cognitives et émotionnelles. A sa suite, sera présenté un historique des modèles théoriques de la prise de décision, allant des premières conceptions purement mathématiques du 17^e siècle à celles développées en psychologie cognitive au 21^e siècle. Enfin, dans un dernier sous-chapitre, seront abordées les modifications de la prise de décision au cours du vieillissement. Une fois les jalons de notre raisonnement posés, le second

chapitre traitera des apports empiriques de nos études s'étant intéressées à la première grande thématique de ce manuscrit, à savoir les modifications de la prise de décision au cours du vieillissement. Deux articles, soumis à deux journaux scientifiques, seront directement présentés à ce sous-chapitre. Le premier se focalisera sur les fonctions exécutives et la mémoire de travail, tandis que le second ciblera plutôt la mémoire épisodique, dans les deux cas, en questionnant le lien que partagent ces fonctions cognitives avec la capacité à prendre des décisions des adultes âgés. Ce second sous-chapitre se clôturera par une première discussion générale, centrée sur les résultats de ces deux études, et donc, sur la prise de décision dans le vieillissement normal.

La seconde grande partie de ce manuscrit traitera cette fois des modifications de la prise de décision en lien avec le stade léger de la maladie d'Alzheimer. A l'instar de la première partie, elle se composera d'un premier chapitre théorique et d'un second chapitre empirique. Le premier chapitre sera divisé en trois sous-chapitres, le premier décrivant l'étiologie de la maladie d'Alzheimer et le second sa symptomatologie, en se centrant principalement sur la mémoire épisodique, la mémoire de travail et les fonctions exécutives. Le troisième sous-chapitre s'intéressera à la prise de décision dans la maladie d'Alzheimer, et présentera une revue de la littérature sur ce sujet, publiée en 2021 dans *Neuropsychology Review*. Le second chapitre, quant à lui, présentera notre dernier article empirique, actuellement sous presse pour une publication dans *Journal of Alzheimer's Disease*.

Enfin, la troisième grande partie de ce manuscrit se consacrera à la discussion générale des résultats obtenus dans les trois études menées au cours de cette thèse. Seront ainsi abordées les différences comportementales et cognitives relatives aux processus décisionnels dans le vieillissement normal et dans le vieillissement marqué par le développement de la maladie d'Alzheimer à un stade léger. S'en suivront une description des limites de ce travail de thèse, ainsi qu'une conclusion générale.

Partie I

Les modifications de la prise de
décision au cours du vieillissement
normal

Chapitre I.

Vieillesse et prise de décision : ancrage théorique

1. Les effets physiques et mentaux du vieillissement

La question de la vieillesse s'impose depuis plusieurs années comme un sujet de société majeur, animant les débats politiques (e.g., question de l'âge de départ à la retraite), orientant les efforts de recherche (e.g., plan contre les maladies neuro-dégénératives 2014-2019), et même élargissant les objectifs du ministère des sports et des fédérations sportives (i.e., Stratégie Nationale Sport Santé). Pourtant, malgré l'étendue apparente de son onde de choc, ce que recouvre le terme de « vieillesse » ne transparaît pas toujours de façon claire. Correspond-il à une tranche d'âge ? Se limite-t-il à l'apparition de modifications anatomo-physiologiques impactant les sphères physiques et mentales ? Réunit-il tout cela à la fois ?

D'un point de vue institutionnel, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) reconnaît comme personne âgée tout individu ayant atteint 60 ans. En France, jusqu'en 2010, cet âge correspondait à celui du départ à la retraite, et marquait donc un changement majeur de statut social. Cette catégorie d'âge dénombre aujourd'hui plus de représentants que celle des enfants de 0 à 5 ans, et devrait même dépasser celle des 15-24 ans d'ici 2050 (Organisation Mondiale de la Santé, 2022). Ainsi, la nécessité d'anticiper les problèmes sociaux et sociétaux qu'engendrera cette mutation démographique semble aujourd'hui, et plus que jamais, pressante et primordiale.

La question de la vieillesse peut aussi se lire suivant une autre grille de lecture, en particulier celle des études en biologie et neurobiologie. A travers ce prisme, sa définition dévierait quelque peu de trajectoire. Dans ce cadre, tout organisme vivant passerait par trois phases : une de développement, une de maturité, et une de sénescence. Cette dernière correspond au processus naturel de dégradation des cellules, et plus généralement, de dégradation de l'organisme. Elle se manifeste tant dans les domaines moteur que sensoriel, physiologique, émotionnel ou cognitif. Ainsi, une diminution de l'élasticité couplée à une augmentation de la rigidité du système cardiovasculaire, entraînant notamment un accroissement de la pression sanguine, sont observés (Cheitlin, 2003). De même, le vieillissement s'accompagne d'une fonte des muscles et d'une perte de force, regroupés sous le terme de sarcopénie (Volpi et al., 2004), ainsi que d'un abaissement du contrôle postural (Woollacott & Shumway-Cook, 1990). Une augmentation de la masse graisseuse et une diminution de la densité osseuse s'opèrent également (Ponti et al., 2020). Les organes sensoriels ne faisant pas exception, la sénescence engendre une diminution de l'ouïe (i.e., la presbycusie) (Bouccara et al., 2005), de la vision (i.e., la presbytie) (Katz et al., 2021), du toucher et de la proprioception (Landelle et al., 2018), ainsi que de l'olfaction (i.e., la presbyosmie) (Attems et al., 2015). Tous les domaines ne subissent néanmoins pas l'effet du vieillissement avec la même intensité et le même décours temporel. Par exemple, alors que 85 % de la population développerait une presbytie dès 40 ans (Katz et al., 2021), la presbyosmie concernerait entre 50 et 60 % des personnes dans la tranche 65-80 ans (Attems et al., 2015). Sur un plan cognitif, les connaissances verbales s'étoffent au cours de la vie, rendant la mémoire sémantique des adultes âgés plus robuste que celles des adultes jeunes. A l'inverse, la vitesse de traitement, par exemple, subit un ralentissement dès la vingtaine, ce dernier s'intensifiant linéairement au fil des ans (Park et al., 2002). Par ailleurs, le vieillissement ne se ferait pas ressentir de la même façon pour tout individu. Des différences

interindividuelles ayant trait à des facteurs génétiques ou à des styles de vie particuliers pourraient avancer (e.g., diabète, sédentarisme, tabagisme) ou à l'inverse retarder (e.g., activité physique, engagement social, alimentation saine) ses effets (Anstey & Low, 2004).

Dans le cadre de cette thèse bien qu'*a priori* arbitraire, l'âge de 60 ans caractérisera le début de la vieillesse, et les modifications neuroanatomiques, neurophysiologiques, cognitives et émotionnelles des individus appartenant à cette classe d'âge seront décrites dans les chapitres suivants.

1.1 Les modifications neuroanatomiques et neurophysiologiques

A la naissance, le cerveau humain pèserait environ 350 grammes. Au cours du développement de l'individu, sa masse augmenterait progressivement jusqu'à atteindre son état de maturité, aux alentours de 20 ans. A cet âge il pèserait environ 1400 grammes, soit 4 fois son poids initial (Lemaire & Bherer, 2005). Ce point culminant atteint, le cerveau va alors subir l'évolution inverse, et perdre en moyenne 7 % de ce volume total maximum arrivé à l'âge de 60 ans (pour une revue de la littérature voir MacDonald & Pike, 2021) . En fin de vie, le cerveau ne pèserait ainsi plus que 80 à 90 % de son poids maximum, soit environ 1200 grammes.

Cette diminution de poids du cerveau reflèterait le phénomène de perte neuronale, touchant de façon hétérogène les différentes régions cérébrales, avec un gradient antéro-postérieur (pour des revues de la littérature voir MacDonald & Pike, 2021; Oswald et al., 2020). Les lobes frontaux connaîtraient notamment une vulnérabilité particulièrement marquée à l'effet du vieillissement. Gunning-Dixon et al. (2009), qui ont rapporté les résultats issus de protocoles en imagerie par résonance magnétique (IRM) s'intéressant aux

modifications de la matière blanche dans le vieillissement normal, ont mis ainsi en évidence une détérioration plus importante de la matière blanche dans les régions préfrontales comparativement au reste du cerveau. Cette observation corrobore un ensemble d'autres études, affirmant notamment que le volume de matière blanche atteindrait son apogée aux alentours de 35 ans, pour finalement diminuer progressivement. Cette détérioration de la matière blanche commencerait donc plus tardivement que celle affectant la matière grise (i.e., autour de 20 ans), et son évolution se montrerait plus lente (pour une revue de la littérature voir MacDonald & Pike, 2021). Raz et al. (2010), qui ont mené une étude longitudinale auprès d'une trentaine de participants, reconnaissent également certaines zones frontales comme présentant une sensibilité particulière au vieillissement. Sur une période de 30 mois, chacun des participants a été soumis à deux ou trois examens IRM afin de comparer l'évolution du volume cérébrale dans 12 zones d'intérêt. Après chaque intervalle de temps, une atrophie un peu plus importante de l'hippocampe, du cortex entorhinal, du cervelet et du cortex orbitofrontal a été observée. Le volume de ce dernier n'était, par ailleurs, pas influencé par des facteurs interindividuels, contrairement aux régions préfrontales latérales.

Tumeh et al. (2007), quant à eux, se sont notamment intéressés aux modifications neurofonctionnelles liées au vieillissement normal. Ils ont dépeint une baisse générale du métabolisme cérébrale, qui serait encore une fois, plus marquée dans les régions frontales. Certains auteurs ont tenté d'expliquer cette vulnérabilité particulière des régions frontales aux effets de l'âge. Ils ont suggéré que les aires ayant atteint leur maturité le plus tardivement dans le développement phylogénétique comme ontogénétique seraient également celles le plus précocement touchées par la sénescence : « *last in, first out* ». Ce gradient semblerait lié au moment de la myélinisation des régions cérébrales : plus elle se ferait tardivement, plus le volume de la région cérébrale serait impacté par le vieillissement (Raz, 2001).

Le cortex préfrontal serait également le siège de modifications dans les activations cérébrales chez les adultes âgés. Le modèle HAROLD (Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults) décrit en effet une réduction de l'asymétrie hémisphérique lors de la réalisation de tâches reposant sur cette région du cerveau (Cabeza, 2002). Dans une étude de 2000, Reuter-Lorenz et al. ont comparé les performances d'adultes jeunes et d'adultes âgés dans une tâche de mémoire de travail spatiale et une tâche de mémoire de travail verbale. L'activité cérébrale avait été enregistrée à l'aide d'une tomographie par émission de positons (TEP). Chez les adultes jeunes, une asymétrie nette en faveur de l'hémisphère gauche se dégageait pour la tâche en modalité verbale et en faveur de l'hémisphère droit pour la tâche visuelle. En revanche, chez les adultes âgés, une activation bilatérale apparaissait pour les deux tâches. D'un point de vue comportemental, les adultes jeunes avaient réalisé les deux tâches avec plus de rapidité et de précision que les adultes âgés. Cabeza (2002) a suggéré alors deux interprétations possibles. La première explication suppose que la réduction de l'asymétrie hémisphérique serait la cause du déclin des capacités mnésiques. Il a argumenté en disant que si le développement du cerveau est marqué par une spécification des réseaux cérébraux (i.e., des activations de plus en plus précises, spécifiques à une tâche), le vieillissement pourrait à l'inverse être marqué par un phénomène de dédifférenciation. Il s'agirait donc d'une perte de la spécificité des régions cérébrales. Cela rendrait le cerveau moins efficace et la réalisation des tâches plus coûteuse. En conséquence, les adultes âgés atteindraient plus rapidement leurs limites. La deuxième explication suggère au contraire que la réduction de l'asymétrie hémisphérique serait la conséquence du déclin des capacités mnésiques. Cette fois, l'hypothèse défendue est que, dû aux modifications structurelles touchant le cortex préfrontal, les adultes âgés auraient besoin de recruter des aires cérébrales supplémentaires afin d'espérer égaler les performances de leurs cadets. Les activations additionnelles devant rester pertinentes pour la réalisation de la tâche, les aires contralatérales

seraient recrutées. Suivant cette deuxième hypothèse, la bilatéralisation des activations deviendrait donc un moyen de compensation. Ainsi, dans des tâches peu coûteuses cognitivement, les adultes âgés seraient capables d'obtenir les mêmes performances que les adultes jeunes. En revanche, dans des tâches plus complexes, les personnes âgées atteindraient un seuil de compensation, et des différences au niveau comportemental émergeraient alors.

Une autre caractéristique neurofonctionnelle impliquant les régions frontales a été également décrite chez la personne âgée. Le modèle PASA (*posterior-anterior shift in aging*) met effectivement en exergue une réduction de l'activité occipito-temporale couplée à une augmentation de l'activité frontale au cours du vieillissement (Davis et al., 2008; Grady et al., 1994; Privodnova et al., 2020). D'après Grady et al. (1994), l'activation des régions frontales viendraient compenser le déficit de traitements sensoriels sous-tendus par les régions occipitales. Cette hypothèse semble notamment soutenue par les résultats de Davis et al. (2008) qui ont montré, chez des adultes âgés, une corrélation positive entre l'activation des régions préfrontales et leurs performances dans des tâches de mémoire épisodique et de perception visuelle, mais également une corrélation négative entre l'activation de ces mêmes régions préfrontales et celle des régions occipitales.

Ainsi, il semblerait que la présence de modifications neuroanatomiques et neurophysiologiques frontales, en lien avec le vieillissement normal, soit bien établie dans la littérature. Toutefois, ces transformations ne sauraient se limiter exclusivement aux régions frontales. Raz et al. (2010) ont décrit notamment une réduction du volume hippocampique. Cette structure profonde constitutive du système limbique, et incontournable pour le fonctionnement mnésique, se ferait encore terreau de débats, avec certaines études décrivant une atrophie au cours du vieillissement normal, et d'autres ne révélant pas de différence avec les jeunes adultes (Tumeh et al., 2007). Si la variété des techniques permettant l'acquisition de données pourrait fournir une première explication à cette absence de consensus, certains

chercheurs ayant étudié de façon plus détaillée les modifications hippocampiques (i.e., partie caudale vs. rostrale) liées au vieillissement ont formulé des hypothèses particulièrement fines allant au-delà de cette explication méthodologique. En effet, Malykhin et al. (2008) ont montré à l'aide de l'IRM, qu'au cours du vieillissement, le volume hippocampique se réduisait significativement plus dans la partie postérieure qu'antérieure. Les données de Damoiseaux et al. (2016) confirment cette hétérogénéité de l'altération hippocampique, décrivant une baisse de la connectivité entre sa partie postérieure et le cortex préfrontal médian, alors que la connectivité de sa partie antérieure semblerait épargnée par l'effet de l'âge. Dans cette mesure, la région de l'hippocampe prise en compte dans les études pourrait faire varier les résultats obtenus, et expliquer l'absence de consensus. Par ailleurs, cette divergence de résultats pourrait provenir du seuil d'entrée dans l'âge des participant. Dans leur article de synthèse, Desgranges et al. (2008) expliquent non seulement que l'atrophie de l'hippocampe ne suivrait pas une courbe linéaire, mais qu'en plus, elle surviendrait plus tard et de façon plus modérée que celle affectant les régions frontales.

Un modèle récent, appelé FRIENDS (*Free-Radical-Induced Energetic and Neural Decline in Senescence*), suggère que toutes ces modifications seraient en réalité le résultat en cascade de la diminution en ressources énergétiques survenant au cours du vieillissement (Raz & Daugherty, 2018). Cette diminution serait directement liée à une dégradation des mitochondries, elle-même causée par une mauvaise rétention et un mauvais transport du fer. Ainsi, les différents processus coûteux en énergie tels que le maintien de la structure cellulaire, le maintien de la myéline ou encore le processus de neurotransmission seraient affectés par cette dégradation mitochondriale, ce qui se répercuterait à son tour sur la plasticité cérébrale et les capacités de compensation. Les auteurs rappellent toutefois que cette hypothèse n'a pas encore été testée chez l'être humain, car vectrice de nombreux problèmes

d'ordre technologique comme éthique (e.g., vérifier le fonctionnement des mitochondrie in vivo de façon non invasive).

Le vieillissement entraînerait donc à la fois des modifications neuroanatomiques et neurofonctionnelles. Ces transformations seraient avant tout marquées dans les régions préfrontales, ou encore dans l'hippocampe, plus tardivement et plus particulièrement sa partie postérieure. Le chapitre suivant interrogera l'impact des modifications observées dans ces régions cérébrales spécifiques sur les différentes fonctions cognitives qu'elles supportent.

1.2 Les modifications cognitives

Selon certains auteurs, les pertes volumiques concernant la matière grise au cours du vieillissement s'érigerait en principal prédicteur du déclin cognitif (e.g., Fletcher et al., 2018). D'après les études citées dans la section précédente, les régions préfrontales montreraient une vulnérabilité particulière aux effets de l'âge. Situées dans la partie antérieure des lobes frontaux, elles se subdivisent en trois aires fonctionnellement différenciées : orbitofrontale, latérale (dont dorsolatérale) et médiale (dont le cortex cingulaire antérieur) (Cristofori et al., 2019; Fuster, 2002; Miller & Cummings, 2017). A la fois dernière partie du néocortex à atteindre sa maturité, et région connaissant la plus grande expansion au cours du développement (phylogénique comme ontogénique), cette aire associative sous-tendrait des fonctions cognitives dites de haut-niveau impliquées dans des comportements complexes (Fuster, 2002; Rieck et al., 2021). Parmi ces fonctions, sont souvent mentionnées les fonctions exécutives, la mémoire de travail ou encore la mémoire épisodique (Cristofori et al., 2019; Isingrini & Tacconnat, 2008; Kalpouzos et al., 2009; Miyake et al., 2000). La mémoire épisodique serait, par ailleurs, très liée à l'intégrité hippocampique, structure subissant également des modifications au cours du vieillissement (Nyberg, 2017).

Compte-tenu de ces observations, les prochaines sections s'appliqueront à décrire les modifications cognitives et cérébrales liées au vieillissement. Seront ainsi décrites en premier lieu les modifications exécutives, puis mnésiques, en commençant par la mémoire de travail et en finissant par la mémoire épisodique.

1.2.1 Les répercussions du vieillissement sur les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives correspondent à un ensemble de compétences permettant à l'individu d'adapter son comportement dans des situations nouvelles, situations pour lesquelles les réponses automatiques habituelles deviennent inadéquates (Cristofori et al., 2019). Chacune d'entre elles bénéficierait d'une relative indépendance vis-à-vis des autres, signifiant que bien que liées, elles contribueraient de façon différente à la réalisation de tâches complexes (Miyake et al., 2000). De nombreuses théories ont tenté de modéliser le fonctionnement exécutif, mais toutes ne s'accordent pas sur l'identité et le nombre de compétences qu'il recouvre. Trois d'entre elles semblent toutefois faire consensus : l'inhibition, la flexibilité mentale et la mise à jour en mémoire de travail (Friedman et al., 2008; Miyake et al., 2000).

Effet du vieillissement sur l'inhibition

La capacité d'inhibition se compose de deux processus distincts : la suppression d'interférence (i.e., contrôle inhibiteur) et l'inhibition motrice (i.e., inhibition de réponse) (Brydges et al., 2012; Vuillier et al., 2016). Alors que la première reflète l'aptitude à faire abstraction d'informations non pertinentes de l'environnement, la seconde fait plutôt référence à la capacité à stopper une réponse motrice dominante (Vuillier et al., 2016). Dans cette mesure, différents types de tâches seraient utilisées pour évaluer chacun des deux

processus, à savoir des tâches de type Stroop pour la suppression d'interférence et d'autres de type Go/No-go ou Stop Signal pour l'inhibition motrice. Cette composante des fonctions exécutives est probablement la plus étudiée dans les recherches s'intéressant au vieillissement normal. Les sous-chapitres qui suivent décrivent tout d'abord l'effet du vieillissement sur la suppression d'interférence, puis sur l'inhibition motrice, et traite enfin de la théorie d'inhibition.

La suppression d'interférence

La suppression d'interférence s'apprécie donc généralement à l'aide de tâches de Stroop, évaluant l'effet éponyme (Bayard et al., 2009; Gajewski et al., 2020; Ramos-Goicoa et al., 2016; Tam et al., 2015; Troyer et al., 2006). En principe, trois types d'items sont proposés aux participants : neutres, congruents et incongruents. En fonction des études, plusieurs couleurs sont sélectionnées (souvent entre 2 et 4) de sorte que chaque item, indépendamment de sa nature, soit présenté avec les mêmes couleurs. Selon les auteurs, les items neutres peuvent correspondre à des croix, des pois ou des mots neutres (e.g., « jour », « doigt », « chaise »). En revanche, les items congruents correspondent toujours à des noms de couleurs écrits avec l'encre de la couleur correspondante (e.g., « vert » écrit en vert), et les items incongruents à des noms de couleurs écrits avec l'encre d'une autre couleur (e.g., « vert » écrit en bleu). L'épreuve de Stroop existe en format papier comme en format numérique, avec un nombre variable d'items par catégorie en fonction des versions de la tâche. Parfois, chaque catégorie est proposée séparément (e.g., avec des planches), et parfois, items congruents et incongruents sont présentés au sein de mêmes blocs. Des auteurs se sont même employés à développer des versions spécifiques à certains types de population. Le Stroop Victoria, par exemple, a été créé pour contrôler certains facteurs auxquels les personnes âgées sont particulièrement sensibles, tel que l'effet de la fatigue (Bayard et al., 2009). Quelles que soient les subtilités de la version proposée, les participants doivent

cependant toujours dénommer la couleur de l'encre de chaque item, le plus rapidement possible et sans erreur. Dans la condition interférente, les processus de lecture et de dénomination vont ainsi entrer en compétition. Le processus de lecture étant plus rapide, les participants devront l'inhiber afin de favoriser la dénomination. L'effet Stroop correspond à la défaillance de cette inhibition, ou du moins, à un ralentissement dans la réalisation de l'exercice (MacLeod, 1991).

Dans la littérature, plusieurs équipes de recherche ayant utilisé cette tâche ont observé des performances abaissées chez les adultes âgés (Bherer et al., 2004; Ramos-Goicoa et al., 2016; Troyer et al., 2006). Ramos-Goicoa et al. (2016), par exemple, ont montré un ralentissement du temps de réponse et une augmentation du nombre d'erreurs par rapport à un groupe d'adultes d'âge intermédiaire. Troyer et al. (2006), quant à eux, avaient constitué 9 groupes d'âge allant de 18 à 94 ans. À l'aide du Stroop Victoria, et par le biais d'analyses corrélationnelles, ils ont montré une augmentation de l'effet d'interférence au cours du vieillissement. Gajewski et al. (2020) ont confirmé ces résultats, montrant même un gradient dans les performances avec trois groupes de sujets d'âge différent : les adultes âgés présentant de moins bonnes performances que les adultes d'âge intermédiaire, eux-mêmes présentant de moins bonnes performances que les adultes jeunes. Par ailleurs, en divisant le groupe d'adultes âgés en trois, en fonction de leur niveau de performances, ils ont montré que les haut-performeurs âgés obtenaient des résultats comparables à ceux des adultes d'âge intermédiaire. À l'aide d'un électro-encéphalogramme (EEG), ils ont analysé la variation négative contingente (VNC) et le complexe P2/N2. Le premier indicateur correspond à une onde lente négative se développant avant l'apparition d'un événement attendu. Généralement plus courte chez les adultes âgés, elle aurait tendance à s'allonger davantage chez eux que chez les adultes jeunes dans des situations complexes, génératrices d'un coût cognitif plus important. D'après le *dual-mechanisms of cognitive control framework* (Braver, 2012), la

VNC donnerait des indications sur le mode proactif du contrôle cognitif. Ce dernier, situé dans le cortex préfrontal latéral, permettrait de maintenir de façon anticipatoire les informations pertinentes pour atteindre l'objectif visé. Le complexe P2/N2, quant à lui, évoquerait le mode réactif du contrôle cognitif. Dépendant d'un réseau d'activations plus vaste (dont le cortex cingulaire antérieur), il serait impliqué dans la détection et la résolution d'interférences après l'apparition de l'événement cible. Gajewski et al. (2020) ont ainsi mis en évidence un allongement de l'amplitude des deux indicateurs (i.e., VNC et complexe P2/N2) chez les haut-performeurs âgés comparativement aux bas-performeurs âgés. Par ailleurs, pour les haut-performeurs âgés, une amplitude similaire à celles des deux groupes plus jeunes a été décrite. En vieillissant, les individus ayant les ressources cognitives nécessaires mettraient donc des moyens de compensation en place. L'hypothèse d'une réserve cérébrale ainsi que d'une réserve cognitive (Stern, 2009), responsables des différences interindividuelles au cours du vieillissement, permettrait d'expliquer ces résultats. Selon cette hypothèse, la capacité à réussir des tâches cognitivement coûteuses reposerait sur des caractéristiques anatomiques (i.e., le volume de la matière grise ou la densité synaptique) et physiologiques (i.e., le métabolisme cérébral) individuelles. Ces caractéristiques seraient à la fois le fruit de particularités génétiques, donc innées, et les conséquences de stimulations environnementales plus ou moins riches (i.e., activité physique, relations sociales, régime alimentaire, niveau d'éducation), donc acquises. Les premières caractéristiques constitueraient la réserve cérébrale, considérée comme passive. Les secondes formeraient la réserve cognitive, qui par opposition, est considérée comme active (Gajewski et al., 2020; Stern, 2009). Ces propositions correspondent également au point de vue défendu par la STAC, suggérant que la capacité à élaborer des « échafaudages » de secours serait amplement dictée par des caractéristiques individuelles innées comme acquises (Park & Reuter-Lorenz, 2009). D'ailleurs, dans l'article de Gajewski et al. (2020), de meilleures performances au Stroop

étaient associées à un plus haut niveau d'étude, la maîtrise de langues étrangères et un plus haut quotient intellectuel.

Toutes les études ayant eu recours à une tâche de Stroop n'ont cependant pas révélé de différence entre adultes jeunes et âgés, du moins sur un plan comportemental (pour une méta-analyse voir Rey-Mermet & Gade, 2018). De façon intéressante, il a été prouvé que même en l'absence de différence dans les temps de réponse ou dans le nombre d'erreurs, adultes jeunes et âgés pouvaient manifester des activations cérébrales dissemblables. Au moyen d'une IRM fonctionnelle, Tam et al. (2015) ont par exemple mis en évidence que les temps de réponse long n'étaient pas associés aux mêmes aires cérébrales en fonction de l'âge. Chez les adultes jeunes, l'allongement du temps de réponse corrélait avec une augmentation des activations dans le réseau de mode par défaut. Chez les adultes âgés, il était plutôt associé à une activation des zones fronto-pariétales. Les auteurs ont supposé que le recrutement de ces dernières serait le résultat d'un phénomène de compensation ou de dédifférenciation.

La tâche de Flanker constitue un autre moyen d'évaluer la suppression d'interférence (Erb et al., 2020; Rey-Mermet & Gade, 2018). Dans cette épreuve, le participant fait face à une série d'items (e.g., des flèches) : la cible au centre, des distracteurs de part et d'autre. Deux types d'essais se succèdent aléatoirement : des essais congruents ainsi que des essais non congruents. Dans le premier type d'essais, la cible et les distracteurs sont identiques (e.g., toutes les flèches pointent vers la même direction). A l'inverse, dans le second cas, les distracteurs diffèrent de la cible (e.g., la flèche cible et les flèches distractrices pointent vers des directions opposées). Généralement, les participants mettent plus de temps à répondre pour les essais incongruents que congruents. Ce phénomène se nomme effet de congruence. Pour les essais incongruents, il y aurait compétition entre une voie directe, prenant en compte les informations présentes dans l'environnement de façon globale, et une voie indirecte demandant un contrôle cognitif. Ce dernier permettrait la focalisation des ressources

cognitives sur un élément précis de l'environnement (e.g., la cible). Utilisant la tâche de Flanker, Erb et al. (2020) ont mis en évidence un effet de congruence plus important chez les adultes âgés que les adultes jeunes. L'incongruence se répercuterait chez les adultes âgés sur le temps d'initiation, qui subirait un ralentissement plus conséquent que chez les adultes jeunes.

L'inhibition de réponse motrice

Concernant l'inhibition de réponse motrice, un déclin des compétences est également décrit dans la littérature scientifique. Les tâches de Go/No-go forment une première famille d'exercices permettant l'évaluation de cette compétence. Dans ces tâches, les participants sont confrontés à deux types de stimuli : ceux pour lesquels il faut donner une réponse (i.e., stimuli go) et ceux pour lesquels il ne faut pas fournir de réponse (i.e., stimuli no-go). D'après la méta-analyse de Rey-Mermet & Gade (2018), le vieillissement exercerait un effet péjoratif sur la réussite aux tâches de Go/No-go, les adultes âgés effectuant plus d'erreurs.

Le Stop Signal constitue une autre famille d'exercices permettant l'évaluation de l'inhibition de réponse motrice. A notre connaissance, peu d'études ont questionné cette compétence à l'aide de l'épreuve de Stop Signal dans le vieillissement. Les tâches de Stop Signal sont généralement organisées suivant deux phases. La première, dite phase d'apprentissage, entraîne les participants à automatiser une réponse à l'apparition d'un stimulus cible. Lors de la seconde, dite phase test, une consigne supplémentaire est énoncée : à l'apparition d'un deuxième stimulus particulier, aucune réponse ne doit être donnée. Ce stimulus, apparaissant de façon aléatoire et juste après la cible, constitue le signal Stop. En d'autres termes, lors de cette phase test, les participants doivent répondre le plus rapidement et sans erreur à la cible entraînée. Cependant, ils doivent retenir leur réponse (i.e., inhiber leur réponse motrice) lorsque la cible est suivie du signal stop. Ce signal stop peut être donné en

modalité visuelle (e.g., une croix rouge) ou auditive (e.g., un bip sonore). Certaines tâches de Stop Signal suivent le *horse-race model*, leur permettant de calculer un indice de performance particulier : le *stop signal reaction time* (SSRT) (Verbruggen et al., 2008). Selon ce modèle, le processus *go* déclenché par l'apparition de la cible entre en compétition avec le processus *stop* déclenché par le signal stop. Si le processus *go* est plus rapide, le participant ne réussira pas à inhiber sa réponse. En revanche, si le processus *stop* est plus rapide, le participant réussira son inhibition motrice. Pour pouvoir calculer un SSRT fiable, la tâche doit utiliser une procédure de *staircase tracking*. Cette procédure implique que le délai entre la cible et le signal stop (i.e., *stop-signal delay*, *SSD*) s'adapte aux performances du participant. Après une inhibition réussie, le SSD suivant est rallongé, augmentant ainsi la difficulté. À l'inverse, le SSD est diminué après une inhibition manquée. Le SSRT se calcule à partir du SSD, et correspond au délai charnière au-dessus duquel 50 % des tentatives d'inhibition sont manquées et en dessous duquel 50 % des tentatives d'inhibition sont réussies. Plus le SSRT d'une personne est élevé, plus elle fait preuve d'impulsivité. Utilisant un tel paradigme, Hu et al. (2018) ont décrit une augmentation de l'impulsivité au cours du vieillissement. Les auteurs ont également mis en évidence des corrélations entre l'allongement du SSRT et la réduction du volume de matière grise dans certaines régions cérébrales, à savoir : le cortex préfrontal dorsolatéral, la tête du noyau caudé et l'insula. Ces altérations neuroanatomiques pourraient ainsi être à l'origine du déclin des performances en inhibition motrice.

La théorie de l'inhibition

Le déficit inhibiteur semble tellement établi dans le vieillissement que certains auteurs ont émis l'hypothèse qu'il serait à l'origine de l'abaissement de la plupart des performances cognitives chez la personne âgée (Hasher et al., 1999). Cette hypothèse ne fait toutefois pas loi, une méta-analyse récente la remettant notamment en question (Rey-Mermet & Gade, 2018). L'*inhibitory theory* suggère alors que les éléments connus de l'environnement

activeraient automatiquement leurs représentations stockées en mémoire à long terme. Toutefois, un processus de contrôle cognitif interviendrait afin de limiter cette activation, dans le cas où la pertinence de ces éléments n'entrerait pas en écho avec l'objectif à atteindre (Campbell et al., 2020). Ce contrôle inhibiteur perdrait en efficacité au cours du vieillissement, perturbant les performances cognitives dans des tâches précises, mais les améliorant dans des tâches plus globales du quotidien (Amer et al., 2016). Toujours d'après cette théorie, l'inhibition jouerait un rôle majeur dans trois processus distincts : 1) la fonction d'accès, assistant le focus attentionnel pour repérer les éléments pertinents de l'environnement ; 2) la fonction de déléation, supprimant mentalement les distracteurs et notamment impliquée dans le processus de mise à jour ; et 3) la fonction de restriction, permettant la suppression de réponse prépotente et notamment impliquée dans la récupération d'informations en mémoire. Malgré l'influence non négligeable de facteurs modérateurs (e.g., le niveau de motivation), ces trois processus rendent compte de la multiplicité des situations dans lesquelles l'inhibition interviendrait, et donc, de la multitude des situations pouvant être impactées par le vieillissement.

Pour conclure cette section, les études tendent à montrer que les capacités d'inhibition (i.e., suppression d'interférence et inhibition motrice) déclineraient au cours du vieillissement. La suppression d'interférence serait ainsi sujette à un allongement du temps de réponse tout comme à une augmentation du nombre d'erreurs. Même lorsque aucune modification ne s'observe sur un plan comportemental, les études en neuro-imagerie décrivent un engagement plus important des régions fronto-pariétales, qui sont probablement le reflet d'un phénomène de compensation. Concernant l'inhibition de réponse motrice, une augmentation de l'impulsivité est décrite au cours du vieillissement. De plus, les modifications des capacités

inhibitrices avec l'âge pourraient être, selon certains auteurs, à l'origine du déclin d'autres fonctions cognitives.

A présent que les caractéristiques de l'inhibition chez l'adulte âgé ont été décrites, la seconde section décrira des modifications ayant trait à la deuxième fonction exécutive mentionnée par Miyake et al. (2000) : la flexibilité mentale.

Effet du vieillissement sur la flexibilité mentale

La flexibilité mentale fait référence à la capacité d'alterner plusieurs activités. Elle implique le désengagement attentionnel d'une activité devenue non pertinente afin d'engager activement son attention vers une activité devenue pertinente (Miyake et al., 2000). Les tâches évaluant cette compétence jouent ainsi sur l'alternance, aléatoire ou séquentielle, de plusieurs activités. Généralement, les performances sont matérialisées par le calcul d'un coût de flexibilité. Il correspond à la soustraction du nombre d'erreurs (ou du temps de réaction) dans les essais *non switch* (i.e., dont l'activité est identique à celle de l'essai précédent) par le nombre d'erreurs (ou le temps de réaction) dans les essais *switch* (i.e., dont l'activité est différente de l'essai précédent).

Tout comme l'inhibition, la flexibilité mentale subirait des modifications au cours du vieillissement normal (Bherer et al., 2004; Salthouse & Fristoe, 1995). Utilisant le test clinique du Trail Making Test (TMT), Perry et al. (2009) ont par exemple montré une baisse de performances associée à des modifications neurofonctionnelles. Ce test se divise en deux phases, avec une partie A proposant une activité simple (i.e., relier dans l'ordre croissant des chiffres), et une partie B proposant l'alternance de deux activités (i.e., relier alternativement un chiffre et une lettre en respectant l'ordre croissant et alphabétique). Un coût de flexibilité est généralement calculé en soustrayant le temps nécessaire pour effectuer la planche B par le

temps nécessaire pour effectuer la planche A. Perry et al. (2009), ont notamment montré un coût de flexibilité mentale plus important chez les adultes âgés que chez les adultes jeunes. A l'aide d'une IRM de diffusion, utilisée pour observer la connectivité cérébrale (i.e., la substance blanche), ils ont également mesuré le degré et l'orientation de la diffusion des molécules d'eau dans le cerveau (i.e., mesure appelée anisotropie fonctionnelle). Leurs résultats suggèrent que la baisse des performances au TMT serait liée à une baisse de l'anisotropie fonctionnelle dans le cortex cingulaire ainsi qu'entre le cortex frontal et les régions postérieures. Ce ralentissement observé dans la réalisation de tâches faisant appel à la flexibilité mentale, ajouté à la baisse également observée dans l'anisotropie fonctionnelle, évoque la *Processing-Speed Theory* de Salthouse (1996). D'après cette théorie, la plupart des déficits cognitifs apparaissant au cours du vieillissement pourraient s'expliquer, au moins partiellement, par une vitesse de traitement réduite. Cette réduction serait due à des modifications neuroanatomiques et neurophysiologiques, tels que le phénomène de démyélinisation par exemple, rejoignant ainsi les résultats de Perry et al. (2009) décrivant une dégradation de la connectivité cérébrale. Dans cette perspective, les difficultés en flexibilité mentale seraient avant tout le résultat d'une vitesse de traitement ralentie. Kramer et al. (1999), qui avaient également trouvé un coût de flexibilité plus important chez les adultes âgés que chez les adultes jeunes, avaient montré que cette différence de coût disparaissait après entraînement et que les bénéfices de cet entraînement se faisait encore ressentir deux mois plus tard. Toutefois, lorsque la tâche évaluant la flexibilité mentale impliquait d'importantes ressources en mémoire de travail, les adultes âgés ne parvenaient plus à réduire le coût de flexibilité mentale. Selon les auteurs, l'élément le plus déterminant dans les différences de performances en flexibilité mentale liées à l'âge, serait l'implication de la mémoire de travail. Ainsi, selon ces deux études, la capacité à alterner deux activités serait finalement soumise au bon fonctionnement d'autres aptitudes cognitives : en premier lieu à la

vitesse de traitement, puis pour les tâches plus complexes, à la mémoire de travail. Les résultats de Peng et al. (2012) viennent appuyer ces hypothèses. En effet, après un entraînement de 5 semaines ciblant la vitesse de traitement, ces auteurs ont montré chez des adultes âgés une augmentation de cette dernière, mais aucun impact sur les performances en mémoire de travail, démontrant ainsi une indépendance entre ces deux processus, et corroborant l'idée qu'ils pourraient influencer les performances en flexibilité mentale à des niveaux différents. D'après Heckner et al. (2021), la jonction frontale inférieure gauche ainsi que le *precuneus* antérieur gauche seraient particulièrement impliqués dans les différences de performances exécutives en fonction de l'âge. Les activations du *precuneus* antérieur gauche reflèteraient chez les adultes âgés des difficultés à déplacer leur focus attentionnel, notamment dans des tâches évaluant la flexibilité mentale.

La capacité de flexibilité mentale se réduirait ainsi au cours du vieillissement. Le coût de flexibilité, différence de temps ou de score entre les essais *switch* et *non switch*, se verrait effectivement augmenté chez les adultes âgés. Toutefois, plusieurs études suggèrent que cette dégradation serait secondaire à celle d'autres fonctions cognitives, telles que la vitesse de traitement et la mémoire de travail. Cette conclusion nous amène donc naturellement à la troisième fonction exécutive citée par Miyake et al. (2000) : la mise à jour en mémoire de travail. Puisque après avoir exposé les données de la littérature portant sur les fonctions exécutives au cours du vieillissement, la mémoire de travail devait être abordée, nous proposons de rassembler dans une seule section toutes les informations la concernant, englobant ainsi la mise à jour.

1.2.2 Les répercussions du vieillissement sur la mémoire de travail

La mémoire de travail correspond à un système mnésique à court terme impliqué à la fois dans le maintien et la manipulation d'informations (Barrouillet et al., 2004; Belleville et al., 2003; Chai et al., 2018). De nombreuses études s'intéressant à l'évolution de cette dernière au cours du vieillissement ont utilisé des tâches ciblant spécifiquement le processus de mise à jour. Pour cette raison, nous avons pris la décision de réunir dans une même section les recherches ayant considéré la mémoire de travail à travers cette fonction exécutive, ainsi que celles l'ayant étudiée de façon plus globale.

Effet du vieillissement sur la mise à jour en mémoire de travail

La mise à jour en mémoire de travail correspond au processus cognitif permettant de maintenir durant un temps très court des informations provisoirement pertinentes, tout en traitant de nouvelles informations entrantes, pour *in fine* remplacer les informations désuètes par des informations plus récentes et plus appropriées à la réalisation d'un objectif donné. Elle requiert la manipulation active du contenu de la mémoire de travail (Miyake et al., 2000).

Une tâche fréquemment utilisée pour évaluer la mise à jour en mémoire de travail est celle du *N-back*. Une suite d'items est séquentiellement dévoilée aux participants. Ces derniers doivent comparer l'item présent à l'écran (i.e., l'item cible) à celui apparu N coups plus tôt. La difficulté de la tâche augmente alors avec N (i.e., quand N = 1, il faut comparer l'item cible au précédent, quand N = 2, il faut comparer l'item cible à l'antépénultième etc). La tâche demande ainsi d'effectuer une mise à jour continue (Gajewski et al., 2018).

A l'aide de cette tâche, de nombreuses études ont montré un déficit dans les capacités de mise à jour au cours du vieillissement (Bherer et al., 2004 pour une synthèse; Bopp &

Verhaeghen, 2005; Najberg et al., 2021). Par exemple, Gajewski et al. (2018) qui avaient comparé les performances d'adultes jeunes, d'âge intermédiaire et âgés ont reporté une augmentation du temps de réponse et une diminution du nombre de hits (i.e., cibles perçues correctement) avec l'âge. D'après ces auteurs, adultes jeunes et âgés ne s'appuieraient pas sur les mêmes processus pour réaliser la tâche. Alors que les plus jeunes mobiliseraient le fonctionnement exécutif de façon générale, les plus âgés se reposeraient davantage sur les processus attentionnels ainsi que sur la mémoire verbale. Autrement dit, les stratégies auxquelles les sujets ont recours pour optimiser leurs performances évoluent au cours de la vie. Cette réorganisation stratégique, visible d'un point de vue comportemental, s'accompagnerait également d'une réorganisation neuro-fonctionnelle. D'après la *Scaffolding Theory of Aging and Cognition* (STAC) (Park & Reuter-Lorenz, 2009), il y aurait une tendance naturelle à maintenir l'organisme à un niveau d'homéostasie et les fonctions cognitives à un niveau optimal. Puisque le vieillissement entraîne des modifications structurelles, des adaptations fonctionnelles vont devoir intervenir afin de contrecarrer les répercussions qui devraient s'en suivre sur un plan cognitif. Une méta-analyse a, par exemple, reporté que l'engagement du cortex préfrontal dans la tâche de N-back diminue linéairement avec l'âge, jusqu'à disparaître complètement (Yaple et al., 2019). Pour réaliser des tâches complexes ou inhabituelles, les personnes âgées compenseraient donc la perte neuronale en recrutant des aires supplémentaires, généralement dans les régions contralatérales (Park & Reuter-Lorenz, 2009).

Si le vieillissement en soi impacte péjorativement le processus de mise à jour, certains facteurs individuels entreraient également en compte. Par exemple, dans l'étude de Matysiak et al. (2019) un entraînement basé sur une tâche de N-back a été proposé à des adultes âgés. Les auteurs ont montré que l'effet de l'âge sur les performances à la tâche entraînée était modulé par leur niveau de départ. En d'autres termes, meilleur était le niveau des individus au

début de la phase d'entraînement, plus cet entraînement possédait un effet bénéfique sur les performances, et donc, plus les individus s'amélioreraient à la tâche entraînée (i.e., au N-back). Ces résultats, tout comme ceux de Gajewski et al. (2020) en suppression d'interférence, corroborent l'idée selon laquelle chaque individu posséderait une réserve (i.e., cérébrale et cognitive) lui permettant de lutter, plus ou moins bien, contre l'effet du vieillissement (Stern, 2009). Appliquée aux résultats de Matysiak et al. (2019), cette hypothèse de réserves cérébrale et cognitive suggérerait que les hauts performeurs obtenaient de meilleures performances avant l'entraînement grâce à des ressources cérébrales et cognitives plus importantes que celles des bas performeurs. Ce serait également grâce à ces plus grandes ressources qu'ils réussiraient également à davantage améliorer leurs performances comparativement aux bas performeurs.

Effet du vieillissement sur la mémoire de travail en général

La mémoire de travail s'évalue généralement à l'aide de tâches d'empans. Elles supposent de maintenir une suite d'items qu'il est nécessaire de manipuler avant leur restitution (e.g., en ordre inverse, en ordre alphabétique). Les études ayant recours à de telles épreuves montrent des résultats contradictoires, certaines signalant un déclin des performances avec l'âge et d'autres une préservation (Reuter-Lorenz & Sylvester, 2005).

Belleville et al. (2003) ont notamment montré qu'adultes jeunes et âgés obtenaient des scores comparables à la fois pour des tâches d'empans endroit (i.e., restituer une liste d'items dans l'ordre de présentation) et d'empans alphabétiques (i.e., restituer une liste d'items dans l'ordre alphabétique). Autrement dit, leurs résultats indiquent une préservation de la mémoire à court terme (i.e., passive) tout comme de la mémoire de travail (i.e., active) avec l'âge. D'autres travaux témoignent pourtant du phénomène inverse. Avec une tâche d'empans de lecture (i.e., lecture de phrases, mais maintien du dernier mot de chaque phrase uniquement),

Meguro et al. (2000) ont montré un effet du vieillissement sur les performances : les adultes jeunes restituant plus de mots que les adultes d'âge intermédiaire, eux-mêmes restituant plus de mots que les adultes âgés. Fournet et al. (2012), quant à eux, ont proposé deux tâches d'empans simples, une en modalité verbale (i.e., liste de 20 mots à restituer dans l'ordre) et une en modalité spatiale (i.e., restituer les positions consécutives de carrés sur une grille), ainsi que deux tâches d'empans complexes. Ces dernières reprenaient les deux tâches d'empans simples, mais entre chaque item, une tâche interférente de calcul mental simple était proposée. Les auteurs n'ont pas comparé les performances des deux groupes d'âge, mais ont conduit des analyses de régressions. Ces dernières ont mis en évidence que l'âge prédisait les performances à toutes les tâches.

Les divergences de résultats observées dans la littérature pourraient en réalité s'expliquer par les différences dans le niveau de complexité des tâches évaluant la mémoire de travail. Dobbs et Rule (1989) comme Wingfield et al. (1988) ont eu recours à la fois à des empans simples et des empans complexes (e.g., empans de lecture dont les phrases appelaient en plus à répondre par vrai ou faux), et ont montré un effet du vieillissement supérieur pour les seconds. La méta-analyse de Bopp et Verhaeghen (2005) confirme d'ailleurs ces données, rapportant que l'effet du vieillissement serait proportionnel au coût cognitif. Salthouse (1994) suggère que cet effet serait plus précisément médié par la vitesse de traitement, décroissante avec l'âge. Sur un plan neurofonctionnel, le modèle CRUNCH (*Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis*) affirme que l'accroissement de la difficulté d'une tâche s'accompagnerait d'une augmentation du nombre d'aires cérébrales activées. Or, à cause de modifications structurelles, les adultes âgés manifesteraient le besoin de recruter des aires cérébrales dès un niveau relativement faible de complexité afin d'obtenir des performances similaires aux adultes jeunes. Mais puisque plus la complexité de la tâche augmente, plus le recrutement s'intensifie, ce dernier atteindrait un seuil maximum plus

rapidement chez les adultes âgés, signant le début des chutes de performances (Schneider-Garces et al., 2010).

Ainsi, le vieillissement exercerait un effet péjoratif sur les performances en mémoire de travail, mais cet effet ne serait visible -qu'à partir d'un coût cognitif élevé. Les adultes âgés obtiendraient des performances, sinon similaires, peu différentes de celles des adultes jeunes pour les tâches d'empans simples. En revanche, leurs performances subiraient un abaissement dans les tâches d'empans complexes ou de N-back.

A la suite de la présentation des modifications cognitives ciblant les fonctions exécutives et la mémoire de travail, la section suivante traitera des transformations neuroanatomiques et neuro-fonctionnelles, tout comme des changements comportementaux concernant la mémoire épisodique.

1.2.3 Les répercussions du vieillissement sur la mémoire épisodique

A mesure que le processus de vieillissement progresse, le nombre de personnes exprimant une plainte mnésique augmente, avec une accélération particulière de cette augmentation à partir de 65 ans (Bassett & Folstein, 1993). Cette plainte mnésique, certes subjective, ne peut être considérée à la légère, sachant que les adultes âgés l'exprimant auraient deux fois plus de chance de développer une maladie neurodégénérative (Mitchell et al., 2014).

Tulving (1984) définit la mémoire épisodique comme un système permettant l'encodage, le stockage et la récupération de souvenirs personnels temporellement et spatialement situés. Le bon fonctionnement de cette mémoire serait intimement lié à l'intégrité de l'hippocampe, mais également à celle des régions frontales supposément impliquées dans la mise en place de stratégies facilitant l'encodage et la récupération

(Isingrini & Tacconat, 2008). Dans la littérature, deux types de souvenirs sont généralement décrits : ceux faisant appel à la recollection, et ceux faisant appel au sentiment de familiarité. Alors que la recollection évoque un processus lent et contrôlé, correspondant à la capacité à rappeler un souvenir avec des détails permettant de le caractériser (e.g., un lieu, une date, des pensées ou sentiments associés), le sentiment de familiarité fait plutôt référence à un processus rapide et automatique, permettant à l'individu de reconnaître un item (e.g., objet, mot, individu) sans pour autant être en mesure de caractériser la situation d'encodage de cet item (Prull et al., 2006). La mémoire épisodique peut s'évaluer à l'aide de plusieurs types de tâches : rappel libre, rappel indicé, ou encore reconnaissance. En rappel libre, les sujets doivent restituer sans aide externe un maximum d'items encodés, contrairement au rappel indicé qui apporte un étayage au processus de récupération (e.g., donner un indice sur la catégorie sémantique d'un mot encodé) (Isingrini & Tacconat, 2008). Pour la tâche de reconnaissance, les sujets font face à des items anciens (i.e., encodés précédemment) et nouveaux (i.e., distracteurs), et doivent déterminer à laquelle de ces deux catégories ils appartiennent (i.e., ancien ou nouveau). Certaines tâches de reconnaissance permettent de déterminer la nature du souvenir, à savoir recollection ou familiarité.

Les modifications neuroanatomiques et neurofonctionnelles sous-tendant la mémoire épisodique

Plusieurs travaux ont étudié les altérations neurologiques liées au vieillissement et leurs répercussions sur les phases d'encodage et de récupération en mémoire épisodique. Une diminution des activations cérébrales dans les lobes frontaux et temporaux, ainsi qu'une réduction de la connectivité cortico-hippocampique ont notamment été décrites durant l'encodage (Bouazzaoui et al., 2022; Nyberg, 2017; Sandrini et al., 2020). Ces modifications entraveraient la capacité à établir spontanément des stratégies efficaces, et en conséquence, à

encoder profondément de nouvelles informations. Bouazzaoui et al. (2022) ont notamment comparé les activations cérébrales durant l'encodage d'items rappelés ultérieurement par les sujets, à celles d'items non rappelés. D'après les auteurs, les adultes âgés présentaient plus de difficultés que les adultes jeunes à générer des stratégies élaborées. Ces difficultés se répercutaient ensuite sur la profondeur de l'encodage, puis sur la récupération des items. Les résultats de Nyberg (2017), décrivant une perturbation de la connectivité cortico-hippocampique chez les adultes âgés lors de l'encodage, ou ceux de Sandrini et al. (2020), rapportant une amélioration de la mémoire épisodique après une stimulation électrique transcrânienne ciblant les régions préfrontales et temporo-pariétales, semblent conforter cette hypothèse. Les régions frontales seraient en effet particulièrement impliquées dans les fonctions de contrôle et dans la mise en place de stratégies, participant ainsi activement à l'efficacité des techniques d'encodage et de récupération.

François et al. (2018) ont tenté de spécifier encore davantage les modifications d'activations cérébrales liées au vieillissement lors de la phase d'encodage, en distinguant les processus de recollection et de familiarité. De manière intéressante, les adultes âgés activaient plus faiblement les régions impliquées dans le traitement sémantique que les adultes jeunes pour les items ultérieurement récupérés grâce au processus de recollection. En revanche, ils activaient les aires controlatérales (i.e., gyri frontaux médian et supérieur droits) et le réseau cérébral du mode par défaut, qui n'étaient pas requis par les jeunes. En ce qui concerne le sentiment de familiarité, les auteurs ont observé lors de l'encodage une diminution avec l'âge des activations du système attentionnel frontopariétal dorsal et de l'hippocampe. En conséquence, François et al. (2018) ont suggéré que les stratégies d'encodage différeraient en fonction de l'âge. Celles utilisées par les jeunes, plus efficaces, se baseraient principalement sur le système sémantique. En revanche, les adultes âgés s'appuieraient plutôt sur le système émotionnel.

De nombreuses études semblent ainsi démontrer qu'un changement d'activations à l'encodage s'opère avec l'âge. Toutefois, la phase de récupération ne serait pas non plus épargnée par les effets du vieillissement. Pour rappel, la mémoire épisodique serait particulièrement dépendante de l'hippocampe, structure profonde subissant une atrophie au cours du vieillissement. Comme précisé ci-avant (i.e., section 1.1), cette atrophie non homogène marquerait davantage sa partie postérieure qu'antérieure (Malykhin et al., 2008). Or, de façon intéressante, ces deux régions hippocampiques ne seraient pas impliquées dans les mêmes processus de la mémoire épisodique. Il s'agit du moins de ce que défend le modèle HIPER (*Hippocampal Encoding/Retrieval*), décrivant un gradient rostrocaudal de l'encodage et de la récupération. Plus précisément, les activations hippocampiques rostrales (i.e., antérieures) seraient particulièrement associées au processus d'encodage, alors que les activations hippocampiques caudales (i.e., postérieures) seraient particulièrement associées au processus de récupération (Lepage et al., 1998). Dans ces conditions, la récupération en mémoire épisodique s'avèrerait plus vulnérable à l'effet du vieillissement que l'encodage. Analysant les processus de recollection et de familiarité, Guillaume et al. (2009) ont effectivement mis en évidence des différences d'activations entre adultes jeunes et âgés lors de la phase de récupération. L'équipe de chercheurs a ainsi étudié les activations cérébrales de trois groupes d'âge (i.e., jeunes adultes entre 21 et 30 ans, adultes d'âge intermédiaire entre 50 et 64 ans, adultes âgés entre 65 et 75 ans) lors d'une tâche de reconnaissance en s'appuyant sur le recueil de potentiels évoqués cognitifs. Des travaux antérieurs avaient montré que les hits (i.e., items correctement reconnus) étaient associés à des ondes plus amples que les items correctement rejetés. Ce phénomène, appelé *old/new effect* (i.e., effet nouveau/ancien), intervient à différents moments et dans des zones distinctes en fonction du type de souvenir. Ainsi, un *old/new effect* précoce s'observe dans les régions fronto-médiales lors de la récupération de souvenirs faisant appel au processus de familiarité, un second dans les régions

pariétales gauches pour les souvenirs de type recollection, et enfin, un troisième tardif dans les régions frontales droites reflétant plutôt un processus de monitoring post-récupération. Guillaume et al. (2009) ont ainsi rapporté une diminution linéaire avec l'âge du *old/new effect* associé à la recollection, commençant déjà chez les adultes d'âge intermédiaire. D'un point de vue comportemental, un déclin des souvenirs de type recollection s'opèrerait également linéairement mais seulement à partir de 65 ans. Si le *old/new effect* associé au sentiment de familiarité semblerait, lui, relativement préservé jusqu'à l'âge de 65 ans, il disparaîtrait totalement chez les sujets issus du groupe le plus âgé. Étonnamment, toujours dans cette même étude, les trois groupes de participants manifestaient des performances similaires. Les auteurs ont alors suggéré une réorganisation fonctionnelle avec l'âge des mécanismes cérébraux, à des fins compensatrices, en expliquant que les différences sur le plan comportemental n'apparaissent que plus tardivement.

Les modifications comportementales affectant la mémoire épisodique

Certaines études n'ayant pas eu recours à des techniques d'imagerie cérébrale se sont plutôt appliquées à décrire les changements comportementaux marquant la mémoire épisodique au cours du vieillissement. S'appuyant sur des recherches ayant démontré une dissociation sur le plan neurologique entre la capacité de récupération (i.e., sous-tendue par l'hippocampe) et le niveau de précision (i.e., sous-tendue par le gyrus angulaire, dans le lobe pariétal) des souvenirs, Korkki et al. (2020) ont interrogé la résistance de ces deux mécanismes à l'effet de l'âge. Ils ont ainsi démontré que si les adultes âgés récupéraient correctement en mémoire autant d'items que les adultes jeunes, le niveau de précision du souvenir de ces items (i.e., contexte, position) était, quant à lui, significativement moins bon. Cet abaissement du niveau de précision était notamment en lien avec la dégradation du niveau de précision en mémoire de travail. Leurs résultats corroborent ceux de Plancher et al. (2008)

qui avaient utilisé une tâche de réalité virtuelle, mimant des sorties en voiture en centre-ville. Sujets âgés et jeunes montraient une capacité similaire à restituer les faits, mais les sujets âgés manifestaient plus de difficultés que les jeunes à rétablir le contexte spatiotemporel et les détails. D'après l'étude de Naveh-Benjamin et al. (2004), les difficultés mnésiques exprimées par les adultes âgés concerneraient en réalité la capacité à associer différents éléments en mémoire, en anglais appelée *binding*. Dans leur expérience, ni la quantité d'informations ni la modalité de présentation des items à mémoriser n'expliquait la différence de performances avec les adultes jeunes, mais uniquement la capacité à lier des éléments en mémoire en un tout cohérent. Les auteurs se sont alors interrogés sur l'implication d'un éventuel déficit attentionnel. Toutefois, en attention divisée, les jeunes adultes ne présentaient pas le déficit associatif retrouvé chez les adultes âgés, laissant suggérer que le facteur causal serait autre pour les personnes âgées. En effet, si les performances des adultes jeunes en attention divisée avaient correspondu à celles des adultes âgés en attention simple, il aurait été possible de conclure qu'un déficit attentionnel affectait les processus mnésiques des personnes âgées, ce qui n'a pas été démontré.

Une autre caractéristique de la mémoire épisodique semblant se modifier avec l'âge est l'impact des informations autocentrées sur l'encodage. Adultes jeunes et âgés tendent à mieux mémoriser les informations autocentrées (i.e., relatives à eux-mêmes) qu'hétérocentrées (i.e., relatives à autrui) (Genon et al., 2014; Gutchess et al., 2007). Toutefois, cet effet d'autoréférence aurait tendance à s'atténuer avec l'âge, d'autant plus chez les adultes âgés avec de plus faibles ressources cognitives (Gutchess et al., 2007).

Enfin, les modifications épisodiques en lien avec le vieillissement ne s'exprimeraient pas de la même façon en fonction des tâches qui évaluent ce système mnésique. En ce qui concerne le rappel libre, les résultats des différentes études font consensus, montrant de moins bonnes performances chez les adultes âgés que jeunes (Bouazzaoui et al., 2022; Danckert &

Craik, 2013). Par ailleurs, les performances en rappel libre seraient aussi plus impactées que celles en reconnaissance. En effet, que l'encodage soit profond ou pas, l'effet du vieillissement serait toujours plus important dans les tâches de rappel libre que de rappel indicé ou de reconnaissance (Danckert & Craik, 2013; Fraundorf et al., 2019). Le rappel libre serait dépendant de processus auto-initiés, que ce soit à l'encodage comme à la récupération. Or, cette capacité à auto-initier des stratégies perdrait en efficacité avec l'âge. Le rappel libre engendrerait ainsi un coût cognitif plus important, et ce coût augmenterait au cours du vieillissement, impactant péjorativement les performances (Craik & McDowd, 1987). La reconnaissance, quant à elle, serait plus modérément atteinte grâce à la relative préservation du processus de familiarité (Bastin & Van der Linden, 2003). Effectivement, le vieillissement toucherait de façon inégale les processus de recollection et de familiarité.

Le déclin des capacités en recollection, qui, par ailleurs, est étroitement impliqué dans la tâche de rappel libre, semble plutôt admis par la communauté scientifique (Anderson et al., 2008; Bastin & Van der Linden, 2003; Guillaume et al., 2009; Prull et al., 2006). La recollection, comme le rappel libre, serait un processus contrôlé, reposant sur l'établissement de stratégies à l'encodage et à la récupération (Anderson et al., 2008). Elle serait donc étroitement liée aux fonctions exécutives (Clarys et al., 2009), fonctions qui, pour rappel, dépendent essentiellement des régions préfrontales et déclinent au cours du vieillissement. De façon intéressante, les corrélations entre recollection et fonctions exécutives seraient plus importantes chez les adultes âgés que jeunes, suggérant que l'effet du vieillissement sur la recollection serait médié par le déficit exécutif. Par ailleurs, parmi les fonctions exécutives, la mise à jour serait particulièrement impliquée. Les auteurs lui supposent un rôle puissant dans l'établissement de stratégies à l'encodage comme à la récupération (Clarys et al., 2009). Concernant le sentiment de familiarité, bien qu'une majorité d'études décrivent une préservation de ce processus (Anderson et al., 2008; Bastin & Van der Linden, 2003;

Guillaume et al., 2009), certains auteurs nuancent cette affirmation (Prull et al., 2006). Parmi les recherches mentionnant un processus de familiarité préservé, certaines le déclarent même amélioré. Bastin & Van der Linden (2003) avaient utilisé deux tâches permettant d'évaluer les processus de recollection et de familiarité : une tâche de reconnaissance oui/non et une de reconnaissance forcée, sachant que la deuxième reposait davantage sur la familiarité que la première. De manière intéressante, les adultes âgés réussissaient mieux la tâche de reconnaissance forcée, basée plus sur la familiarité, que la tâche de reconnaissance oui/non alors que les adultes jeunes obtenaient de meilleures performances à la tâche de reconnaissance oui/non qu'à la tâche de reconnaissance forcée. Par opposition à la recollection, la familiarité est considérée comme un processus automatique ne reposant pas sur le fonctionnement exécutif (Clarys et al., 2009). Pour cette raison, elle serait protégée des effets de l'âge, se manifestant en premier lieu par un déficit exécutif. Prull et al. (2006) apportent toutefois quelques nuances à cette pensée dominante. En effet, selon eux, l'intégrité du processus de familiarité dépendrait avant tout des tâches utilisées pour l'évaluer. Dans leur étude, ils avaient eu recours à trois méthodes évaluatives : l'inclusion/exclusion, le *Remember/Know* et les caractéristiques opérationnelles du receveur (*receiver operating characteristics, ROC*). Chacune de ces méthodes commençait avec la présentation de deux listes de mots que les sujets devaient mémoriser, puis s'achevait avec une tâche de reconnaissance mêlant des mots de la liste 1, de la liste 2, et des distracteurs. Avec la méthode 1 (i.e., inclusion/exclusion), les sujets devaient dire si les mots présentés à l'écran étaient issus de la liste 1 ou non. Avec la méthode 2 (i.e., *Remember/Know*), les sujets devaient déterminer s'ils reconnaissaient les mots, et si leur reconnaissance était associée à un souvenir précis ou à une impression de familiarité. Avec la méthode 3 (i.e., ROC), les sujets devaient évaluer la reconnaissance des mots avec une échelle allant de 1 = absolument sûr d'un mot nouveau à 6 = absolument sûr d'un mot ancien. Les performances à la tâche de reconnaissance basées sur

le processus de familiarité étaient équivalentes entre jeunes et âgés pour la méthode 1, en revanche, elles étaient moins bonnes chez les adultes âgés que jeunes pour les deux autres méthodes. La particularité des deux dernières méthodes, comparativement à la première, est qu'elles s'appuient sur l'expérience subjective, les aspects phénoménologiques de la tâche. Autrement dit, elles requièrent aux participants de réfléchir consciemment à ce que chaque mot présenté évoque, demandant ainsi pour chacun d'entre eux une analyse introspective. Les auteurs ont alors suggéré que ce rapport phénoménologique pourrait être à la l'origine des différences observées en ce qui concerne le sentiment de familiarité en fonction de l'âge.

En résumé, liées à des modifications neurologiques dans les régions préfrontales et hippocampiques, les performances en mémoire épisodique sont impactées par le vieillissement. Cet impact s'expliquerait principalement par une difficulté à mettre en place des stratégies efficaces permettant un encodage profond et une récupération facilitée. Les adultes âgés manifesteraient alors plus de difficultés à mémoriser et associer des détails en un tout cohérent. Ces différences liées à l'âge seraient plus marquées dans les tâches plus coûteuses en ressources cognitives, tels que le rappel libre et impliquant le processus de recollection.

Si nous avons jusqu'ici décrit exclusivement les changements engendrés par le vieillissement sur la cognition (i.e., fonctions exécutives, mémoire de travail, mémoire épisodique), les régions préfrontales seraient également impliquées dans le système émotionnel (Dixon et al., 2017). Ainsi, le chapitre suivant s'intéressera au retentissement que le vieillissement pourrait avoir sur le plan émotionnel et affectif.

1.3 Les répercussions du vieillissement sur le système émotionnel et affectif

Les modifications liées à l'âge affectant les fonctions cognitives ont ainsi été largement documentées. Toutefois, celles touchant le système émotionnel ont également grandement suscité l'intérêt des chercheurs.

Une particularité du vieillissement régulièrement citée dans la littérature concerne l'amélioration de la régulation émotionnelle, compétence supportée chez l'adulte jeune par le cortex préfrontal et ses connexions avec l'amygdale. Gross et collaborateurs la définissent comme :

« un processus grâce auquel les individus ont la possibilité d'influencer la nature de leurs émotions, le moment et la façon dont ils en font l'expérience et l'expriment » (Vieillard & Harm, 2013)

Ce processus permettrait donc d'atténuer ou d'intensifier les émotions agréables ou désagréables en fonction de la situation et de l'individu. Ainsi, il s'agit bien ici de modifications ciblant les émotions elles-mêmes, et non de modifications engendrées par elles, notamment sur les fonctions cognitives. Cette régulation émotionnelle correspondrait à une réponse adaptative sous-tendue par une évaluation cognitive plus ou moins consciente (Vieillard & Harm, 2013). Cette évaluation, ou contrôle, s'exercerait à différents moments du traitement de l'élément émotionnel : avant ou pendant la réponse émotionnelle à cet élément. Quatre stratégies concerneraient la régulation pré-émotionnelle (i.e., avant) et une dernière la régulation per-émotionnelle (i.e., pendant) (Gross, 2014). Dans l'ordre de leur implémentation, la sélection de la situation correspondrait à la première stratégie. Elle aurait une visée préventive d'approche ou d'évitement d'une situation. La seconde, dite de modification de la situation, permettrait de changer certaines caractéristiques de ladite

situation, alors que la troisième, guidant le déploiement attentionnel, permettrait de focaliser l'attention sur certains éléments particuliers. La dernière stratégie pré-émotionnelle correspondrait, quant à elle, au changement cognitif, et notamment à la ré-évaluation cognitive (i.e., *cognitive reappraisal*). Elle concernerait la façon dont l'individu choisit d'interpréter la situation. Cette dernière serait d'ailleurs particulièrement étudiée. Enfin, la stratégie per-émotionnelle concernerait la modification de réponses, dont la suppression expressive fait partie. En d'autres termes, elle correspondrait à l'altération de réponses émotionnelles et de leur expression. Créant un décalage entre le vécu émotionnel interne et ce que le reste du monde perçoit, elle pourrait avoir de fortes conséquences sur les interactions sociales (Gurera & Isaacowitz, 2019; Philippot, 2011). Quoi qu'il en soit, des modifications s'opèreraient au cours du vieillissement impactant certaines de ces stratégies.

Une des stratégies particulièrement sujette aux transformations avec l'âge serait celle du déploiement attentionnel, les adultes âgés tendant à davantage focaliser leur attention sur les informations positives de l'environnement. Cette propension à filtrer les informations positives se nomme biais de positivité. Par exemple, alors que les adultes âgés et jeunes ont tendance à détourner le regard de visages tristes, les adultes âgés portent une attention particulière aux visages heureux quand les adultes jeunes n'y sont pas spécialement sensibles (Isaacowitz et al., 2006). Ce biais de positivité influencerait par ailleurs certains processus cognitifs, tels que la mémoire. Dans une tâche de rappel libre, Charles et al. (2003) ont montré que les adultes âgés rappelaient significativement mieux les items positifs que neutres ou négatifs, alors que les jeunes rappelaient mieux les items émotionnels de façon générale comparativement aux items neutres. De façon intéressante, les biais émotionnels, dont positifs, disparaissaient en tâche de reconnaissance, suggérant que leur effet s'exerçait principalement à l'encodage. Le rappel libre ne fournissant pas d'indice permettant d'aiguiller la récupération, les items les plus profondément encodés ont plus de chance d'être restitués.

Selon l'hypothèse du biais de positivité, comme les processus attentionnels se focalisent davantage sur les items de valence positive, ces derniers devraient être plus profondément encodés, et donc, plus aisément récupérés. En revanche, en tâche de reconnaissance (i.e., présence directe de l'item), la récupération est généralement améliorée grâce au sentiment de familiarité qu'engendrent les items encodés plus superficiellement, par exemple les items à valence neutre ou négative. Ainsi, bien qu'automatique, le biais de positivité semblerait dépendre des ressources attentionnelles. Joubert et al. (2018) ont d'ailleurs montré que son effet sur la mémoire disparaissait en attention divisée. Cartensen et al. (1999) propose à travers la théorie de la Sélectivité Socioémotionnelle (*Socioemotional Selectivity Theory*, SST) une explication concernant l'origine de ce biais de positivité. Selon eux, la perspective de temps (i.e., la perception du temps de vie restant) d'un individu va influencer ses objectifs de vie. Puisque adultes jeunes et âgés n'ont pas la même perspective de temps, leurs comportements seraient orientés vers des objectifs différents. En effet, les individus avec une perspective de temps limitée (i.e., les personnes âgées) chercheraient à optimiser leur bien-être pour le temps restant. A l'inverse, les individus avec une perspective de temps plus longue (i.e., les jeunes adultes) seraient avant tout intéressés par l'acquisition de nouvelles connaissances. Dans ces conditions, en vieillissant, les processus attentionnels se focaliseraient préférentiellement sur les informations positives présentes dans l'environnement. D'après Urry et Gross (2010), cette meilleure régulation émotionnelle se répercuterait positivement sur le bien-être des adultes âgés. Cette observation pourrait en partie s'expliquer par le biais de positivité cité précédemment. Ce dernier influençant l'attention, et ainsi la mémoire, il impacterait de facto l'humeur des adultes âgés.

La stratégie de sélection de la situation semblerait également plus performante chez des adultes âgés, leur permettant alors d'éviter plus souvent des situations jugées comme désagréables. Cet évitement pourrait être lié au fait qu'ils privilégieraient justement les

situations connues, avec des relations de confiance, leur assurant de passer un moment agréable, comme proposé dans la SST.

En conclusion, puisque la perspective de temps limitée des adultes âgés les amène à vouloir optimiser leur bien-être, ils focaliseraient majoritairement et automatiquement leur attention sur les informations positives de l'environnement. Ce biais de positivité participerait à une meilleure régulation émotionnelle, impactant à la fois les performances cognitives et le sentiment de bien-être. Le vieillissement s'accompagnerait ainsi d'une sorte de paradoxe, les caractéristiques physiques et cognitives s'altérant mais la régulation émotionnelle se bonifiant. Quel impact ces différentes modifications auront alors sur la qualité de vie ? L'une prend-elle le pas sur l'autre ? Les fonctions subissant une altération et celles au contraire s'améliorant se compensent-elles plutôt ? La section suivante va tenter de répondre à ces questions.

1.4 Les répercussions du vieillissement sur la qualité de vie

Ce que recouvre le terme de « qualité de vie » ne fait pas unanimité dans la littérature, si bien que le définir semble difficile. Toutefois, l'OMS propose cette signification :

« perception qu'un individu a de sa place dans la vie, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est un concept très large qui peut être influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique et son niveau d'indépendance, ses relations sociales et sa relation aux éléments essentiels de son environnement »

La qualité de vie conjuguerait ainsi des critères objectifs (e.g., capacité de mobilité) et des critères subjectifs (e.g., les attentes de vie) (Vanleerberghe et al., 2017). Influencée par de multiples facteurs, elle pourrait alors s'exprimer de façon antagoniste chez deux individus se trouvant pourtant dans une même situation objective. Les études mentionnées ci-dessous se sont intéressés à la qualité de vie en se focalisant soit sur des critères objectifs, soit sur des critères subjectifs.

Le déclin cognitif, notamment tel qu'observé dans certaines pathologies neurodégénératives ou autres affections neurologiques (e.g., accident vasculaire cérébral, épilepsie, traumatisme crânien), exercerait un effet délétère sur la qualité de vie (Cumming et al., 2014; Mitchell et al., 2010). Parmi les fonctions cognitives incriminées, certains processus attentionnels ou exécutifs exerceraient une influence plus forte que les autres. Par exemple, le ralentissement de la vitesse de traitement ou encore la diminution des capacités attentionnelles auraient de fortes répercussions sur les relations sociales ou encore la pratique d'activités de loisir. La capacité à prendre des décisions adéquates, quant à elle, pourrait notamment impacter la qualité de vie via la conduite automobile. Plus les conducteurs âgés vieillissent, plus ils témoigneraient de décisions inadéquates en étant impliqués dans des accidents dangereux, dont la responsabilité leur reviendrait (Cooper, 1990). Outre le fait qu'un grave accident pourraient avoir des conséquences physiques et/ou psychologiques importantes, décider de ne plus conduire afin d'éviter de tels écueils constituerait un facteur d'isolement social (Johnson et al., 2013). L'altération directe des capacités cognitives (e.g., atteinte des processus attentionnels, atteinte des processus décisionnels etc.) entraverait donc la qualité de vie. De façon non surprenante, leur altération indirecte, par exemple causée par la surcharge mentale constatée chez les aidants de personnes avec une autonomie réduite, lui serait également nuisible. Une interdépendance de la qualité de vie serait effectivement observée chez les couples de personnes âgées. En effet, l'altération de la condition physique

et du niveau cognitif de l'un des partenaires se répercuterait sur la qualité de vie de l'autre (Bourassa et al., 2015). Ce deuxième membre du couple pourrait notamment voir son niveau de responsabilité considérablement augmenter, le mettant parfois dans des situations d'une extrême culpabilité, comme prendre la décision d'institutionnaliser son époux·se, prendre la décision d'interrompre un traitement, prendre la décision de réaliser certaines transactions financières etc. (Slyer et al., 2018; Viloría Jiménez et al., 2013). De façon intéressante, des facteurs de protection de la qualité de vie pourraient toutefois intervenir. Campos et al. (2014) affirment par exemple que, quel que soit le genre de l'individu, un haut niveau d'étude, une perception positive de sa propre santé, l'absence de symptôme dépressif ou encore l'absence de dysfonction familiale se répercuteraient positivement sur elle. La pratique d'une activité physique, tout comme une nutrition saine et suffisante, contribueraient également à son amélioration (de Oliveira et al., 2019; Maaravi et al., 2000). Par ailleurs, la plupart des facteurs de protection de la qualité de vie correspondrait, de façon intéressante, à ceux cités par Strout et Howard (2012) concernant la préservation du niveau cognitif. Les autrices citent en effet 6 dimensions protégeant la cognition au cours du vieillissement, à savoir : 1) le bien-être professionnel ; 2) le bien-être social ; 3) le bien-être intellectuel ; 4) le bien-être physique ; 5) le bien-être émotionnel et 6) le bien-être spirituel. Ainsi, le maintien des capacités cognitives semblerait étroitement lié au déploiement de nombreuses habiletés, allant de la capacité à créer et maintenir des relations sociales de qualité, à la capacité à acquérir de nouvelles connaissances, en passant par la volonté d'entretenir sa santé en pratiquant une activité physique régulière et en se nourrissant sainement. Ces différentes observations suggèrent alors l'existence d'un lien réciproque entre niveau cognitif et qualité de vie.

Si les modifications cognitives au cours du vieillissement impactent la qualité de vie, elles ne sauraient expliquer à elles seules son évolution au cours du vieillissement. Par exemple, Dudley-Javoroski et al. (2020) ont comparé l'auto-évaluation de la qualité de vie

chez des adultes âgés lésés à la moëlle épinière comparativement à des adultes âgés sans lésion. Les deux groupes présentaient un même niveau cognitif, signifiant que ce facteur (i.e., le niveau cognitif) ne pouvait expliquer à lui-seul les différences observées entre les groupes dans l'appréciation de la qualité de vie. Alors que les auteurs n'ont montré aucune corrélation entre la cognition et la qualité de vie chez les patients, une corrélation positive était détectée chez les individus non lésés. D'après les auteurs, les adultes âgés présentant une lésion spinale ajusteraient probablement leurs attentes et ainsi l'évaluation de leur qualité de vie de sorte à minimiser l'impact de la réduction de mobilité. Par ailleurs, la perception du vieillissement, et particulièrement sa perception positive, ainsi que le niveau de détresse psychologique, constitueraient d'après Ingrand et al. (2018) les deux facteurs exerçant la plus grande influence sur la perception de qualité de vie des adultes âgés. Par ailleurs, Amer et al. (2016) arguent qu'au quotidien, peu de tâches nécessiteraient un haut contrôle cognitif, soit la capacité à limiter son attention aux informations pertinentes à l'accomplissement d'un objectif. Dans ces conditions, il ne paraît pas surprenant que les capacités cognitives d'un individu âgé ne représentent pas l'unique facteur influençant sa qualité de vie. Sachant par ailleurs que les adultes âgés tendraient à s'appuyer davantage sur leur jugement intuitif que sur un raisonnement délibératif sollicitant fortement les ressources cognitives, l'évaluation de leur qualité de vie telle que vécue intrinsèquement par l'individu pourrait finalement dépendre avant tout de facteurs subjectifs (Amer et al., 2016).

Enfin, la présence d'un déficit cognitif constituerait un facteur de risque concernant la diminution de la qualité de vie, entravant notamment la vie sociale. Toutefois, la présence de facteurs de protection pourrait contrebalancer ce déclin. La façon de percevoir le vieillissement serait un élément particulièrement déterminant.

Dans ce premier sous-chapitre ont été abordées différentes dimensions de l'individu subissant l'effet du vieillissement. Les modifications neuroanatomiques et neurophysiologiques ont notamment été mentionnées, avec l'atrophie des régions préfrontales ainsi que le recrutement compensatoire des aires controlatérales. Ensuite ont été traitées les répercussions de ces transformations, d'une part sur la cognition et d'autre part sur le système émotionnel. Les fonctions exécutives, et notamment l'inhibition, la mémoire de travail, spécifiquement dans des tâches complexes, ou encore la mémoire épisodique et son processus de récollection seraient particulièrement vulnérables au vieillissement. A l'inverse, la régulation émotionnelle s'améliorerait avec l'âge, les adultes âgés orientant leurs objectifs de vie vers la maximisation de leur bien-être. Toutes ces modifications liées à l'âge se répercuteraient sur la qualité de vie des adultes âgés. Toutefois, le processus complexe et de haut niveau que constitue la prise de décision pourrait également souffrir de mutations d'ordre cognitif et émotionnel, pour ensuite augmenter encore le déclin de la qualité de vie chez les adultes âgés. Avant d'établir un état des lieux des connaissances concernant les modifications de ce processus au cours du vieillissement, le prochain sous-chapitre veillera à poser le cadre des théories de la prise de décision.

2 La prise de décision et l'évolution de ses modélisations théoriques

La prise de décision fait référence à un ensemble de compétences et d'expériences cognitives et émotionnelles qui, parmi un choix de possibles et au regard d'une situation donnée, permet à l'individu de sélectionner une réponse (Jacus et al., 2012). Cette acception, aujourd'hui largement admise, illustre parfaitement la complexité de cette aptitude, reposant sur l'imbrication de facteurs aussi nombreux que variés. Pourtant, pendant longtemps

considérée comme l’apanage des études en économie et en mathématique, la prise de décision était uniquement perçue comme un calcul probabiliste de risques. Petit à petit, les modèles se sont complexifiés, rendant progressivement compte des notions de subjectivité, d’incertitude (i.e., risque vs. ambiguïté) et de contexte. Puis, la psychologie cognitive s’est emparée du sujet, intégrant les émotions comme partie prenante du processus décisionnel. Aidée des neurosciences et des techniques d’imagerie, les aires cérébrales sous-tendant cette compétence multiple ont été étudiées. Des modèles duels ont vu le jour, séparant plus ou moins cognition et émotions en fonction de la situation décisionnelle (i.e., sous ambiguïté vs. sous risque), tout comme des modèles plus globaux, proposant un cadre théorique suggérant une influence réciproque de ces deux sphères.

Ce deuxième chapitre s’appliquera ainsi à décrire les théories de la prise de décision, en exposant les différentes étapes ayant mené à la définition actuelle. Il sera question des premiers modèles en économie et mathématiques, de leur remise en question et de leur développement vers les modèles plus récents de psychologie cognitive.

2.1 La prise de décision, une perspective d’abord probabiliste

2.1.1 Quand les probabilités ne jouent pas le jeu

Remontons au XVII^e siècle, dans le salon d’Antoine Gombaud, dit Chevalier de Méré, noble et écrivain de l’époque. Féroce joueur de dés, il invitait amis et autres connaissances à partager sa passion du jeu : il lançait le dé, les autres pariaient. Adeptes des mathématiques, ils avaient calculé qu’en quatre lancers il avait 2 chances sur 3 de tomber sur le chiffre 6, et défiait donc ses invités selon cette règle. Cette dernière lui étant plus favorable, il remportait le plus souvent les parties, si bien que ces adversaires se lassèrent probablement, et arrêtaient de

participer. Afin de solliciter à nouveau l'entrain des parieurs, il proposa un second jeu à l'aide de deux dés cette fois : parier sur l'apparition d'un 12, au moins, en 24 lancés. Selon ses calculs, il aurait dû l'emporter 2 fois sur 3, comme dans son premier jeu. Pourtant, la nouvelle règle défie sa logique mathématique, puisqu'il se met à perdre plus qu'il ne gagne. Ne comprenant pas son erreur, il décide de contacter plusieurs mathématiciens renommés de son époque, dont Blaise Pascal. Ce dernier établira le calcul des probabilités, en développant ce que nous nommons aujourd'hui « l'espérance mathématique » (i.e., gain qu'il est possible d'espérer). Ainsi, à l'aube des études sur la prise de décision, cette compétence revenait à choisir l'option possédant l'espérance mathématique la plus grande (Cadet & Chasseigne, 2009).

Toutefois, un siècle plus tard, un problème suscité par un autre jeu, cette fois imaginaire, vient complexifier, et donc enrichir, les théories de la prise de décision. Il s'agit d'un jeu de pile ou face, dans lequel le parieur gagne 2^n euros si la pièce tombe sur pile, avec n le nombre de lancés nécessaires pour obtenir pile. D'après le calcul de Pascal, l'espérance mathématique serait ici positive et infinie. Ainsi, si le preneur de décision tient uniquement compte de cette donnée, il devrait parier tout ce qu'il possède. Pourtant, personne ne semble prêt à tenter un tel pari, mais plutôt à miser de faibles sommes. Ce phénomène sera décrit sous le terme de paradoxe de Saint-Pétersbourg, auquel Bernoulli proposera une solution en 1738 (Cadet & Chasseigne, 2009; Willinger, 1990).

2.1.2 Les théories de l'utilité espérée : l'intégration progressive de la variable « sujet »

La théorie de l'utilité espérée selon Bernoulli (1738)

Le premier à avoir mentionné le terme d'utilité espérée est donc Bernoulli. Ce dernier s'est intéressé à la différence entre l'espérance mathématique d'un gain certain contre celle d'un gain incertain. Autrement dit, bien que 100 % de chance de gagner 50 € et 50 % de chance de gagner 100 € soient mathématiquement équivalents, ces deux situations n'induisent pour autant pas le même comportement. Bernoulli va alors introduire une notion essentielle : celle de subjectivité. Plus précisément, il va distinguer la valeur objective (ou nominale) de la valeur subjective. Alors que la première correspond à la valeur pure, décontextualisée, la seconde prend en compte les caractéristiques du décideur et leur influence sur la perception de cette valeur objective. En effet, 200 € ne seront certainement pas considérés de la même façon par Elon Musk et par un jeune homme vivant dans un bidonville de Rio de Janeiro. Alors que la valeur subjective de cette somme sera probablement faible pour le premier, elle sera à l'inverse probablement forte pour le second. A partir de ce constat, Bernoulli va élaborer une grandeur subjective nommée « utilité » qu'il obtiendra en divisant la valeur objective par la valeur des biens possédés par le décideur. Pour prendre une décision, il ne s'agirait alors plus de choisir l'option possédant l'espérance mathématique la plus grande, mais de choisir l'option avec la plus haute utilité espérée (i.e., produit de l'utilité u_i qu'apporterait une éventualité i par sa probabilité de réalisation p_i) (Cadet & Chasseigne, 2009). Ainsi, le regard porté sur la prise de décision commence modestement à considérer un pan de la complexité du processus, prenant en compte certains facteurs subjectifs, même s'ils restent jusque-là purement économiques. Par ailleurs, Bernoulli va également développer le concept clé d'aversion au risque (Eeckhoudt, 2001; Lemarchand, 2013). Cette notion, suggérant que le

décideur aurait tendance à éviter le risque pour favoriser l'option la plus sûre, fait encore actuellement l'objet de recherches (Lauriola et al., 2007).

L'apport de la théorie des jeux de Morgenstern et von Neumann (1944)

La théorie de l'utilité espérée va prendre un premier tournant avec l'apport de la théorie des jeux, développée par Morgenstern et von Neumann (1944). Leur objectif en conceptualisant cette dernière était d'analyser mathématiquement les problèmes de type stratégique. Sans rentrer dans les détails complexes et non pertinents pour ce travail de thèse, ils ont intégré à travers différents axiomes la notion de préférence entre les options, permettant de déduire l'utilité associée à chacune d'entre elles. Ils développeront notamment le principe de perte minimax, suggérant que les joueurs (i.e., décideurs) rechercheraient à identifier la perte maximum possible, et qu'en fonction de cette dernière, ils adopteraient la stratégie permettant de la minimiser au maximum. De façon très intéressante, ces décisions en contexte de jeu stratégique vont faire entrer dans l'équation une autre variable : le ou les autres joueurs, dont les choix voire leur anticipation pèseront dans le calcul de la fonction d'utilité (Edwards, 1954).

Si toutes les subtilités de la théorie des jeux ne sauraient être restituées ici, la prise en compte de facteurs inter-individuels dans la prise de décision sous risque nous est apparue comme un élément déterminant de la complexification des représentations théoriques. Ainsi, l'utilité des options ne se soumettrait plus uniquement à leur valeur subjective définie par Bernoulli (i.e., valeur objective et richesse du décideur), mais également à un ensemble de règles mathématiques établissant un ordre de préférence entre les options et à la prise en compte de l'influence possible d'autre décideurs, coopérateurs ou adversaires, sur la valeur de ces mêmes options.

Savage (1954) et la théorie de l'utilité subjective espérée

Une décennie plus tard, Savage (1954) apportera une nouvelle modification à la théorie de l'utilité espérée, la transformant en théorie de l'utilité subjective espérée. Il s'appuiera sur les travaux de Finetti (1937) suggérant que les probabilités n'existent pas, ou du moins, seulement de façon subjective (Nau, 2001). De même, il rejoindra l'idée de Knight (1921) selon laquelle certaines décisions sont prises en condition d'incertitude mesurable, ou de risque, quand d'autres sont prises en situation d'incertitude non mesurable (Ellsberg, 1961). L'apport principal de Savage sera précisément d'étendre la théorie de l'utilité espérée à ces situations d'incertitude non mesurable, qu'il renommera plus simplement situations d'incertitude. Selon lui, alors que le risque s'appuie sur des probabilités objectives, l'incertain se baserait sur des probabilités subjectives (Robert & Théron, 2013). La probabilité subjective qu'un événement existe reflèterait en réalité le degré de préférence du décideur pour cet événement : plus il va préférer une option à une autre, plus il lui confèrera une forte probabilité subjective (Ellsberg, 1961).

Cette dernière adaptation de la théorie de l'utilité espérée se verra toutefois réfutée quelques années plus tard par un nouveau paradoxe, le paradoxe d'Ellsberg.

2.1.3 Les théories de la fin du XX^e siècle : l'intégration progressive de la variable « contexte »

Le paradoxe d'Ellsberg et la notion d'ambiguïté

Ellsberg remet en cause la théorie de l'utilité subjective espérée, affirmant qu'elle ne peut en aucun cas s'appliquer à toute situation d'incertitude (Baillon & L'Haridon, 2016; Cabantous & Hilton, 2006; Ellsberg, 1961). Pour le démontrer, il va proposer un jeu de loterie

basée sur le tirage au sort de boules colorées dans deux urnes. Le joueur est informé que chacune d'entre elles contient 100 boules, certaines de couleur rouge et d'autres de couleur noire. L'urne 1 contient en proportion égale chaque couleur (i.e., 50 boules noires et 50 boules rouges), alors que la proportion de boules rouges et noires dans l'urne 2 demeure inconnue. Le joueur va devoir tirer au hasard une boule dans l'urne de son choix, sachant qu'il gagnera de l'argent uniquement si la couleur de la boule tirée est rouge. Immanquablement, le joueur choisira l'urne 1, confirmant la théorie de l'utilité subjective espérée : aversif au risque, il privilégie l'option la moins incertaine. Toutefois, si le joueur se voit proposer un nouveau pari, selon lequel il gagnerait uniquement de l'argent avec le tirage d'une boule noire, l'urne 1 serait encore une fois privilégiée. La théorie de l'utilité espérée subjective semble alors avoir atteint ses limites. Pour rappel, elle stipule qu'en situation d'incertitude, le décideur attribuerait des probabilités subjectives aux différentes options. Si le comportement au premier tirage suggère une probabilité subjective plus forte d'obtenir une boule rouge dans l'urne 1, impliquant logiquement que l'urne 2 contiendrait plus de boules noires que rouges, le comportement du décideur au deuxième tirage semble alors paradoxal. En effet, pour maximiser ses chances d'obtenir une boule noire, il aurait dû choisir l'urne 2. Cette situation illustrant le paradoxe d'Ellsberg (1961) permet de conclure qu'il existerait des situations d'incertitude pour lesquelles le décideur n'attribuerait pas de probabilité subjective.

Ellsberg (1961) propose alors qu'un troisième facteur déterminant la situation décisionnelle interviendrait. En plus de la relative désirabilité de la récompense, ainsi que de la relative chance d'obtenir cette récompense, le degré de confiance portée par le décideur sur son propre jugement des probabilités entrerait également en compte (Cabantous & Hilton, 2006; Ellsberg, 1961). Ce dernier facteur ferait référence à ce qu'Ellsberg appelle « ambiguïté ». Une situation décisionnelle serait alors considérée comme ambiguë quand les connaissances du décideur ne lui permettraient pas d'inférer de probabilités fiables sur les

possibles conséquences de ses choix (Cabantous & Hilton, 2006). D'après le paradoxe d'Ellsberg, les décideurs auraient tendance à manifester de l'aversion à l'ambiguïté (Baillon & L'Haridon, 2016). A l'instar des situations sous risque, ils privilégieraient les options avec le plus de certitude.

Autrement dit, Ellsberg et son paradoxe vont permettre d'affiner encore la conceptualisation de la prise de décision, suggérant que le processus décisionnel dépendrait également du contexte probabiliste. A la prise de décision sous risque, décrite par les théories de l'utilité espérée, va s'ajouter la prise de décision sous ambiguïté. Alors que dans le premier cas le décideur a connaissance des conséquences et de leurs probabilités d'occurrence, dans le second cas, il ne peut estimer ni les unes ni les autres. Les stratégies déployées pour choisir l'option apparaissant comme la plus avantageuse vont alors dépendre de ce niveau de connaissance.

La théorie des perspectives de Tversky et Kahneman (1979)

Daniel Kahneman et Amos Tversky vont former le premier trait d'union entre les domaines psychologiques et économiques, dont ils remporteront d'ailleurs le prix Nobel en 2002 pour leur théorie des perspectives. Cette dernière dépeint trois effets : l'effet de certitude, l'effet d'isolation, et l'effet de reflet. Le premier décrit la tendance à atténuer le poids des options dont les conséquences sont probables, comparativement aux options dont les conséquences sont certaines. Le deuxième effet fait référence au fait que les décideurs auraient tendance à ne pas tenir compte des éléments communs aux plusieurs options proposées. Enfin, le dernier effet renvoie à l'idée que deux situations équivalentes mais présentant les options suivant un angle différent (i.e., positif vs. négatif) entraîneront des choix inverses, en miroir (Edwards, 1996).

Cet effet de reflet, ou effet de cadre (i.e., *framing effect*), semble particulièrement révolutionnaire puisqu'il incorpore un nouveau facteur non-lié aux probabilités per se, mais exerçant une influence forte sur leur interprétation, et donc, sur la prise de décision. Pour clarifier ce que représente cet effet, voici un exemple tiré de Gollier et al. (2003) :

Situation 1 :

« Une nouvelle maladie se répand dans votre ville. Deux vaccins sont disponibles. L'un est certain de sauver 200 vies, mais pas une de plus, tandis que l'autre a une chance sur trois de sauver 600 vies et deux chances sur trois de n'en sauver aucune. Vous êtes responsable du choix du vaccin qui sera appliqué. Lequel choisissez-vous ? »

Situation 2 :

« Imaginez maintenant l'arrivée d'une nouvelle maladie. Deux autres vaccins sont disponibles. Avec le premier, il est certain que 400 personnes mourront. Avec le second, il y a une chance sur trois que personne ne meure et deux chances sur trois que 600 personnes meurent. Lequel choisissez-vous ? »

Ces deux situations sont mathématiquement équivalentes, pourtant, dans le premier cas le décideur choisira préférentiellement l'option certaine (i.e., sauver 200 vies), quand dans le second cas, il privilégiera l'option incertaine (i.e., 1 chance sur 3 que 600 personnes ne meurent pas). Cette démonstration met en avant l'importance du contexte, et confirme l'influence qu'il exerce sur la fonction d'utilité telle que décrite par les théories de l'utilité espérée (Gollier et al., 2003). Cette notion de contexte s'élargit toutefois de sa définition

originelle. Alors qu'elle englobait jusqu'à présent des caractéristiques économiques intra-individuelles (Bernoulli, 1738) et inter-individuelles (Morgenstern et von Neumann, 1944), ainsi que des caractéristiques contextuelles liées aux mathématiques (i.e., sous risque vs. sous ambiguïté), elle se met également à considérer des caractéristiques contextuelles non liées aux mathématiques (i.e., cadre positif vs. négatif).

Cette complexification des représentations du processus décisionnel va changer quelque peu le regard porté sur l'aversion au risque et à l'ambiguïté. Plutôt que d'aversion au risque et à l'ambiguïté, il s'agirait d'une aversion à la perte (Lauriola et al., 2007). Dans ces conditions, l'attitude face au risque serait aversive dans un cadre positif, et appétive dans un cadre négatif. Autrement dit, la plupart des décideurs auraient tendance à assurer le gain en évitant le risque mais à prendre le risque pour éviter la perte. De façon intéressante, les attitudes face au risque et face à l'ambiguïté seraient corrélées (Lauriola & Levin, 2001).

En résumé, les modèles de la prise de décision nés dans les champs de l'économie et des mathématiques ont considéré cette capacité comme un calcul de probabilité. Au fil des paradoxes, ils se sont complexifiés acceptant l'influence de plus en plus de facteurs, d'abord liés au décideur puis à la situation décisionnelle. Malgré cette ouverture progressive, ces modèles se sont bornés à envisager la prise de décision exclusivement comme le fruit d'un raisonnement explicite, basé notamment sur des habiletés mathématiques et probabilistes. Le coût cognitif important associé à ces processus de haut niveau laissent pourtant à penser qu'ils ne seraient peut-être pas toujours les plus adaptés en situation de vie quotidienne. Chez l'être humain, deux voies de traitement seraient capables de gérer l'information. La première dite analytique, ou symbolique, entraînerait des traitements lents, explicites, et coûteux cognitivement (Gollier et al., 2003). Elle requerrait les activations du cortex préfrontal ventromédian et dorsolatéral, du cortex cingulaire antérieur et de l'hippocampe, structures

impliquées dans le contrôle exécutif et la mémoire à long terme (Schiebener & Brand, 2015). D'après les modèles en économie, la voie analytique sous-tendrait les processus décisionnels. Toutefois, il existerait une seconde voie, dite heuristique ou intuitive, qui traiterait l'information de façon automatique, rapide et implicite (Gollier et al., 2003). Elle serait notamment supportée par l'amygdale et le striatum, structures impliquées dans les systèmes de récompense et de punition immédiates (Schiebener & Brand, 2015). Cette seconde voie, complètement écartée des modèles de la prise de décision jusque-là, va faire son entrée dans le domaine avec l'hypothèse des marqueurs somatiques de Damasio.

2.2 La prise de décision, place aux émotions

2.2.1 Les modèles à double voie de la prise de décision

L'hypothèse des marqueurs somatiques selon Damasio

Antonio Damasio et ses collaborateurs vont remettre en cause au milieu des années 90 l'idée selon laquelle la décision humaine se résumerait en un calcul de maximisation probabiliste. Ils vont ainsi défendre que 1) la connaissance et le raisonnement ne suffisent généralement pas pour prendre des décisions avantageuses, le rôle des émotions a été sous-estimé ; 2) l'émotion est bénéfique à la décision quand elle fait partie de la tâche, mais devient néfaste quand elle n'est pas reliée à la tâche ; 3) la mise en œuvre des décisions sous risque et sous ambiguïté n'implique pas les mêmes circuits neuronaux (Bechara & Damasio, 2005).

Ce renversement des représentations part du constat que certains patients cérébrolésés manifestent des troubles décisionnels sans pour autant présenter de déficit dans les capacités de raisonnement. Bechara et al. (1994) décrivent notamment le cas du patient E.V.R. Lésé

sévèrement dans le cortex préfrontal ventromédian (CPFvm), il prend souvent des décisions allant à l'encontre de ses intérêts et semble incapable d'apprendre de ses erreurs, engendrant des désagréments majeurs dans sa vie quotidienne. Pour autant, E.V.R ne présente pas de déficit intellectuel : ses capacités en résolution de problèmes, en habiletés numériques, ou encore en mémoire de travail demeurent intactes. Bechara et al. (1994) vont alors développer une tâche, censée mimer les situations décisionnelles de vie courante, dans laquelle il n'est pas possible de calculer avec certitude les conséquences de ses choix.

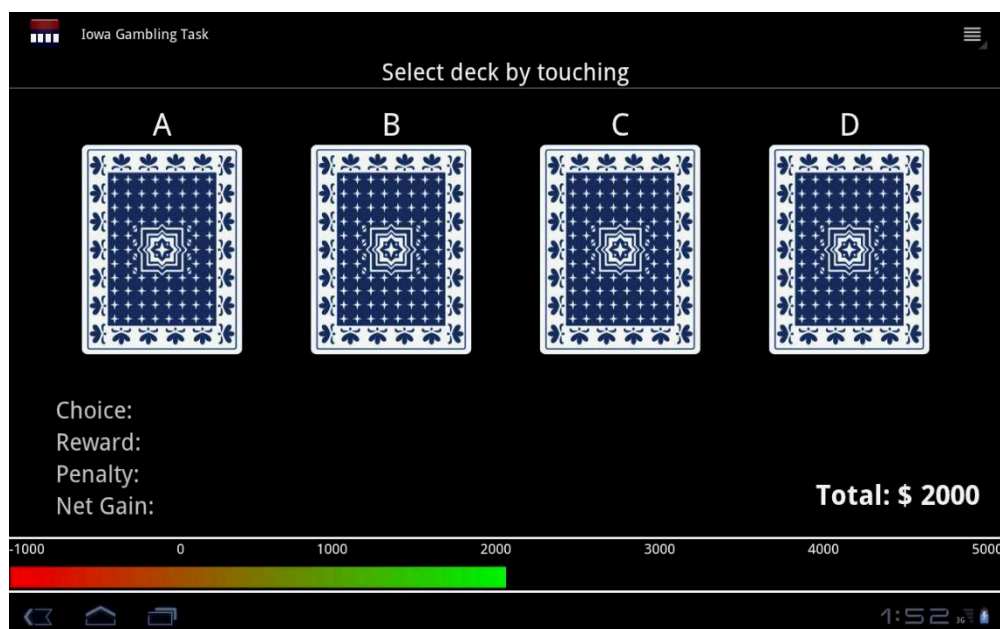


Figure 1. Illustration de l'Iowa Gambling Task (IGT)

Cette tâche, appelée Iowa Gambling Task (IGT), se compose de 4 tas de cartes (A, B, C et D) et d'une mise fictive de départ (i.e., 2000 \$) (voir Figure 1). Les participants doivent sélectionner, dans l'ordre qu'ils le souhaitent, les différents tas de cartes. A chaque sélection, un gain ou une perte d'argent s'opère. L'objectif des participants est de maximiser leur mise de départ, afin de posséder à la fin du jeu une cagnotte plus importante. Aucune autre règle n'est énoncée, ils doivent donc apprendre la logique de la tâche, en s'appuyant sur leur propre

expérience. Les tas A et B sont considérés comme désavantageux, car bien que permettant des gains importants, ils engendrent des pertes plus considérables encore. A l'inverse, les tas C et D sont considérés comme avantageux, car bien que permettant des gains modestes, ils n'engendrent que de faibles pertes. Les participants ne le savent pas, mais la tâche se constitue de 100 essais, soit 100 décisions. A l'issue des 100 essais, un score net de performance est calculé, correspondant à la soustraction du nombre de choix avantageux par le nombre de choix désavantageux.

Les auteurs ont ainsi montré que les patients cérébrolésés présentant des lésions dans le CPFvm obtenaient des scores nets à l'IGT négatifs et significativement moins bons que les sujets ayant le CPFvm intact (i.e., patients et contrôles), et dont le score net à l'IGT était d'ailleurs positif (Bechara et al., 1994). En d'autres termes, E.V.R et les patients présentant les mêmes lésions que lui, ne semblaient pas capables de prendre des décisions avantageuses sur le long terme. Selon les auteurs, une phase de traitement inconscient de l'information pourrait précéder celle du raisonnement et guider la prise de décision. La « myopie du futur » décrite chez les patients au CPFvm lésé pourrait alors s'expliquer par une incapacité à opérer ce traitement inconscient. Supportant cette hypothèse, les auteurs ont observé chez certains participants contrôles l'apparition de réponses électrodermales (i.e., activité électrique enregistrée sur la peau) anticipatoires, entre les essais 10 et 20, avant la sélection des tas A et B (i.e., désavantageux) et en l'absence de connaissance explicite sur la nature de ces tas. Ces réponses étaient présentes chez tous les participants contrôles dès l'essai 50, mais à ce stade de la tâche, ils indiquaient ne toujours pas comprendre les spécificités des quatre tas. La connaissance explicite de la nature des tas n'émergeait qu'autour de l'essai 80. A l'inverse, les patients avec des lésions du CPFvm ne généraient jamais de telles réponses anticipatoires (Bechara et al., 1997), bien que 3 parmi 6 patients comprenaient la nature de tas.

Cette phase de traitement inconscient guidant la prise de décision correspond en réalité à ce que Damasio et collaborateurs appellent l'hypothèse des marqueurs somatiques (Bechara et al., 1994, 1997; Bechara, 2000; Bechara & Damasio, 2005). D'après cette hypothèse, tout élément de l'environnement causant une émotion serait considéré comme un stimulus émotionnellement compétent (i.e., avec la compétence de générer une émotion) dont le traitement entraînerait des modifications physiologiques (e.g., accélération du rythme cardiaque, expression faciale de peur etc). Cette réaction en chaîne, correspondant au déclenchement d'un état somatique, pourrait être provoquée par deux types d'inducteurs : 1) les inducteurs primaires, innés ou acquis, qui seraient directement présents dans l'environnement (e.g., présence d'un serpent, résultat gagnant au loto) ; et 2) les inducteurs secondaires, qui génèreraient les états somatiques par la remémoration ou l'imagination d'événements émotionnels (e.g., imaginer rencontrer un serpent, imaginer gagner au loto). Ces états somatiques (i.e., émotions et réactions physiologiques) remémorés, donc associés au souvenir d'un événement ou objet émotionnellement compétent, seraient appelés marqueurs somatiques. Ils seraient automatiquement activés lors du processus décisionnel, plus précisément lors de la phase de délibération, afin de guider le choix de l'individu. Les auteurs ajoutent tout de même que seules les émotions intégrantes, c'est-à-dire directement en lien avec la situation décisionnelle, auraient un effet bénéfique sur la prise de décision (Bechara & Damasio, 2005).

Avec l'hypothèse des marqueurs somatiques, Damasio et collaborateurs enclenchent une véritable révolution dans les théories de la prise de décision. Non plus considérées comme insignifiantes, voire parasites, les émotions deviennent l'élément indispensable pour pouvoir opérer des choix avantageux. Cependant, cette hypothèse semble se limiter aux prises de décision sous ambiguïté. D'autres modèles vont alors entreprendre de décrire la prise de

décision sous risque en l'analysant, cette fois, à travers le filtre de la psychologie cognitive, et des fonctions cognitives sous-jacentes.

Les modèles psychologiques de la prise de décision sous risque : implications émotionnelles et cognitives

Matthias Brand et ses collaborateurs se sont intéressés aux différences entre la prise de décision sous ambiguïté et sous risque. Le premier type de situations ayant déjà été dépeint par l'équipe d'Antonio Damasio avec l'hypothèse des marqueurs somatiques, ils ont proposé un modèle explicatif du deuxième type de situations, à savoir, sous risque (Brand et al., 2006b; Schiebener & Brand, 2015).

S'il paraît établi depuis Bechara et al. (1994) que les émotions sous-tendent la capacité à prendre des décisions sous ambiguïté, aucun modèle en psychologie cognitive ne semblait jusque-là avoir caractérisé les fonctions sous-jacentes à la prise de décision sous risque. Dans leur écrit de 2006, Brand et al. avancent que cette dernière pourrait à la fois être guidée par l'implication des émotions et par celle des fonctions exécutives (i.e., ensemble de compétences permettant à l'individu de s'adapter dans des situations non routinières). Les chercheurs étayaient leur hypothèse sur les données neurophysiologiques et neuropsychologiques décrites dans la littérature scientifique. Bien que les deux types de prise de décision reposeraient sur l'activation du cortex préfrontal, les décisions sous ambiguïté seraient avant tout dépendantes de ses régions orbitofrontales et ventromédianes. Les décisions sous risque, quant à elles, dépendraient en plus de ses régions dorsolatérales, particulièrement impliquées dans les processus exécutifs. Sur un plan cognitif d'ailleurs, les prises de décision sous ambiguïté seraient peu liées aux fonctions exécutives alors qu'au contraire, les prises de décision sous risque y seraient fortement corrélées, et notamment à la flexibilité mentale.

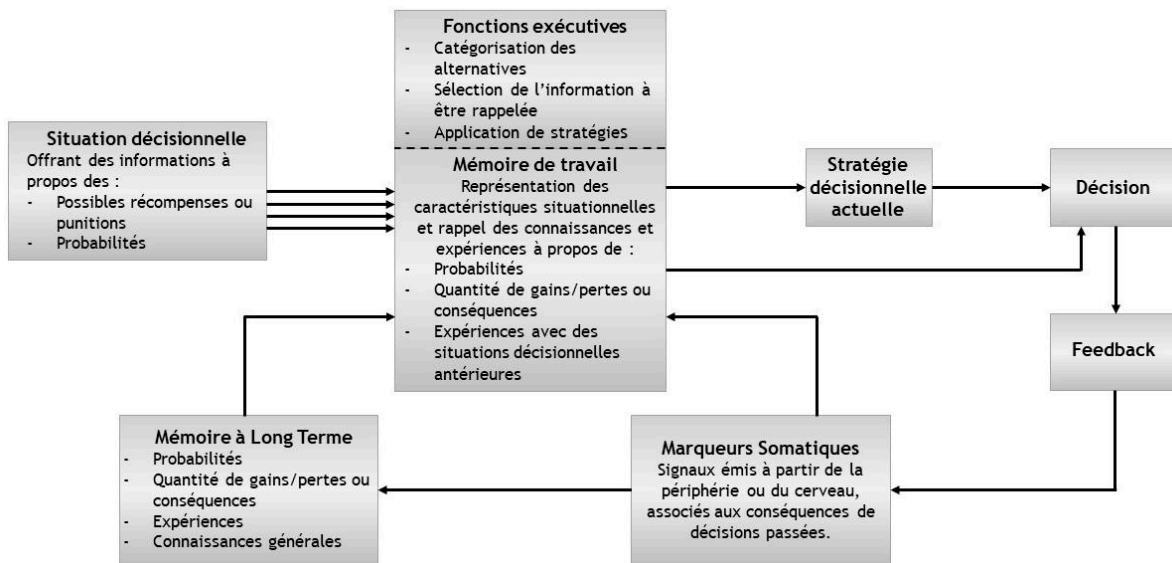


Figure 2. Représentation graphique du modèle théorique focalisé sur la prise de décision sous risque proposé par Brand et al. (2006)

S’inspirant de l’hypothèse des marqueurs somatiques, Brand et al. (2006) vont proposer la version du modèle adapté à la prise de décision sous risque, considérant les aspects émotionnels comme rationnels (voir Figure 2). Selon eux, deux voies de traitement pourraient être empruntées pour réaliser des choix avantageux en situation de risque : une cognitive et une émotionnelle. Quoi qu’il en soit, les caractéristiques de la situation décisionnelle (i.e., la taille des gains ou des pertes, ou encore les chances de les obtenir) seraient maintenues en mémoire de travail, et y seraient comparées aux informations pertinentes récupérées en mémoire à long terme. Ces informations pourraient aussi bien revêtir la forme de connaissances générales (e.g., calcul de probabilité, comparaison de ratios, résolution de problèmes, représentation mentale de sommes d’argent), sollicitant plutôt la voie cognitive, que d’expériences personnelles explicites ou implicites (i.e., marqueurs somatiques), sollicitant plutôt la voie émotionnelle. Cette phase de comparaison en mémoire de travail permettrait de générer la stratégie la plus adéquate à la situation décisionnelle, et

donc, de suivre préférentiellement l'une des deux voies. Une fois la décision prise, le feedback (cognitif et/ou émotionnel) viendrait enrichir ou modifier les informations stockées à long terme qui interviendront dans de futures décisions.

Ainsi, d'après ce modèle, la stratégie optimale pour prendre une décision en situation de risque tiendrait compte du raisonnement explicite et des marqueurs somatiques. Pour autant, l'implication de ces derniers ne représenterait pas toujours une condition indispensable à la sélection du choix le plus avantageux. En d'autres mots, les fonctions exécutives et le raisonnement pourraient dans certains cas suffire.

Dans la révision de leur modèle en 2015, Schiebener et Brand étendent le rôle du fonctionnement cognitif au-delà de celui des fonctions exécutives. Ils reconnaissent toujours ces dernières comme les états permettant le guidage et le développement des stratégies décisionnelles, toutefois, le rôle de la mémoire de travail, de la mémoire à long terme ainsi que des habiletés numériques s'en trouve renforcé. De plus, au lieu de considérer les deux voies de traitement comme deux chemins hermétiques, dont l'implication de l'une ou de l'autre dépendrait d'un choix plus ou moins conscient en début de processus ou en réponse au feedback, ils suggèrent plutôt une influence réciproque des deux voies tout au long du processus de prise de décision. Toutes deux s'activeraient en parallèle mais l'une prendrait le pas sur l'autre, revêtant le rôle de mode dominant (i.e., *leading processing mode*). Ce rôle de leader serait assigné à l'une ou l'autre en fonction des caractéristiques inhérentes au décideur (e.g., âge, personnalité impulsive) et à la situation décisionnelle.

Les modèles s'appuyant sur l'hypothèse d'une double voie de traitement, l'une étant plus sensible aux émotions et l'autre plus sensible au contrôle cognitif, ont ainsi suggéré que les prises de décision sous ambiguïté ne solliciteraient que la première (i.e., intuitive), alors

que les prises de décisions sous risque pourraient solliciter les deux (i.e., intuitive et analytique). Si leurs conceptions premières du processus décisionnel envisageaient ces deux voies comme deux routes sans intersection, la révision de ces modèles a ouvert le cadre théorique sur une représentation moins dichotomique. D'autres modélisations théoriques de la prise de décision sont allées plus loin dans cette ouverture, considérant les mécanismes sous-tendant cette compétence comme un système unique.

2.2.2 Les modèles globaux de la prise de décision

Modèle de l'Appraisal Tendency Framework (ATF) de Jennifer Lerner et collaborateurs

Le premier modèle développé par Jennifer Lerner et ses collaborateurs analyse le processus décisionnel principalement à travers le prisme des émotions. L'*Appraisal Tendency Framework* (ATF) part du constat que la plupart des études questionnant l'effet de ces dernières sur le comportement humain considère uniquement leur valence (i.e., positive ou négative) ou leur *arousal* (i.e., intensité) comme facteurs influents. Pourtant, d'après l'équipe de recherche, deux émotions d'une même valence pourraient influencer de façon diamétralement opposée un jugement ou une décision, tout comme deux émotions de valence contraire pourraient exercer la même influence. L'ATF va ainsi examiner l'aspect multidimensionnel des émotions en posant trois postulats : 1) des dimensions cognitives discrètes différencient les expériences émotionnelles ; 2) les émotions ont un rôle de coordination, elles provoquent automatiquement un ensemble de réponses concomitantes ; et 3) les émotions possèdent des propriétés motivationnelles qui dépendent de leur intensité et d'autres propriétés, dites qualitatives.

Chaque situation décisionnelle ferait l'objet d'une évaluation guidée par les émotions. En effet, selon l'ATM, ladite situation entraînerait automatiquement l'activation d'une émotion, qui déclencherait des prédispositions cognitives permettant d'évaluer les événements futurs (i.e., des tendances d'évaluation). Autrement dit, l'émotion générée activerait les processus cognitifs analysant les conséquences possibles des différentes options de réponse. Les différentes caractéristiques de l'émotion, appelées dimensions, rendraient compte du processus cognitif déclenché.

Chaque émotion pourrait être évaluée suivant 6 dimensions : la certitude, le caractère agréable, le niveau attentionnel, l'effort anticipé, le contrôle et la responsabilité des autres (Lerner et al., 2015). Chacune de ces dimensions serait implicitement scorée, et la répartition des 6 scores modèleraient le contenu des pensées via ce que les auteurs appellent donc des tendances d'évaluation (e.g., percevoir des événements positifs comme étant provoqués par soi). Ainsi, les dimensions avec une note particulièrement haute, ou inversement particulièrement basse, seraient plus susceptibles d'activer une tendance d'évaluation qui influence le jugement. Lerner et al. (2007) fournissent un exemple pour mieux comprendre. Dans une épreuve de résolution de problème avec induction d'émotion, l'induction de colère (qui a un haut score de certitude, de contrôle et de responsabilité de l'autre, mais un faible score de plaisir) remettrait la responsabilité sur un tiers alors que l'induction de tristesse (qui a notamment un faible score de responsabilité de l'autre) remettrait la faute sur la fatalité. Ainsi, la colère mènerait plutôt l'individu à confronter l'autre, jugé comme responsable de la situation, quand la tristesse le pousserait davantage à se replier sur lui-même. En d'autres termes, l'émotion influencerait la décision en définissant le type de comportement apparaissant comme le plus adapté, ici le conflit ou le repli.

Par ailleurs, il existerait différents types d'émotions : les émotions intégrantes (i.e., *integral emotions*), directement liées à la décision (e.g., être en colère contre quelqu'un

puisque'il n'a pas fait quelque chose que l'on attend et le disputer), et les émotions incidentes, non liées à la décision (e.g., être agacé parce que l'on a passé 45 minutes dans les bouchons et disputer quelqu'un qui n'a pas encore fait quelque chose que l'on attend) (Lerner et al., 2015). Chacune des deux pourraient, à leur niveau, apporter un effet bénéfique ou péjoratif au processus décisionnel.

Ainsi, d'après l'ATF, les émotions détiendraient un rôle de coordonnateur, voire de chef d'orchestre impulsant la nature des fonctions cognitives à déclencher afin de prendre une décision. Rétablissant un peu le lien avec les premiers modèles n'ayant considéré que le raisonnement, Lerner et al. (2015) propose un nouveau cadre théorique mêlant les deux approches.

Evolution de l'ATF vers le modèle Emotion-Imbued Choice (EIC) (Lerner et al., 2015)

Avec ce second modèle, Lerner et al. (2015) vont se décentrer légèrement de la représentation hégémonique des émotions dépeinte dans l'ATF. Bien que conservant le point de vue innovant d'un impact des émotions sur le processus décisionnel, l'*Emotion-Imbued Choice* (EIC) va réintégrer le point de vue plus traditionnel, issu des travaux en économie et mathématiques, considérant la prise de décision comme un choix rationnel (voir Figure 3).

Face à un choix, le décideur se doit de sélectionner une option parmi plusieurs. Afin d'effectuer cette sélection, il va évaluer l'utilité des différentes options s'offrant à lui. Pour ce faire, deux facteurs vont entrer en compte : les caractéristiques de l'option (e.g., le type de récompense, les chances de l'obtenir) et les caractéristiques du décideur lui-même (e.g., niveau d'aversion au risque). A cette représentation plutôt traditionnelle de la prise de décision, l'EIC va incorporer la variable émotionnelle, et ce, de plusieurs façons. Premièrement, les émotions joueraient un rôle dans l'évaluation de la fonction d'utilité des

différentes options. Rejoignant l'hypothèse des marqueurs somatiques de Damasio, le décideur pourrait prédire l'émotion que chaque option décisionnelle déclencherait, et juger de l'utilité de chacune d'entre elles. Deuxièmement, l'état émotionnel du décideur au moment de la prise de décision exercerait également une influence non négligeable. Cet état émotionnel dépendrait à la fois des caractéristiques du décideur (e.g., niveau d'anxiété, état dépressif) et des options (e.g., résultats certains ou non, immédiats ou non). Troisièmement, l'anticipation de l'émotion associée à la conséquence du choix effectué pourrait modifier l'émotion pré-décisionnelle. Par exemple, anticiper la douleur pourrait engendrer un sentiment de peur. Quatrièmement, la relation entre les différentes options (i.e., similarité, vectrices de tabou) pourrait entraîner encore d'autres émotions, telle que la frustration. Enfin, en plus de toutes les émotions intégrantes, graviteraient aussi autour du processus décisionnel les émotions incidentes, c'est-à-dire non liées à la situation.

Pour résumer ce modèle, le squelette de la prise de décision correspondrait aux représentations économiques et mathématiques traditionnelles, en d'autres termes, à choisir l'option avec la plus haute utilité espérée. Toutefois, l'évaluation de cette utilité espérée, plus ou moins consciente, serait influencée par tout type d'émotions et à chaque étape du processus décisionnel.

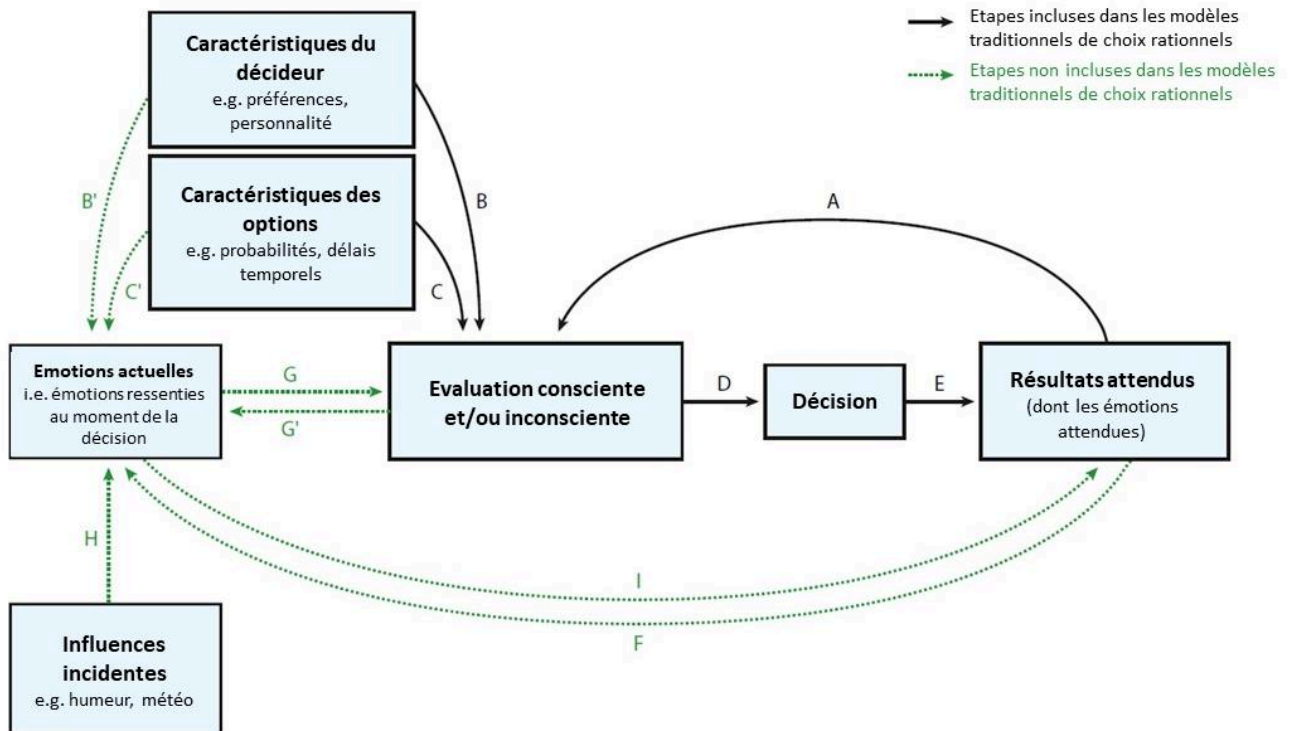


Figure 3. Représentation graphique du modèle EIC proposé par Lerner et al. (2015)

Dans ce chapitre ont été retracées les étapes clés ayant mené d'une représentation probabiliste de la prise de décision à une représentation plus complexe, reflétant l'intrication des processus cognitifs et émotionnels constituant la cognition humaine. Par cet historique des théories décisionnelles, certainement non exhaustif, nous espérons avoir mis en évidence que la définition contemporaine de la prise de décision est le résultat d'une construction lente et de l'apport de domaines variés. Pour rappel, Jacus et al. (2012) la définissent comme un ensemble de compétences et d'expériences cognitives et émotionnelles spécifiques à un individu qui, parmi un choix de possibles et au regard d'une situation donnée, lui permet de sélectionner une réponse. La notion de subjectivité, caractérisée par les « compétences et expériences cognitives et émotionnelles » d'un individu, paraît ainsi centrale. Centrale au point de se placer à l'origine de la première mutation des représentations de la prise de décision, avec le passage de l'espérance mathématique aux théories de l'utilité espérée.

Centrale aussi au point de questionner l'influence d'un processus naturel tel que le vieillissement sur la capacité à prendre des décisions. Le Chapitre 1 s'étant attaché à décrire les modifications cognitives et émotionnelles liées à l'âge, il semble assez évident, au vu de la définition donnée par Jacus et al. (2012), de s'interroger sur l'impact que ces modifications peuvent avoir sur le processus décisionnel chez des adultes âgés.

2.3 Les modèles de la prise de décision chez l'adulte âgé

Avant de dresser un état des lieux précis sur les capacités décisionnelles des adultes âgés, puis de présenter les études sur cette thématique menées dans le cadre de cette thèse, nous avons pensé que le *Person-Task-Fit Framework* de Mélissa Finucane et Nancy Lees fournirait une entrée en matière des plus adaptées (Finucane & Lees, 2005).

Ce modèle part du constat que seulement peu de travaux ont examiné la capacité à prendre des décisions (i.e., *decision-making competence*, DMC) des adultes âgés, malgré le fait que cette dernière soit un facteur indispensable au bien-être physique et psychologique. Leur cadre théorique s'inscrit ainsi dans cette perspective : guider les recherches dans le domaine de la prise de décision, en particulier quotidienne, chez les adultes âgés.

Le *Person-Task-Fit Framework* (PTFF) considère la DMC comme le degré de congruence entre les caractéristiques du décideur (e.g., âge, niveau d'étude, état affectif, contrôle exécutif, etc.), de la tâche (e.g., familiarité, complexité, etc.) et de la situation (e.g., support décisionnel, pression temporelle, etc.). Il émet 4 postulats de départ : 1) la qualité de la décision est sujette aux influences des caractéristiques du décideur, de la tâche et du contexte ; 2) pour influencer la DMC, ces trois dimensions peuvent agir de façon indépendante ou bien interagir ; 3) une décision avantageuse est prise quand les capacités

cognitives, notamment, correspondent aux demandes de la tâche ou au contexte ; 4) les modifications dans la DMC liées à l'âge sont imputables aux changements que subit le décideur.

Finucane et Lees (2005) comparent la DMC à une forme de cognition compilée, puisque dépendante de la compilation d'un ensemble de compétences basiques telles que les capacités mnésiques, ou encore la vitesse de traitement. Ces compétences basiques subissant des modifications au cours du vieillissement, elles devraient entraîner en cascade d'autres modifications spécifiques à la DMC. Les chercheuses citent ainsi un certain nombre d'études mettant en évidence un recours à des stratégies décisionnelles plus simples, une sensibilité accrue à l'effet de cadre (i.e., *framing effect*, voir p. 50) ou encore une perte de finesse dans la compréhension des inférences avec l'âge. Finucane et Lees (2005) déplorent cependant un manque crucial d'outils adaptés à l'évaluation de la prise de décision chez les adultes âgés. Elles mentionnent notamment le manque de fiabilité que peuvent représenter les auto-questionnaires, dans la mesure où une diminution de l'*insight* serait parfois observée chez les personnes âgées, ou encore l'absence de tâche standardisée s'adressant spécifiquement à cette population.

L'objectif ultime du PTFF visait à identifier le type de décisions particulièrement éprouvantes pour les personnes âgées, afin de déterminer les domaines pour lesquels une aide semblerait nécessaire. Cette identification aurait également pu servir de ligne de base pour distinguer les besoins typiques du vieillissement dit normal, de ceux apparaissant comme atypiques, et donc, probablement liés à une pathologie.

Le PTFF célébrera bientôt ses 20 ans, et malheureusement ses objectifs n'ont pour le moment pas été atteints. Depuis, d'autres études ont évidemment été menées dans le champ de la prise de décision et du vieillissement. Pourtant, aucune d'entre elles ne semble s'être appliquée à questionner systématiquement le lien entre la prise de décision, notamment dans

des situations de vie quotidienne, et les différentes fonctions cognitives impactées par le processus de sénescence. Dans le prochain chapitre, un état des lieux des connaissances sur la prise de décision chez les adultes âgés sera proposé, permettant de dresser le tableau des champs explorés comme inexplorés. De plus, afin de mieux comprendre le cadre dans lequel se sont inscrites nos recherches, les modèles cognitifs de référence sur lesquels nous sommes appuyées seront décrits. A partir des constats établis, les hypothèses théoriques ayant façonné ce travail de thèse seront présentées.

3 La prise de décision au cours du vieillissement

L'évolution de la capacité à prendre des décisions (i.e., *Decision Making Competence*, DMC) chez les adultes âgés a suscité l'intérêt des chercheurs dès la fin des années 90. Bien que 20 ans se soient écoulés, de nombreuses interrogations demeurent en suspens. La DMC constituant la pierre angulaire de la préservation de l'autonomie, la question de ses modifications au cours du vieillissement paraît centrale (Moye & Marson, 2007).

Ce troisième sous-chapitre s'appliquera ainsi à retracer les résultats des travaux ayant interrogé les effets de l'âge sur les capacités décisionnelles. La première section sera dévolue à une description holistique des modifications de la DMC chez les adultes âgés, ainsi qu'au retraçage des influences subies par les changements cognitifs et émotionnels. Seront ensuite traitées, dans les sous-chapitres 4 et 5, les modèles théoriques de référence et la formulation des hypothèses théoriques, respectivement.

3.1 Des modifications de la DMC au cours du vieillissement, sous ambiguïté et sous risque

Les prises de décision peuvent s'effectuer suivant deux modalités, chacune dépendante du niveau de connaissance concernant 1) les conséquences relatives aux choix possibles, et 2) leur probabilité d'occurrence. Alors qu'en situation de risque, les conséquences et les probabilités peuvent être estimées, en situation d'ambiguïté, elles demeurent indéterminées (Brand et al., 2007; Levy et al., 2010). La distinction entre les deux paraît essentielle, puisque d'après la littérature scientifique, le vieillissement n'affecterait pas de la même façon chacune d'entre elles.

3.1.1 Les modifications de la DMC sous ambiguïté au cours du vieillissement

La question des modifications de la prise de décision sous ambiguïté ferait plutôt consensus, avec de nombreuses études décrivant un effet du vieillissement (Denburg et al., 2007; Fein et al., 2007; Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008). Une épreuve paraît en particulier posséder le monopole de son évaluation : l'Iowa Gambling Task (IGT) de Bechara et al. (1994) (voir p. 52 pour plus de précisions). Deux types d'indicateurs principaux rendraient compte de cette compétence : ceux reflétant le nombre de choix avantageux par rapport au nombre de choix désavantageux, et ceux illustrant les stratégies mises en place. Le premier type d'indicateur correspond généralement au net score, calculé en soustrayant le nombre de choix avantageux par le nombre de choix désavantageux. Fein et al. (2007) ont notamment montré qu'il était significativement plus bas chez des adultes de plus de 55 ans, en comparaison à des adultes de moins de 55 ans. Denburg et al. (2007), qui avaient également inclus des adultes avec un âge compris entre 56 et 85 ans, restent toutefois plus prudents.

Leurs résultats révèlent qu'une minorité d'adultes âgés présenteraient un net score déficitaire (i.e., significativement inférieur à 0), et que ce déficit coïnciderait avec l'incapacité à générer des réponses électrodermales discriminantes (i.e., avant les tas avantageux vs. désavantageux). Toutes les études ne décrivent effectivement pas d'effet de l'âge sur le net score, en revanche, elles mettent généralement en évidence des différences relatives au déploiement de stratégies (Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008). Tout d'abord, comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés alterneraient davantage entre les tas avantageux et désavantageux (i.e., réaliseraient plus de *shifts*), tout comme ils adaptéraient moins leurs sélections au cours de la tâche. Alors que les jeunes adultes réduisent considérablement le nombre de *shifts* au fur et à mesure de l'exercice, louvoyant entre les 4 tas au début de la tâche puis privilégiant les deux tas avantageux en fin d'IGT, les performances des adultes âgés témoignent moins nettement de cette diminution (Zamarian et al., 2008). Par ailleurs, la nature des conséquences (i.e., gains et pertes) ne se répercuterait pas de la même façon sur le comportement décisionnel des différentes classes d'âge. Entre 18 et 34 ans, les pertes influenceraient davantage les choix futurs comparativement aux gains. En revanche, entre 65 et 88 ans, gains et pertes pèseraient autant sur la sélection du tas de cartes suivant (Wood et al., 2005). S'il paraît bien établi que les stratégies décisionnelles évoluent avec l'âge, l'effet du vieillissement sur l'attitude face à l'ambiguïté ne ferait pas consensus. Alors que certains auteurs assurent qu'il resterait relativement stable au cours de la vie, exceptés chez les adolescents, qui manifesteraient une tolérance à l'ambiguïté légèrement plus importante (Leuker et al., 2020), d'autres décrivent une aversion à l'ambiguïté accrue avec l'âge (Kurnianingsih et al., 2015).

D'un point de vue neuro-fonctionnel, Rogalsky et al. (2012) ont montré une activation bilatérale du CPFvm chez des adultes âgés réalisant l'IGT. Alors que les activations droites s'exprimaient de la même façon indépendamment des performances, les activations gauches

corrélaient avec la réussite de la tâche. Après avoir identifié les hauts et bas performeurs (i.e., ceux avec les meilleurs net scores dans l'IGT et ceux avec les moins bons scores), les auteurs ont toutefois montré que les premiers présentaient des activations droites plus importantes que les seconds. Ainsi, malgré l'absence de groupe contrôle, les auteurs suggèrent que la bilatéralisation des activations pourrait illustrer la mise en place de moyens compensatoires visant à améliorer les performances à l'IGT. Halfmann et al. (2014) ont également montré des différences de pattern dans les activations cérébrales entre hauts et bas performeurs âgés. Les activations précoces (i.e., prédécisionnelles), tardives (i.e., postdécisionnelles) et pendant le feedback ont été analysées au cours de l'IGT. Chez les haut performeurs, l'effet du vieillissement se traduisait par une intensification des activations préfrontales durant les trois phases d'intérêt, mais également par une intensification des activations précoces dans le cortex cingulaire postérieur. Les bas performeurs, quant à eux, montraient un pattern d'activation inverse.

3.1.2 Les modifications de la DMC sous risque au cours du vieillissement

Concernant les modifications ayant trait à la prise de décision sous risque, les avis apparaissent cette fois plus divisés. La tâche de Probability-Associated Gambling (PAG), n'a par exemple pas su discriminer les performances des adultes âgés et jeunes (Zamarian et al., 2008). Dans cette tâche, les participants doivent choisir entre une option sûre (i.e., accepter de gagner ou de perdre une faible somme) et une option risquée (i.e., jouer une grande somme). Les probabilités de gagner sont représentées par une urne dans laquelle figurent 24 rectangles de couleur (i.e., rouges ou bleus). Le ratio des rectangles rouges et des rectangles noirs change à chaque essai. Lorsque les participants préfèrent l'option risquée à l'option sûre (i.e., font le pari), un rectangle est alors tiré : si la couleur rouge sort, les participants gagnent le pari, mais

si la couleur noire sort, les participants perdent le pari (Schiebener & Brand, 2015). Dans l'étude de (Zamarian et al., 2008), bien que les réponses des adultes âgés nécessitaient plus de temps, elles étaient similaires à celles des plus jeunes. Ainsi, quel que soit le groupe, plus la probabilité de gagner était importante, plus les participants sélectionnaient l'option risquée. Par ailleurs, la proportion de « bons » et « mauvais décideurs » était comparable dans les deux groupes d'âge. Alors que Dror et al. (1998) évoquent également une préservation du processus décisionnel en situations de risque, Deakin et al. (2004) mettent en évidence un abaissement des performances au cours du vieillissement. Dans cette seconde étude, la *Decision-Gamble Task* (GDT) a été utilisée, tâche pour laquelle les participants devaient émettre des paris basés sur le lancer de dés. Ils pouvaient en effet choisir de miser sur l'apparition d'un, deux, trois ou quatre chiffres. Plus le nombre de faces comprises dans le pari était grand, moins la somme mise en jeu était importante. Leurs résultats montrent une lenteur de la délibération (i.e., des temps allongés), une diminution de la prise de risque ainsi qu'un ajustement au risque moins performant avec l'âge (Deakin et al., 2004). Ces résultats confirment en partie ceux de Leuker et al. (2020), décrivant une aversion au risque plus prononcée chez les adultes âgés. La littérature montre donc des résultats contradictoires en ce qui concerne la prise de décision sous risque. Toutefois, l'hétérogénéité des données pourrait provenir de celle des tâches évaluant cette compétence. Par exemple, d'après Brand et Markowitsch (2010), la complexité de la tâche de PAG serait moindre que celle de la GDT. Alors que la première n'implique qu'un choix entre deux options (i.e., parier ou pas), la deuxième suppose de choisir 1 alternative parmi 14 à chaque essai, tout en appliquant une stratégie à long terme. Le niveau d'exigence cognitive de la tâche sélectionnée pourrait ainsi constituer un premier biais. Ensuite, lorsque l'analyse du risque prend en compte le contexte de gain ou de perte (i.e., le cadre), l'effet du vieillissement se manifesterait différemment. Alors que les adultes jeunes manifestent une aversion au risque en contexte de gains et un

appétit au risque en contexte des pertes, les adultes âgés se comporteraient de la même façon dans les deux contextes, avec une aversion au risque dans le contexte des pertes plus importante que les adultes jeunes (Kurnianingsih et al., 2015). Dans ces conditions, le cadre des énoncés pourrait également influencer les résultats.

Parmi les tâches questionnant la DMC sous risque, certaines ont cherché à reproduire plus fidèlement les décisions prises au quotidien. Meyer et al. (2007), ayant proposé des scénarios en lien avec des traitements contre le cancer, ont notamment montré que les adultes âgés prenaient des décisions plus immédiates que les jeunes adultes. Johnson (1990) par exemple, au contraire, a montré que les adultes âgés prenaient plus de temps et utilisaient moins d'informations que les adultes jeunes avant de choisir une nouvelle voiture à acheter.

La neuroimagerie a elle aussi permis de mettre en évidence des différences en fonction de l'âge. Dans une tâche de loterie, il a notamment été montré que l'augmentation de la probabilité de gagner modulait les activations striatales chez les adultes jeunes alors qu'elle modulait celles des cortex temporal médian et préfrontal ventromédian chez les adultes âgés (Su et al., 2018). Dans une méta-analyse d'études en IRMf portant sur la prise de décision sous risque, Tannou et al. (2021) ont rapporté des activations dans les cortex préfrontaux dorsolatéraux et orbitofrontaux, ainsi que dans la boucle cortico-basal, notamment dans l'insula chez les adultes âgés. Les activations décrites étaient souvent bilatérales, voire avec une large prédominance droite. Par contre, même si la comparaison entre les adultes âgés et jeunes était indirecte, ces derniers montraient plutôt une activation latéralisée à gauche.

Les études s'accordent donc sur la présence d'une modification de la prise de décision sous ambiguïté au cours du vieillissement. Mise en évidence à l'aide de l'IGT, elle serait parfois rendue visible à travers le net score, et parfois, à travers le nombre de changement de

stratégies. Concernant la DMC sous risque, bien qu'il n'y ait pas de véritable consensus, il semblerait que les tâches complexes, notamment celles mimant des décisions inspirées de la vie réelle, révèlent des changements comportementaux avec le vieillissement. Globalement, les adultes âgés évitent davantage le risque et mettent plus de temps à délibérer. Même si aucuns travaux ne semble avoir systématiquement recherché les causes de ces transformations, nombre d'entre eux ont tenté d'apporter un éclairage sur de possibles origines.

3.2 Les modifications cognitives impliquées dans les modifications de la DMC

Deux observations ressortent particulièrement de la littérature scientifique, à savoir 1) une évolution des stratégies décisionnelles au cours de la vie, et 2) une simplification de ces stratégies au cours du vieillissement (Johnson, 1990; Mata et al., 2007, 2015; Strough & Bruine de Bruin, 2020; Zamarian et al., 2008). Cette simplification stratégique, particulièrement rapportée sur des tâches décisionnelles cognitivement coûteuses, peut s'observer à partir de différents indicateurs (Mata et al., 2015). A l'aide d'une tâche de comparaison de diamants visant à décider du plus onéreux sur la base d'inférences, il a été montré que les adultes âgés cherchaient moins d'informations sur lesquelles s'appuyer que les adultes jeunes, mais avaient besoin d'un temps de délibération plus long. Dans l'étude de Mata et al. (2015) pour prendre leur décision, les participants pouvaient s'appuyer sur plusieurs indices ciblant la taille des diamants, leur coupe et leur clarté. Pour chaque situation proposée, des prédictions de réponses avaient été listées par les chercheurs, censées refléter les stratégies décisionnelles adoptées par le décideur, sans qu'il ait besoin de les formuler explicitement. Trois stratégies ont été considérées par les auteurs, de la moins coûteuse à la plus coûteuse cognitivement : prendre le meilleur (*Take The Best*, TTB), prendre deux (*Take*

Two, TT) et la règle additive pondérée (*weighted additive rule*, WADD). La première stratégie (i.e., TTB) se basait sur la prise en compte de l'élément discriminant le plus prédictif (e.g., sélectionner le diamant avec le plus gros diamètre). La seconde stratégie (i.e. TT), correspondait à la sélection du diamant regroupant deux éléments sur trois augmentant sa valeur (e.g., sélectionner le diamant conjuguant le plus de faces et la plus grande clarté). Enfin, la troisième stratégie (i.e., WADD) visait à sommer la valeur de tous les indices tout en pondérant chaque indice par son niveau de validité, puis à sélectionner le diamant pour lequel le résultat du calcul était le plus important. Ainsi, pour chaque situation, les décisions des participants ont été comparées aux différentes prédictions afin de déterminer la stratégie privilégiée. Bien que les adultes âgés n'invoquaient pas systématiquement des stratégies cognitivement simples, ils y recouraient plus souvent que les adultes jeunes. Les auteurs ont suggéré qu'en vieillissant, les individus devenaient peut-être plus adaptatifs dans leur choix de stratégie. Autrement dit, l'utilisation plus fréquentes de stratégies plus simples pourraient être un choix délibéré, basé sur un calcul des coûts et bénéfices. Cette plus grande capacité d'adaptation serait imputable à la richesse de leurs connaissances, notamment concernant l'adéquation entre l'environnement et lesdites stratégies (Mata et al., 2007). Cette interprétation irait de pair avec les résultats de Strough et Bruine de Bruin (2020). Dans leur étude, comparativement aux adultes jeunes, les adultes âgés rapportaient davantage s'appuyer sur leur expérience personnelle pour faire un choix. Les autrices ont formulé l'hypothèse que les adultes âgés s'aideraient préférentiellement de leur intelligence cristallisée (i.e., informations stockées en mémoire servant de socle à l'établissement d'autres compétences) plutôt que de leur intelligence fluide (i.e., capacité à raisonner indépendamment de connaissances antérieures). En effet, alors que la première serait préservée voire améliorée avec l'âge, la seconde perdrait en efficacité. Tant que la différence d'intégrité entre les deux resterait raisonnable, les compétences cristallisées compenseraient les compétences fluides.

Toutefois, il arriverait un âge où la compensation deviendrait inefficace, généralement après 70 voire 80 ans en fonction des études. Spreng et Turner (2019) parlent même d'une inversion dans les capacités cognitives : celles considérées comme fluides prédominant la première moitié de vie, et celles considérées comme cristallisées prédominant la seconde moitié. D'ailleurs, le vieillissement s'accompagnerait d'une connectivité renforcée entre les régions préfrontales latérales, impliquées dans le contrôle cognitif, et le réseau du mode par défaut, impliqué dans le traitement sémantique. Corroborant encore cette même idée, la diminution de la vitesse de traitement rendrait la prise de décision plus lente, particulièrement sous ambiguïté. Toutefois, avec des contraintes temporelles plus souples, et avec l'appui de l'expérience, l'effet du vieillissement sur la DMC se verrait affaibli (Tannou et al., 2020). Toutes ces découvertes convergent vers l'idée que l'accumulation de connaissances permettraient de guider les décisions des adultes âgés (Korkki et al., 2020; Mata et al., 2007; Strough & Bruine de Bruin, 2020). Les stratégies basées sur l'intelligence cristallisée pourraient d'ailleurs s'avérer bénéfique dans certains cas. Par exemple, les adultes âgés, s'appuyant surtout sur leurs connaissances médicales, seraient notamment en mesure de prendre plus rapidement des décisions concernant le traitement d'un cancer contrairement aux jeunes adultes, s'appuyant préférentiellement sur leurs ressources cognitives (e.g., la MT, utilisée dans la comparaison des traitements), et qui tendraient à atermoyer leur décision (Meyer et al., 2007).

D'autres études ont révélé une implication différente des fonctions cognitives en fonction de l'âge. Par exemple, les performances des adultes âgés à l'IGT étaient plutôt associées à la mémoire immédiate, mesurée à l'aide de trois tâches de rappel évaluant la mémoire à long terme. En revanche, celles des adultes jeunes étaient plutôt associées à la mémoire de travail auditive, mesurée avec une tâche de calcul mental (Fein et al., 2007). Toujours à l'IGT, les adultes âgés seraient davantage influencés par les conséquences récentes

de leurs choix, avec un poids équivalent des gains et des pertes sur la décision, plutôt que par la recherche du gain maximum attendu (pour une revue de la littérature voir Liebherr et al., 2017; Wood et al., 2005). Les processus attentionnels pourraient d'ailleurs être en cause. Schmicker et al. (2019) ont mis en évidence que de manière spontanée, les adultes âgés auraient tendance à sélectionner plus souvent le tas B que les adultes jeunes, tas qui entraîne de hauts gains mais aussi de rares et considérables pertes. Or, après un entraînement attentionnel, cette propension se réduirait, améliorant ainsi les performances globales à l'IGT. De façon intéressante, il s'agirait plutôt de l'effet d'interaction entre l'âge et la détérioration des capacités cognitives qui impacterait la DMC (Brand & Markowitsch, 2010). En d'autres termes, les adultes âgés manifesteraient une modification dans leur manière de prendre des décisions en fonction de l'état de leurs capacités cognitives. Par exemple, les adultes âgés avec des fonctions exécutives préservées montreraient de bonnes performances à la GDT, alors que ceux avec un déclin exécutif montreraient des performances déficitaires (Brand & Schiebener, 2013). Dans des situations décisionnelles complexes, le niveau d'éducation ainsi que les capacités cognitives, dont les fonctions exécutives et les habiletés numériques, modèreraient en effet la qualité de la décision (Delazer et al., 2013; Hess et al., 2012; Pertl et al., 2017).

Malgré ces différentes observations, aucune étude ne semble avoir examiné de façon systématique les liens entre les différentes fonctions cognitives et la DMC chez les adultes âgés. Boyle et al. (2012), arguant que le déclin cognitif prédirait celui de la DMC, ont par exemple évalué les fonctions cognitives (e.g., mémoire épisodique, MT, suppression d'interférence) dans un contexte clinique, sans que cette évaluation ne soit conçue pour répondre à leurs hypothèses, et surtout, ont considéré les fonctions cognitives comme un tout indifférencié (i.e., un score composite a été calculé pour représenter la cognition globale). Cette dernière remarque peut s'appliquer également à Brand et Schiebener (2013) qui n'ont

pas isolé les différentes fonctions exécutives (e.g., une même tâche évaluant la catégorisation, le traitement de feedback et la flexibilité mentale, aboutissant à un seul score global) et n'ont donc pas examiné leur effet distinctif sur la DMC. Nguyen et al. (2013) ont par exemple utilisé un questionnaire proposant des situations de vie quotidienne hypothétiques (i.e., *Iowa Scales of Personality Change*) permettant d'établir un profil de « personnalité exécutive ». Leur objectif était d'évaluer les relations entre certaines caractéristiques personnelles des participants et leurs performances à l'IGT. Les auteurs supposaient notamment que les caractéristiques personnelles reflétant de faibles fonctions exécutives seraient associées à un déficit de la DMC chez les adultes âgés. Bien que la « personnalité exécutive » regroupait un ensemble de traits spécifiques (e.g., manque de planification ou encore impulsivité), tous étaient représentés sous le label d'un seul score global. En ce sens, même si les auteurs ont effectivement obtenu des résultats supportant leur hypothèse de départ, ils n'apportent pas un éclairage détaillé sur les fonctions exécutives qui précisément expliqueraient les baisses de performances à l'IGT. Rönnlund et al. (2019), quant à eux, ont montré que la DMC des adultes âgés était médiée par leur propension au fatalisme (i.e., *present fatalistic attitude*) associée à leur mémoire de travail. L'objectif principal des auteurs visait à questionner les liens entre différentes dimensions de la perspective de temps (i.e., la façon de considérer le passé, le présent et le futur), la MT, car censée jouer un rôle important dans les décisions notamment complexes, et la DMC au cours du vieillissement. Ainsi, si cette étude considérait l'impact d'une fonction cognitive spécifique, à savoir la MT (i.e., plus particulièrement la mise à jour en MT puisque évaluée avec une tâche de N-back) sur la DMC, elle s'intéressait toutefois à son effet à travers une autre caractéristique, celle de la perspective de temps. Dans leur revue de la littérature, Liebherr et al. (2017) déplorent notamment le manque d'études longitudinales qui permettraient de préciser les liens entre fonctions exécutives et DMC au cours du vieillissement. En résumé, aucune étude n'a tenté d'examiner de façon systématique

l'impact des modifications liées au vieillissement touchant les processus inhibiteurs, la flexibilité mentale, la mise à jour, la MT ou encore la mémoire épisodique sur la DMC des adultes âgés.

Au vu de ces résultats, les modifications cognitives caractérisant le vieillissement semblent bien influencer la qualité des décisions, ou à défaut, les stratégies appelées pour réaliser un choix. Toutefois, d'après les modèles théoriques en neuropsychologie et psychologie cognitive de la prise de décision, des paramètres affectifs et émotionnels pèseraient également dans le processus décisionnel. Puisque des modifications s'opèreraient les concernant au cours du vieillissement, nous pouvons nous demander quel impact auront ces modifications sur la DMC des adultes âgés. Cette question sera abordé dans la chapitre suivant.

3.3 Les modifications émotionnelles impliquées dans les modifications de la DMC

Comme mentionné dans le sous-chapitre 2, les facteurs affectifs et émotionnels joueraient également un rôle important dans la prise de décision. Ainsi, certaines études se sont intéressées à l'impact des émotions sur la DMC au cours du vieillissement. Ces recherches ont généralement ciblé les situations d'ambiguïté, supposément plus sensibles à l'humeur du décideur (McCarrey et al., 2010).

Denburg et al. (2007), déjà cités précédemment, ont ainsi décrit chez des adultes âgés haut performeurs à l'IGT de plus amples réponses électrodermales avant la sélection des tas désavantageux qu'avantageux. A l'inverse, les bas performeurs produisaient des réponses

électrodermales similaires avant la sélection de n'importe quel tas. En d'autres termes, la réussite à l'IGT chez les adultes âgés était conditionnée par la présence de réponses somatiques, probablement liées à une émotion de stress, devant les tas pouvant entraîner de fortes pertes. Ces résultats corroborent d'ailleurs ceux de Cano-López et al. (2016) qui avaient montré chez des jeunes hommes un accroissement du nombre de décisions désavantageuses en situation d'ambiguïté en lien avec un haut niveau de stress.

Utilisant également l'IGT, Wood et al. (2005) ont montré que les adultes âgés avaient tendance à rapidement oublier les grandes pertes qui ne précédaient pas immédiatement la décision. Autrement dit, les adultes âgés auraient tendance à davantage sélectionner un tas ayant pourtant entraîné de fortes pertes plusieurs coups en arrière comparativement aux adultes jeunes. Un biais de positivité a par ailleurs été observé au cours du vieillissement, supposant qu'une plus grande attention serait portée sur les informations positives que négatives, et qu'en conséquence, chez l'adulte âgé, les informations positives seraient mieux encodées et mieux rappelées que les informations négatives (McCarrey et al., 2010). Ce concept pourrait ainsi apporter un éclairage aux résultats décrits par Wood et al. (2005). En effet, si les informations positives captent davantage le focus attentionnel des adultes âgés que les informations négatives, il se pourrait qu'ils encodent moins bien la nature des tas responsables de fortes pertes que de grands gains. Or, il s'agit justement des mêmes tas qui engendrent de larges pertes et de larges gains. Dans ces conditions, les adultes âgés retiendraient davantage des tas désavantageux des gains acquis par le passé que les pertes subies. Ils sélectionneraient alors à nouveau ces tas plus volontiers que les jeunes adultes, qui eux, resteraient plus prudents. Ce biais de positivité a d'ailleurs été étudié dans des contextes décisionnels en lien avec la santé. Löckenhoff et Carstensen (2007) ont ainsi montré que si les adultes jeunes présentaient une distribution des ressources attentionnelles homogène entre les informations positives (e.g., médecin avec de très bonnes compétences interpersonnelles) et

négatives (e.g., médecin qui suit très peu de formations continues), alors que les adultes âgés focalisaient davantage leur attention sur les informations positives (pour une revue de la littérature voir Strough & Bruine de Bruin, 2020). Les autrices suggèrent que ce biais résulterait de deux modifications liées à l'âge : 1) une amélioration des capacités à réguler ses émotions, et 2) une diminution du contrôle cognitif. Cette meilleure régulation émotionnelle permettrait d'ailleurs aux adultes âgés de ressentir davantage de sérénité concernant leurs choix (i.e., *choice* supportive) comparativement aux jeunes adultes (Mather & Johnson, 2000).

Rönnlund et al. (2019), quant à eux, ont montré que l'effet de l'âge sur la prise de décision était médié par les performances en mémoire de travail jointement à la propension au fatalisme. Cette dernière attitude réduirait la motivation, impactant ainsi négativement l'efficacité cognitive et les approches proactives, et plus particulièrement dans les tâches complexes. Les changements motivationnels liés à l'âge pourraient effectivement se répercuter sur les efforts déployés pour prendre une décision (Strough et al., 2015).

Que les répercussions soient bénéfiques ou péjoratives à la prise de décision, les modifications dans le traitement émotionnel au cours du vieillissement apparaissent comme impactantes. Bien qu'il demeure essentiel de garder à l'esprit cette influence des facteurs affectivo-émotionnels, ce travail de thèse, centré sur l'étude de l'impact des modifications cognitives sur la prise de décision chez l'adulte âgé, ne l'examinera pas. Toutefois, comme expliqué plus en détail dans le prochain chapitre, elle a été prise en compte à l'aide de questionnaires sur l'humeur.

Le sous-chapitre précédent a dressé un état des lieux des connaissances concernant les modifications de la DMC au cours du vieillissement. Néanmoins un certain nombre d'éléments théoriques bénéficieraient encore d'un éclairage supplémentaire afin de mieux comprendre la construction des hypothèses théoriques fondatrices de ce travail de thèse. Ainsi, le sous-chapitre suivant s'appliquera à décrire les différents modèles théoriques choisis comme référence, qu'ils concernent la prise de décision, les fonctions exécutives, la mémoire de travail ou encore la mémoire épisodique.

4 Les modèles cognitifs théoriques de référence

4.1 Le modèle de prise de décision de référence

Ce travail de thèse a focalisé ses recherches sur l'impact des modifications cognitives sur la DMC au cours du vieillissement. Par ailleurs, les répercussions sur les deux types de prises de décision (i.e., sous risque et sous ambiguïté) ne s'exprimant a priori pas de la même façon, chacune des deux modalités a été analysée.

Sous ces conditions, le modèle théorique de Brand et collaborateurs (2006; 2015) nous est apparu comme particulièrement adapté. En effet, ce dernier prend tout d'abord en compte la dissociation entre prises de décision sous risque et sous ambiguïté. De plus, ils accordent une place importante aux processus cognitifs tels que les fonctions exécutives, la mémoire de travail, la mémoire à long terme ou encore les habiletés numériques, notamment en situation de risque. Pour plus de détails sur ce modèle, nous vous invitons à vous référer au sous-chapitre 2 (voir p. 56), dans la section dédiée aux modèles à double voie de la prise de décision.

4.2 Les fonctions exécutives selon Miyake et al. (2000) : un système non unitaire

Les nombreux modèles ayant tenté de définir les fonctions exécutives (FE) se sont montrés incapables de s'accorder sur les processus englobés sous ce terme. Puisque le nombre et la nature des fonctions considérées comme partie prenante de cet ensemble ne semblent pas faire consensus, Miyake et al. (2000) ont décidé de se concentrer sur les trois d'entre elles les plus fréquemment citées dans la littérature : la flexibilité mentale, la mise à jour en mémoire de travail, et l'inhibition. Pour rappel, la flexibilité mentale correspond à la capacité à réaliser des aller-retours entre deux activités mentales. La mise à jour, quant à elle, correspond à la capacité à gérer de nouvelles informations, à identifier celles qui sont pertinentes puis à remplacer les anciennes informations non pertinentes par celles-ci. Enfin, l'inhibition correspond à la capacité à supprimer des réponses dominantes, automatiques (Friedman et al., 2008). D'après les auteurs, ces trois fonctions partageraient en plus les avantages d'être relativement spécifiques (i.e., circonscrites) et basiques (i.e., en opposition à des processus plus complexes tels que la planification ou la résolution de problème). Pour finir, un certain nombre de tâches simples d'application, ciblant ces trois fonctions phares, seraient à disposition dans de nombreux articles empiriques.

Pendant longtemps envisagé comme unitaire, le système exécutif correspondrait plutôt à un ensemble de compétences, certes liées les unes aux autres, mais également distinctes. Cette dernière approche, intéressante car probablement plus proche de la réalité, soulève toutefois un écueil. En effet, les considérer comme interdépendantes annihile toute possibilité d'évaluer chacune d'entre elles isolément. Puisque impliquant nécessairement d'autres fonctions cognitives non pertinentes au regard de l'objectif évaluatif, les tâches pures n'existeraient à l'évidence pas. Miyake et al. (2000) proposent alors de tester chacune des

fonctions d'intérêt (i.e., inhibition, flexibilité et mise à jour) à l'aide de trois tâches. Grâce à une analyse en variable latente, il serait ensuite possible d'extraire statistiquement, à partir des résultats aux trois exercices, une représentation pure de chaque processus.

Pour l'évaluation de l'inhibition, les auteurs proposent une tâche d'antisaccade, une tâche de stop signal, ainsi qu'une tâche de Stroop. Pour l'évaluation de la flexibilité mentale, sont proposées une tâche d'alternance jugement de parité (i.e., chiffre pair vs. impair) jugement de lettre (i.e., consonne vs. voyelle), une tâche d'alternance couleur/forme et une tâche d'alternance de catégories sémantiques. Enfin, pour l'évaluation de la mise à jour sont suggérées une tâche de keep-track, une tâche d'empan de mise à jour ainsi qu'une tâche de spatial 2-back (Friedman et al., 2008).

Cette approche envisageant l'interdépendance des FE nous a paru particulièrement pertinente, car probablement plus révélatrice des processus réels. Par ailleurs, elle permettait de sélectionner les fonctions les plus consensuelles qui, en plus, n'étaient qu'au nombre de 3. Nous avons pris quelques libertés sur la méthode proposée par Miyake et al. (2000) et Friedman et al. (2008) afin de l'adapter à des patients atteints de la maladie d'Alzheimer qui constituent une population d'intérêt de ce travail de recherche. Etant décrits comme fatigables, nous n'avons pas souhaité exposer les patients à des tâches trop complexes. Ainsi, nous avons pris la décision de réduire le nombre de tâches par fonction à deux, au lieu de trois. Ensuite, en nous appuyant sur notre expérience clinique, ainsi qu'en nous inspirant d'études spécifiquement menées auprès de patients atteints de la maladie d'Alzheimer, nous avons adapté la difficulté des tâches retenues par rapport à celles utilisées par Friedman et al. (2008). Les tâches choisies sont décrites en détail dans la méthode de l'Étude 1 (voir p. 122).

4.3 La mémoire de travail selon le modèle *Time Based Resource Sharing* de (Barrouillet et al., 2004)

Selon le modèle *Time Based Resource Sharing* (TBRS), la mémoire de travail (MT) se composerait de deux processus, le maintien et le traitement de l'information, reposant tous deux sur les capacités attentionnelles (Barrouillet et al., 2004, 2011; Barrouillet & Camos, 2012; Camos & Barrouillet, 2014). Puisque dépendants de la même ressource, il ne peuvent pas s'opérer en parallèle. Le focus attentionnel se déplacerait ainsi de l'un à l'autre, permettant uniquement un fonctionnement séquentiel au cours du temps (voir Figure 4).

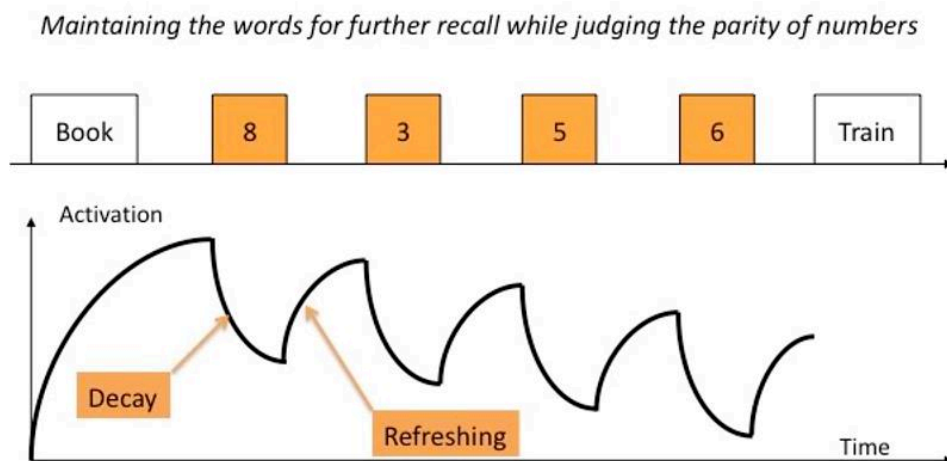


Figure 4. Schéma de l'évolution des traces mnésiques au cours d'une tâche d'empans complexes selon le modèle TBRS

En maintien, le focus attentionnel permettrait l'activation et la réactivation des traces mnésiques, ces dernières étant vulnérables à l'effet du temps. En manipulation, il permettrait d'engager la construction, la sélection et la transformation de représentations au service de l'accomplissement d'un but initial. Les ressources attentionnelles étant limitées, le focus ne

peut donc se fixer que sur l'un des deux processus à la fois : les auteurs parlent d'un goulet d'étranglement. Dans cette perspective, les traces mnésiques en maintien tendraient à décliner dès que l'attention se porterait sur la manipulation. Afin de lutter contre ce déclin, les traces seraient rafraichies par un retour du focus attentionnel. En d'autres termes, le focus attentionnel va alterner rapidement et incessamment entre les deux processus (Barrouillet et al., 2011).

Ce modèle remet ainsi en question celui de Baddeley qui considère le maintien et la manipulation comme deux processus dissociés, le premier dépendant du calepin visuo-spatial et de la boucle phonologique, et le deuxième de l'administrateur central (Barrouillet et al., 2004). Pour montrer la dépendance des deux processus, Barrouillet et al. (2004) ont créé des tâches d'empan dits complexes, impliquant une double tâche, de maintien et de manipulation. Les participants devaient donc retenir puis restituer dans l'ordre une suite de lettres (i.e., tâche de maintien), toutefois entre chaque lettre, un exercice interférent (e.g., répétition de syllabes, calcul mental simple) devait être exécuté (i.e., tâche de manipulation). Malgré le fait que les deux tâches soient distinctes, les auteurs ont montré qu'augmenter la complexité comme réduire le délai entre deux items de l'exercice interférent se répercutait sur les performances de maintien à la tâche primaire. En d'autres termes, plus l'exercice interférent était cognitivement coûteux, ou moins il y avait de temps pour le rafraichissement des traces mnésiques, moins les performances à la tâche de maintien étaient bonnes. Barrouillet et al. (2011) en concluent donc que les deux composants de la MT s'appuient sur la même ressource limitée, à savoir, l'attention.

Ainsi, les fondements du TBRS reposeraient sur 4 principes : 1) maintien et traitement de l'information reposent sur des capacités attentionnelles ; 2) dès que le focus attentionnel se déplace de l'information à maintenir, sa trace mnésique décline relativement au temps où l'attention en a été dégagée ; 3) le rafraichissement des traces est possible grâce à la

refocalisation attentionnelle, mais un goulet d'étranglement la contraint : une seule information est rafraîchie à la fois ; 4) la focalisation attentionnelle se déplace de façon rapide et constante entre les processus de maintien et de traitement (Barrouillet et al., 2004).

Toujours dans un souci d'adaptation de notre protocole aux capacités des patients atteints de la maladie d'Alzheimer inclus dans nos études, nous avons légèrement modifié les tâches décrites par Barrouillet et al. (2004). Nous avons notamment ajouté des niveaux de plus faible complexité, ainsi qu'établi des critères d'arrêts afin de sortir de la tâche avant la fin si les patients se trouvaient en grande difficulté.

4.4 La mémoire épisodique

La mémoire épisodique, tout comme la mémoire sémantique, appartiendrait aux systèmes mnésiques dits déclaratifs à long terme. Alors que la mémoire sémantique s'attacherait à retenir de façon organisée les concepts et les connaissances sur le monde, ainsi que leurs relations, la mémoire épisodique aurait la spécificité de stocker des informations vécues situées dans le temps et l'espace (i.e., des épisodes) (Tulving, 1984, 2001). Ces deux types de mémoires fonctionneraient selon trois étapes, généralement appelées encodage, stockage et récupération. La mémoire sémantique tenterait donc de répondre à la question « Qu'est-ce que X ? », quand la mémoire épisodique s'emploierait à répondre à la question « Qu'ai-je fait au moment M et à l'endroit E ? ». En d'autres termes, cette dernière permettrait de mémoriser le « quoi », le « quand » et le « où », tout en les rassemblant dans une trace mnésique cohérente (Tulving, 1984).

La récupération d'un souvenir en mémoire épisodique pourrait s'effectuer de deux manières : par la recollection, ou par le sentiment de familiarité. Les souvenirs de type recollection seraient caractérisés par leur précision et leur aptitude à relater des détails en lien notamment avec la situation d'encodage. En revanche, le sentiment de familiarité serait dépourvu de détail sur le cadre spatio-temporel (Yonelinas, 2002). La recollection, principalement sous-tendue par l'hippocampe et les lobes frontaux, ferait référence à un processus lent et contrôlé. La familiarité, reposant sur des régions temporales et frontales, correspondrait plutôt à un processus rapide et automatique (Yonelinas, 2002). Elle servirait également, et essentiellement, à la récupération d'informations en mémoire sémantique (Tulving, 1984, 1987, 2001).

Cette distinction entre recollection et familiarité nous est apparue particulièrement intéressante, sachant notamment qu'elles ne subiraient pas l'effet du vieillissement de la même façon. Il nous a ainsi paru pertinent de nous appuyer sur cette conception de la mémoire épisodique afin d'examiner plus finement l'impact de ses modifications au cours du vieillissement sur la DMC.

5 Hypothèses théoriques

Comme exposé dans les sous-chapitres précédents, la DMC connaît certaines modifications au cours du vieillissement, avec une évolution des stratégies marquée par un recours à des processus cognitifs plus simples, ou par un appui plus prononcé sur les connaissances empiriques. Pour autant, nous n'avons pas su trouver d'étude ayant tenté de mettre en lien de manière systématique les différents processus cognitifs connus pour être altérés au cours du vieillissement avec la DMC.

Le principal objectif de cette thèse visait donc à mieux comprendre les modifications de la prise de décision en lien avec le vieillissement, particulièrement en ce qui concerne la dissociation généralement observée entre les prises de décision sous risque et sous ambiguïté. Le second objectif de cette thèse visait ensuite à examiner les liens entre les modifications de la DMC chez les adultes âgés et celles caractérisant les processus cognitifs censés intervenir dans le processus décisionnel d'après Brand et collaborateurs (2006, 2015), à savoir : les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la mémoire épisodique. Afin d'orienter plus finement nos recherches, nous nous sommes appuyées sur différents modèles théoriques spécifiques à chacun de ces processus. En ce qui concerne les FE, nous avons suivi les recommandations de Miyake et al. (2000) et avons donc focalisé nos analyses sur la flexibilité mentale, l'inhibition et la mise à jour en MT. Concernant la MT plus généralement, nous nous sommes inscrites dans la perspective issue du modèle TBRs, et avons examiné les processus de maintien et de manipulation de l'information. Enfin, pour ce qui est de la mémoire épisodique, nous avons étudié la recollection et la familiarité.

En ce qui concerne la DMC, les deux types de prises de décisions (i.e., sous ambiguïté et sous risque) n'étant pas nécessairement affectées de la même façon au cours du vieillissement, il paraissait naturel de les considérer toutes les deux. Par ailleurs, la DMC s'illustrant comme un élément déterminant de la préservation de l'autonomie, il nous a semblé essentiel que la façon d'évaluer cette compétence reflète au mieux ce à quoi les adultes âgés sont confrontés chaque jour. En espérant se rapprocher de situations de la vie réelle, nous avons conçu des tâches basées sur des situations inspirées de la vie quotidienne : l'une d'entre elles a confronté les participants à des décisions sous ambiguïté tandis que l'autre les a exposé à des décisions sous risque. Puisque la plupart des études examinant la prise de décision sous ambiguïté ont recours à l'IGT, cette tâche a été également utilisée, nous permettant ainsi de comparer nos résultats à ceux de travaux antérieurs.

A la lumière de toutes les informations dépeintes au long de ce premier chapitre, nous avons formulé plusieurs hypothèses. Tout d'abord, puisqu'un consensus semble émerger en ce qui concerne la prise de décision sous ambiguïté, nous avons supposé que l'effet du vieillissement sera plus important dans ce contexte qu'en contexte de risque.

Ensuite, bien que notre tâche de scénarios ne puisse pas être considérée comme écologique à proprement parler, nous avons supposé que le comportement des participants sera différent dans cette dernière et dans la tâche de paris représentée par l'IGT. La tâche de scénarios faisant intervenir un ensemble particulièrement complexes d'informations (e.g., pourcentages de certitude, cadre positif ou négatif, éléments émotionnellement pertinents/compétents ou non), nous supposons que l'effet de l'âge y sera d'autant plus important.

Par ailleurs, conformément au modèle STAC, nous avons prédit de plus forts liens entre les fonctions cognitives et la prise de décision chez les adultes âgés que les adultes jeunes. Parmi les FE, l'inhibition devrait être particulièrement impliquée, puisque sa dégradation au cours du vieillissement semble particulièrement rapportée dans la littérature et qu'elle risque de se répercuter sur la capacité à cerner les informations pertinentes à la décision.

En ce qui concerne la MT, puisque les adultes âgés semblent uniquement en difficulté pour les tâches avec un niveau de traitement complexe, nous avons supposé que le maintien sera relativement préservé alors que la manipulation d'informations sera déficitaire, se répercutant ainsi plus fortement sur la DMC des adultes âgés.

Pour ce qui est de la mémoire épisodique, puisque le processus de recollection paraît davantage vulnérable à l'effet du vieillissement que celui de familiarité, nous avons supposé qu'il sera également plus impliqué dans les modifications ayant trait à la DMC.

Enfin, puisque la prise de décision sous ambiguïté ferait uniquement appel à la voie intuitive, basée sur les émotions, et que la prise de décisions sous risque impliquerait en plus la voie

réflexive, basée sur les fonctions cognitives, nous avons supposé que les régressions entre tous les indicateurs cognitifs et décisionnels seront plus prononcées en contexte de risque objectif.

Chapitre II.

Implication des fonctions exécutives et de la mémoire de travail sur la prise de décision au cours du vieillissement : les apports empiriques

1 Etude 1 – Lien entre DMC, fonctions exécutives et mémoire de travail au cours du vieillissement

Article 1 : Gaubert, F., Borg, C., Roux, J.C. & Chainay, H. (under review). Decision-making and ageing: everyday life situations under risk and under ambiguity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*.

1.1 Préambule

Dans cette première étude, les liens que la DMC entretient avec les fonctions exécutives (FE) et la mémoire de travail (MT) au cours du vieillissement ont été examinés. A cette fin, cinquante adultes âgés ($M = 71.8$, $ET = 5.7$) et 50 adultes jeunes ($M = 26.3$, $ET = 3.5$) ont été inclus. Chaque participant a réalisé trois sessions, évaluant respectivement les fonctions exécutives, la mémoire de travail et la prise de décision. Pour les fonctions exécutives, 6 tâches ont été proposées, à savoir 2 par fonction : pour la mise à jour en MT, une tâche de N-back et d'empans de mise à jour, pour l'inhibition, une tâche de Stroop et de Stop Signal, et enfin pour la flexibilité mentale, une tâche d'alternance catégorielle (i.e. « Cet item rentre-t-il dans une boîte à chaussures ? » vs. « Cet objet est-il créé par l'homme ? ») et une d'alternance entre jugement de parité (i.e. « ce chiffre est-il pair ? ») et jugement de lettre

(i.e. « cette lettre est-elle une consonne ? »). Pour la mémoire de travail, une tâche d'empans endroit et envers simple a d'abord été proposée, suivie de trois tâches d'empans complexes. Enfin, la DMC était évaluée à l'aide de l'IGT et d'une tâche comprenant des scénarios basés sur des situations de vie quotidienne, sous risque et sous ambiguïté.

Nous supposons ainsi que les performances des adultes âgés seraient plus déficitaires que celles des adultes jeunes pour toutes les tâches évaluant des fonctions cognitives (i.e. en précision et/ou en rapidité). Nous supposons également que les adultes âgés auraient de façon générale plus de difficulté à conserver une stratégie décisionnelle stable comparativement aux adultes jeunes, et ce, pour l'IGT comme pour la tâche de scénarios (sous risque et sous ambiguïté). Puisque les prises de décision en condition d'ambiguïté semblent plus vulnérables à l'effet du vieillissement que celles en condition de risque, nous prédisions plus de différences entre les performances des sujets âgés et jeunes pour les prises de décision sous ambiguïté. Enfin, nous pensons que les performances dans les tâches cognitives expliqueraient, au moins en partie, les performances décisionnelles et plus particulièrement sous risque. Nous pensons que les capacités d'inhibition et de manipulation en MT seraient plus impliquées que les autres processus cognitifs, comme nous pensons que les corrélations seraient plus importantes chez les sujets âgés.

Cette étude fait l'objet d'un article qui a été soumis pour une publication dans *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. Il sera inclus ci-dessous tel qu'il a été soumis à ce journal. Il comprend une introduction théorique, une description de la méthodologie et des résultats, puis une discussion de ces résultats. Se trouve en annexe de l'article, également ci-après, l'explication détaillée des tâches utilisées.

1.2 Contenu de l'article 1 : *Decision-making and ageing: everyday life situations under risk and under ambiguity*

Decision-making and ageing: everyday life situations under risk and under ambiguity

Fanny Gaubert*¹, Céline Borg^{1,2,3,4}, Jean-Christophe Roux⁵ and Hanna Chainay¹

¹ Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC), Université Lyon 2

² University Hospital of Saint-Etienne, Hôpital Nord, Saint-Etienne, France

³ Psychology Faculty, Catholic University of Lyon, France

⁴ Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, University of Grenoble Alpes, France

⁵ Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS), Ecole Nationale d'Ingénieurs Saint-Etienne (ENISE)

Abstract

Cognitive modifications over ageing can affect decision making competence (DMC). As it is a core ability in autonomy preservation, our study aims to investigate its changes in old adults and to determine if they are linked to the deterioration of executive functions and working memory. For this purpose, 50 young adults and 50 old adults were assessed with executive, working memory and DMC tasks. The latter comprised the Iowa Gambling task (IGT) and a scenarios task based on daily life-inspired situations, under risk and under ambiguity conditions. Results revealed lower performances in old adults compared to young adults for updating, inhibition and working memory tasks. The IGT failed to distinguish the two groups of age, but the scenarios task did it, as young adults were more risk and ambiguity seekers than old adults. Moreover, updating and inhibition capacities appeared to influence DMC.

Key words: *ageing; decision making; under risk; under ambiguity; IGT; daily-life; executive function; working memory*

INTRODUCTION

Decision-making during the ageing process: impairment to ability

The presence or absence of an impairment to the Decision-Making Competence (DMC) in healthy elderly subjects is still a matter of debate. DMC can be involved in two kinds of situations: under ambiguity or under risk. When the possible outcomes and their probability of occurrence are uncertain, the decision-making context is considered to be ambiguous. However, the decision is deemed to be at-risk when the decision-maker is able to estimate the probability of occurrence of all the possible outcomes (Brand et al., 2007; Levy et al., 2009). In normal ageing, DMC under risk appears to divide the scientific community, sometimes being described as similar to that of young adults (Dror et al., 1998; Zamarian et al., 2008) and sometimes as modified (Deakin et al., 2004). In the case of situations under ambiguity, by contrast, researchers agree on the presence of changes in DMC in late adulthood (Fein et al., 2007; Zamarian et al., 2008). To our knowledge, only one study has compared the ability to make decisions in the two situations with the same elderly participants (Zamarian et al., 2008). The authors reported no difference in performance between old and young adults on the Probability-Associated Gambling (PAG) task (i.e., decisions under risk), but found that the elderly group made more disadvantageous choices in the Iowa Gambling Task (IGT) (i.e., decisions under ambiguity).

Decision-making impairment during the ageing process: factors involved

Decisional strategies may vary across the life span (Johnson, 1990; Mata et al., 2007; Mata et al., 2015; Zamarian et al., 2008). Healthy elderly participants appear to rely on simpler strategies than young adults, thereby reducing cognitive load (Johnson, 1990; Mata et al., 2007, 2015), and to find it more difficult to keep to the same stable plan (Zamarian et al., 2008). When there is no choice other than to use complex strategies, elderly persons make more errors in their execution (Mata et al., 2015). This point is of particular interest in the present study, which aims to systematically investigate 1) DMC deficit in ageing, and 2) the links between this deficit and deficits in executive functions and working memory.

Executive functions and feedback processing seem to play an important role in the ability to take advantageous decisions in aging (Brand & Markowitsch, 2010). Under ambiguity, decisions seem to be based more on feedback (i.e., a factor that is dependent on both emotional processes and cognitive aptitudes). Under risk, cognitive functions seem to be involved in a more general way, starting with the executive functions and working memory (Labudda et al., 2008). Difficulties in adapting decisions to the context have also been reported by Deakin et al. (2004), with the elderly always betting similar amounts of money regardless of the probability of winning. The authors also reported that older adults spend longer deliberating than their younger counterparts. Based on Socioemotional Selectivity Theory

(SST), McCarrey et al. (2010) suggested that their main goal is well-being, meaning that elderly participants might avoid soliciting functions associated with a high cognitive load, which could be potentially problematic, and favour functions with a low cognitive load. As the deployment of functions which have become degraded with age can lead to failure and frustration, older adults might change their decision-making strategy, even if this modification gives rise to other choices. They might therefore rely more on their personal experience than on environmental information, that is to say, more on a heuristic strategy (i.e. effortless, fast, emotional etc.) than on an analytical strategy (i.e. slow, deliberative, controlled etc.). Deakin et al. (2004) used the Cambridge Gambling Task (CGT), which is a laboratory gambling task designed to assess decision-making under risk. We can assume that the heuristic strategy might not be appropriate for this situation, thus obliging participants to adopt an analytical approach. As older adults do not appear to want to mobilise this second kind of strategy, the observed lengthened deliberation time might reflect the associated difficulties.

Finally, modifications in the use of executive functions occur with age and these changes are very likely to impact DMC in late adulthood. Finucane et al. (2002) supported the idea that memorizing the relevant information would be one of the cornerstones of DMC. They showed that elderly participants were more inconsistent and made more errors than younger adults due to an incorrect

understanding of the situation. The findings of Fein et al. (2007) have corroborated this idea by revealing that disadvantageous choices were correlated with immediate memory capacity in older adults, and working memory capacity in younger adults (Finucane et al., 2007). Numerous studies have demonstrated modifications in memory function (i.e. working memory, episodic encoding and retrieval) in older adults at both the behavioural and neuronal levels. In particular, they suggest that to maintain the same level of performance as younger adults, older adults need to recruit more areas of the brain, most especially in contralateral regions and in the prefrontal cortex (Cabeza et al., 2004; Gutchess et al., 2005). Lee et al. (2008) studied DMC under risk and also found that, compared to younger adults, older adults activated contralateral prefrontal areas and overactivated the right insula. These different findings support the idea that memory and DMC impairment are closely linked.

In sum, ageing brings about modifications in cognition that affect DMC. However, these findings should be considered with caution in the light of studies that have revealed heterogeneous results among groups of elderly participants (Brand & Schiebener, 2013; Denburg et al., 2007; Hess et al., 2012). Indeed, greater age might not be responsible for decision-making impairment per se, but could be one element in a combination of responsible factors. If this is the case then individual characteristics would appear to play a major role.

Decision-making impairment during the ageing process: the results of interacting factors

The second question concerning DMC during the ageing process relates to the presence of a general decision-making deficit in late adulthood, that is to say, a deficit that affects all elderly participants. Brand and Schiebener (2013) refined their initial model (Brand & Markowitsch, 2010) by showing that the correlation between age and performances in the GDT was moderated not only by executive functions but also by logical thinking. Other authors have found that poor DMC was correlated with the combination of advanced age, poor cognitive abilities, and low level of education (Hess et al., 2012). It therefore seems that ageing does not systematically involve DMC impairment, but rather that decision-making deficits emerge when greater age is combined with other factors. These findings in the decision-making field seem to be consistent with the scaffolding theory of ageing and cognition (STAC) (Park & Reuter-Lorenz, 2009). This posits that secondary circuits are recruited to compensate for the structural modifications that the brain undergoes with ageing and to preserve cognitive performances at the highest possible level for as long as possible. These secondary neural networks mainly appear to involve the contralateral hemisphere and the prefrontal cortex (PFC), which appears to be the most versatile brain area. For instance, Rogalsky et al. (2012) found that older adults with bilateral vm-PFC activations achieved significantly better

performances in the IGT than older adults with only right vm-PFC activations. While cerebral changes appear to be dependent on the individual (i.e. genetic factors, chronic illnesses, etc.), so, too, does the deployment of the scaffolding framework (Park & Reuter-Lorenz, 2009). Some characteristics appear to enhance its efficiency, such as physical fitness or being accustomed to cognitive tasks, especially when they are challenging (i.e. new or very difficult). In other words, cognitive performances in late adulthood would be the result of a combination of structural degradation and the ability to build compensatory networks. Because the DMC seems to be dependent on different cognitive functions, it would be impacted by the combination of these two processes.

In sum, changes in DMC occur frequently in late adulthood and appear to have multiple causes. It seems that several cognitive functions, such as working memory or executive functions, are involved in the elderly's ability to make decisions. However, to our knowledge, no study has deliberately and precisely examined the links between DMC under risk and under ambiguity and cognitive competences in ageing. In addition, most studies have used the IGT or other laboratory tasks that are largely unrelated to everyday life to investigate the DMC. Thus, the present study aims to adopt a systematic approach in order to investigate the DMC of older adults under risk and under ambiguity by means of tasks which are, unlike the IGT, based on everyday life situations and also to examine the relationship

between DMC and the efficiency of other cognitive functions. Even though we cannot consider our experimental tasks to be ecological, we hope that the participants' responses will be closer to real-life than responses collected with a gambling task. Some behavioural differences may emerge between the two kinds of tasks, but we cannot as yet say what form they might take. Our first prediction is that, with ageing, DMC under ambiguity will be more impaired than DMC under risk. Our study will also examine how executive functions (updating, mental set shifting, and the inhibition process) and working memory are correlated with DMC in older compared to younger adults. We predict that, in line with the STAC, the regressions will be stronger for the elderly than for their younger counterparts, and that the correlations will be proportional to the extent of the cognitive impairment. Among the executive functions, the inhibitory process should be particularly highly involved, as it is used to mask non-pertinent information and is known to become degraded with ageing. Concerning working memory, we know of no findings that provide us with a possible basis for making precise predictions about the involvement of maintenance or manipulation process impairment in DMC. However, as the hippocampus appears to be frequently atrophied in late adulthood, we can assume that maintenance will be impaired in elderly adults. While prefrontal activations compensate for the deficit, we might, at the least, observe manipulation impairments in older adults sooner than in younger adults, probably due to overactivation in prefrontal regions.

METHOD

Participants

Two groups of participants were included in the study, a group of 50 older adults (29 women and 21 men) and a group of 50 younger adults (34 women and 16 men). The elderly adults were aged between 62 and 87 years ($M = 71.8$, $SD = 5.7$) and the young adults between 18 and 32 years ($M = 26.3$, $SD = 3.5$). The proportions of men and women were comparable in the two groups, $\chi^2 (df = 1, N = 100) = 1.07$, $p = .30$. Education level was assessed on a 5-point scale (i.e. 1: no education, 2: primary school, 3: first half of secondary school, 4: secondary school leaving certificate or equivalent, 5: higher education). The young adults ($M = 4.98$, $SD = 0.14$) had a higher educational level than the elderly adults ($M = 4.16$, $SD = 0.96$) $\chi^2 (df = 1, N = 100) = 31.84$, $p < .001$ (there was no participant with education level 1).

Neuropsychological examination

The elderly participants underwent a brief neuropsychological assessment consisting of the Mini Mental State Examination (MMSE), which indicated preserved global mental status ($M = 29.2$, $SD = 0.97$) (Folstein et al., 1975; French version: Hugonot et al., 2008), and the brief frontal efficiency battery (*Batterie Rapide d'Efficiency Frontale*, BREF) ($M = 17.4$, $SD = 0.73$) (Dubois & Pillon, 2000). For the purposes of another study, they also completed the Revised Observed Tasks of Daily Living (OTDL-R) ($M = 41.1$, $SD = 2.2$) (Diehl et al., 2005) and Quality of Life in Alzheimer's

Disease (QoL-AD) ($M = 38$, $SD = 5.69$) (Logsdon et al., 1999) assessments. The OTDL-R assesses the level of autonomy using objects from everyday life (e.g., telephone, medicines, etc.). Due to time constraints, we had to shorten this test and used only three items from the healthcare field, one from the communications field, and two from the finance field. The QoL-AD assesses quality of life.

All the participants completed the South Oaks Gambling Screen (SOGS) (Lesieur & Blume, 1987). This is an instrument used to identify pathological gamblers and allowed us to exclude these participants from the study. None of them had a pathological gambling profile. The older adults completed the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) and the younger adults completed the Spielberg State-Trait Anxiety Inventory. In addition, the participants' mood was assessed with the Brief Mood Introspection Scale (BMIS) (Mayer & Gaschke, 1988).

Experimental tasks

All the tasks apart from the Stroop tests were programmed and run with E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools Inc.) on a Dell laptop with azerty keyboard.

Each task began with instructions, an example to illustrate them, and practice trials. The instructions were written on the screen and were also always given verbally by the experimenter. Before starting the experiment, the participants were asked to explain what they had understood in their own words.

This study used many tasks to assess executive functions, working memory and decision making. As a detailed description would be very long, we provide only brief explanations here. However, all the details are provided in the appendix section.

Executive function assessment

To assess executive functions (EF), we used the classification proposed by Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter and Wager (2000) as a basis. According to these authors, the executive system is not unitary and its various components are not completely independent. Their assessment of EF focuses on updating, mental set shifting and inhibition functions, and they suggest assessing each function with three different tasks. To simplify our protocol for the present study, which takes several hours of testing, we chose to reduce the number of tasks from 3 to 2 for each function.

Updating process

Letter memory (*Lettre à jour*): updating span task during which participants had to remember the last two letters of sets of consonants containing between 2 and 5 items.

N-back: A 3-level N-back ($N = 1, 2$ and 3) task was administered during which participants had to compare the consonant displayed on the screen with the consonant that had appeared N steps earlier, depending on the level.

Mental set shifting

The following two tasks were created based on the study by Friedman et al. (2008).

Number-Letter: in this task, the participants had to alternate between a parity decision and a vowel/consonant decision depending on the location on the screen (i.e., at the top or at the bottom) of a number/letter pairing (e.g., 7G).

Category Switch: the participants had to classify words into one of two categories (i.e. “does the target word fit into a shoebox?” vs “is the target word made by humans?”) depending on a visual cue (i.e. drawing of a shoebox vs hand).

Inhibition

Stop Signal: during a learning phase, the participants had to indicate the location of a pink triangle (i.e., on the left or right) as quickly as possible. During the test phase, the same instruction was given, with the difference that participants had to withhold their answer when they heard a beep. The Stop Signal Reaction Time was calculated as in the horse-race model.

A **Stroop test** was used to assess interference suppression. We used the Victoria Stroop version (Bayard et al., 2009) for the elderly control adults and the standard test (Golden, 1975) for the young adults.

Working memory tasks

To assess working memory, we used the Time-Based Resource Sharing (TBRS) model (Camos & Barrouillet, 2014). This functional model assumes that the maintenance and processing components of working memory are both dependent on the same limited resource, namely attention, which moves from

one to the other quickly and continuously. When the attentional focus is on the processing component, the memory trace of the information to be maintained is thought to be degraded. However, to avoid decay, it is necessary to refresh the information by refocusing attention on this information (Barrouillet et al., 2004).

In order to study these two components of working memory, we programmed three complex span tasks drawn from the protocol used by Barrouillet et al. (2004). In all the tasks, the participants had to remember consonant sets. The three tasks shared the same design and differed only in the processing phase. This took the form of an interfering subtask displayed between each letter to be remembered. In the first complex span task, the participants had to repeat “baba” syllable sets, in the second they had to perform a reading operation task (e.g., $8/+1/9/-2/7$...) and in the last one, they had to perform a continuous operation task (e.g., $8/+1/response/-2/response...$).

Before the participants performed the three complex span tasks, they were asked to complete forward and backward digit span tasks. Both were composed of 16 spans, with the forward spans being between 2 and 9 digits long and the backward spans between 2 and 8 digits long. The task was stopped when the participant failed twice on the same span length.

Decision-making tasks

Iowa Gambling Task (Bechara et al., 2000)

The participants performed the traditional IGT (Bechara et al., 2000), which

requires them to maximize an initial amount of money by selecting decks of cards. Each selection causes them to lose or gain money. Two decks are considered advantageous and two disadvantageous (for more details, see the appendix).

Experimental task based on everyday life situations

The experimental task consists of two subtasks, one assessing decisions under ambiguity, and the other assessing decisions under risk. It is based on two protocols used in two different studies: Lauriola and Levin (2001), and Lauriola et al. (2007).

Each subtask consists of 36 short scenarios based on everyday life situations (see Figure 5 for examples). For each trial, the context is described in two or three sentences in the top part of the screen. Below, two boxes labelled with the number 1 (i.e. on the left-hand side) or 2 (i.e. on the right-hand side) propose two possible options. The participants are instructed to read all the information and to select their preferred option by pressing the 1 key or the 2 key. The context and the options remain continuously visible. The next trial appears once the participants have pressed one of the two keys (i.e., 1 or 2). In the under-risk condition, the participants are required to choose between one safe option (100% probability of occurrence) and a risky one (x% likelihood of occurrence). Half the scenarios involve a loss vs a smaller loss, or a gain vs a bigger gain. In the under-ambiguity condition, the 36 scenarios consist of the same 4 stories

repeated with 9 different probabilities. The participants are required to choose between an unambiguous option (x% likelihood of occurrence) and an ambiguous one (unknown % likelihood of occurrence). In both subtasks, x can take the value of 2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 and 98% likelihood. In one half of the scenarios, the numerical information is given as a percentage (e.g., 2% likelihood of making up lost time) while, in the other half, it is given as a frequency (2 chances out of 100 of making up lost time). Both the location of the numerical information and the location of the two options are counterbalanced. In the under-risk condition, the order of the scenarios is randomised. In the under-ambiguity condition, the order of the scenarios is semi-randomised.

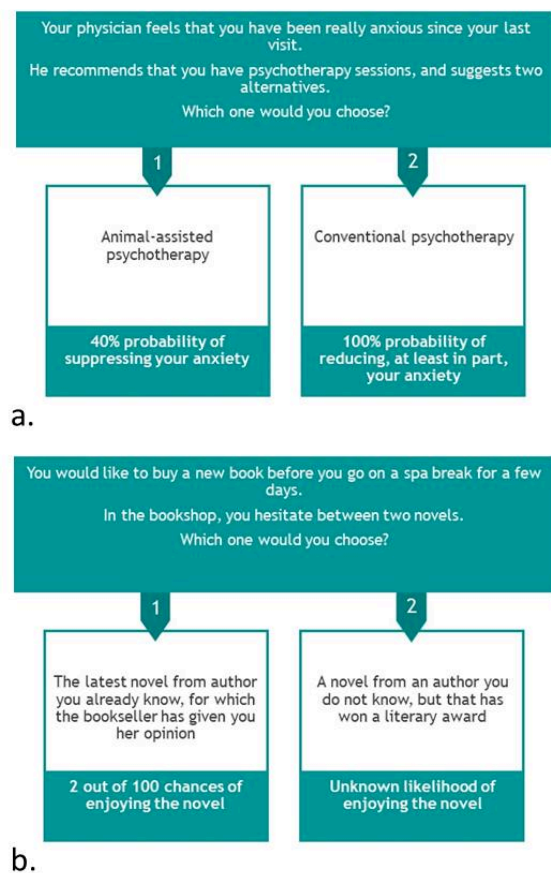


Figure 5. Example of scenario under risk on the left, and under ambiguity on the right

Procedure

The participants were first contacted by e-mail with an information letter and the experimenter's contact details (i.e. e-mail and phone number) attached. If they were interested in the study, a phone call was scheduled with the experimenter in order to explain the procedure better, answer any questions, and schedule the meetings.

The study consisted of three sessions. The first was dedicated to assessing executive functions, the second to assessing working memory, and the third to assessing decision-making competence. The first two lasted approximately one and a half hours and the third approximately one hour. The sessions were separated by one-week intervals and took place in the laboratory.

The first session commenced with a reminder of the purpose and organisation of the study and the signature of the informed consent form. After the participants had completed the neuropsychological tests and questionnaires, the 6 executive tasks were proposed in a random order. Participants were allowed a 5-minute break after each task.

The second session commenced with the anxiety scales (i.e., HADS for the older adults and Spielberger State-Trait Anxiety Inventory for the younger adults). The three working memory tasks were then performed, always in the same order: the baba span, the reading operation task, followed by the counting operation span. A cut-off criterion was applied for the last two tasks: the participants

could choose to stop the task after making consecutive errors. The main reason for this cut-off was to avoid unnecessary effort that could impact performance in the last task. If the participants made more than 4 errors in a row but were enjoying the challenging situation, the experimenter let them finish.

The last session again commenced with the anxiety scales, to which the BMIS (i.e. a mood scale) was added. The three decision-making tasks (i.e., IGT and the two experimental subtasks) and the OTDL-R were performed. The order of the tasks was counterbalanced, but the two experimental tasks (i.e. with everyday life scenarios) were never presented immediately after one another. This was to avoid potentially reducing the participants' interest as the two tasks were quite similar. Because of the COVID-19 pandemic, the scenario task was adapted to be performed remotely by the young adults and was therefore programmed not with E-Prime but with Psytoolkit (Stoet, 2010, 2017).

The experimental manipulation was primarily administered by one experimenter (i.e. the PhD student who had programmed the tasks). Three other experimenters (i.e. Master's 2 students in Neuropsychology) also assisted. They had been trained in the correct administration of the tasks by the main experimenter.

Transparency and openness

We report how we determined our sample size, all data exclusions, all

manipulations, and all measures in the study, and we follow JARS (Kazak, 2018). Materials, data and analysis code for this study are available on request to the first author. Data were analysed using JASP (version 0.14.0.0, JASP Team, 2022) and SPSS (version 21.0). This study's design and its analysis were not pre-registered.

RESULTS

Group comparisons

Executive functions and working memory tasks

Because the two groups differed significantly in educational level, an ANCOVA was conducted to compare the elderly participants' performances on the executive function and working memory tasks with those of the young adults.

Table 1. Results for executive function and working memory tasks and t-test comparisons for old and young adults

	Mean (SD) OA	Mean (SD) YA	Statistic	p
Updating ability				
Letter memory score	11.22 (1.23)	11.86 (0.35)	F(1,96) = 3.16	.078
1-back score	10.84 (3.39)	13.84 (1.39)	F(1,97) = 25.7	< .001
2-back score	6.20 (3.94)	9.74 (3.59)	F(1,97) = 20.4	< .001
MRT 1-back	645.52 (92.38)	528.67 (78.05)	F(1,97) = 29.9	< .001
MRT 2-back	630.41 (192.45)	617.54 (96.22)	F(1,97) = .051	.822
<i>Updating composite score</i>	0.93 (0.43)	0.44 (0.28)	F(1,97) = 33.9	< .001
Switching ability				
Switching cost on errors (FlexiCat)	0.34 (0.80)	0.28 (0.93)	F(1,97) = .297	.587
Switching cost on errors (FlexiPaire)	-0.34 (0.96)	0.08 (0.63)	F(1,97) = 8.38	.005
<i>Switching composite score</i>	-0.00 (0.03)	0.01 (0.04)	F(1,97) = 5.72	.019
Inhibition ability				
SSRT Stop-Signal	225.41 (96.93)	209.34 (80.27)	F(1,97) = 1.57	.212
Stroop score (interference board)	0.86 (0.23)	1.37 (0.27)	F(1,97) = 66.6	< .001
Working memory ability				
Digit span forward	6.34 (1.38)	6.84 (0.27)	F(1,97) = .18	.672
Digit span backward	5.06 (1.19)	5.98 (1.35)	F(1,97) = 5.03	.027
Complex span - baba	4.86 (1.13)	5.52 (0.61)	F(1,97) = 2.32	.13
Complex span – reading operation	3.90 (1.33)	4.76 (1.92)	F(1,97) = 1.32	.25
Complex span – continuous operation	3.42 (1.21)	4.30 (1.83)	F(1,97) = 3.02	.085
<i>Working memory composite score</i>	0.67 (0.14)	0.79 (0.15)	F(1,97) = 3.72	.056
Mood before IGT				
BMIS: Good/bad	55.32 (4.52)	51.27 (5.06)	F(1,95) = 11.1	< .001
BMIS: Aroused/Calm	27.58 (3.76)	27.63 (3.19)	F(1,95) = .199	.656
Mood before scenarios				
BMIS: Good/bad	55.32 (4.52)	49.51 (5.82)	F(1,94) = 19.8	< .001
BMIS: Aroused/Calm	27.58 (3.76)	27.26 (3.58)	F(1,97) = .001	.988

For switching scores, the higher the scores, the less flexible the participants were. For the updating scores, the higher the scores, the more efficient the updating skills were. For inhibition ability, the higher the SSRT, the more impulsive the participants were, and the higher the Stroop z-score, the more efficient the interference suppression skills were. For working memory, the higher the scores, the more efficient the working memory skills were. For the good/bad mood scale and the arousal/calm scale, the higher the scores, the more pleasant and aroused the participants' mood was.

Table 1 presents participants' results in the tasks assessing executive functions and working memory. Only the significant results will be described below. Globally, the older adults achieved significantly lower performances than the young adults in the tasks assessing updating ability (composite score $p < .001$). In the N-back test, a stopping criterion allowed the participants to start a 3-back level only if they had achieved a minimum of 75 % of hits. The Chi Squared Test showed a significant difference between the two groups, χ^2 (df = 1, N = 100) = 25, $p < .001$. The older adults achieved level 3 significantly less often than the young adults. In the working memory tasks, the older adults performed significantly less well than the young adults only in the backward digit span task ($p = .027$). This difference was also observed in inhibition capacity, with the elderly participants scoring lower on the Stroop test, thus suggesting poorer interference suppression skills. As far as flexibility is concerned, mixed results were observed as the switching cost was higher for the young than for the older adults in one task (FlexiPaire, $p < .005$) but not the other (FlexiCat, $p = .587$). However, once the errors in switch and non-switch trials had been independently analysed in FlexiPaire, it appeared that the two groups of participants made equal numbers of errors on switch trials ($F(1,97) = .059$, $p = .809$), but that older adults made significantly more errors than young adults on non-switch trials ($F(1,97) = 7.71$, $p = .007$). In addition, they were in a significantly better mood than the younger adults ($p < .001$)

before performing the two decision-making tasks, but the levels of arousal did not differ.

Iowa Gambling Task

The number of advantageous choices (i.e., selection of decks C and D) and the number of strategy switches (i.e. from advantageous to disadvantageous choices, and vice versa) were considered for the statistical analysis: in total (i.e. 100 trials), per half (i.e. two halves of 50 trials) and per block (i.e. 5 blocks of 20 trials). In addition, the analysis was performed on a net score which was calculated by subtracting the number of disadvantageous deck selections (A+B) from the number of advantageous deck selections (C+D). Preliminary analyses were performed to check for sphericity (Mauchly's test) or normality of distribution (Shapiro-Wilk), and homogeneity of variance (Levene's test). Independent samples t-tests were performed on the total number of advantageous choices and on the total number of strategy switches, with Group (young vs elderly adults) as grouping variable. Repeated-measures ANCOVAs were also performed on the number of advantageous choices and on the number of strategy switches with Half (first vs. second) and Blocks (first vs. second vs. third vs. fourth vs. fifth) as within-subject factor and Group (young adults vs. elderly adults) as between-subject factor, and with education included as covariate. These analyses were followed by post-hoc comparisons. A violation of sphericity was observed for the number of advantageous

choices per block, for the net score and for the number of strategy switches.

Advantageous choices

The repeated-measures ANCOVA did not reveal any significant effect of blocks on the number of advantageous choices, $F(3.5, 341.8) = .97$, $p = .417$ (see Figure 6), and there was also no simple group effect $F(1, 97) = 2.21$, $p = .14$ or group*block interference effect $F(3.5, 341.8) = .80$, $p = .512$. As the absence of effect may be due to the introduction of education as a covariate, the ANOVA was performed for young and older adults separately in order to check whether the effect of block exists in each group taken independently. A significant effect was observed for young adults $F(3.5, 341.8) = 9.13$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .157$ with fewer advantageous choices being made in the 1st block than in the 3rd, 4th and 5th blocks and fewer in the 2nd block than in the 4th block (all $p < .05$). The effect of block did not reach significance for older adults $F(4, 196) = 2.35$, $p = .055$, $\eta_p^2 = .046$.

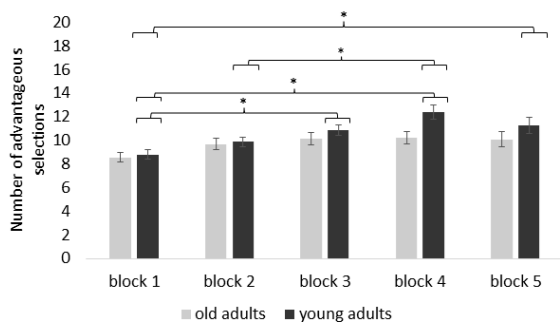


Figure 6. Mean number of advantageous selections in IGT blocks (max = 20) in old and young adults (bars represent standard errors).

There was no significant effect of halves (trials 1-50 vs trials 51-100), $F(1, 97) =$

.48, $p = .48$ (see Figure 7.a.), and no significant group effect $F(1, 97) = 2.21$, $p = .14$ nor a group*halves interference effect $F(1, 97) = 2.54$, $p = .11$. As previously, the ANOVA was performed for young and older adults separately. A significant effect was observed for young adults, $F(1, 49) = 791$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .94$, but also older adults, $F(1, 49) = 579.0$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .922$, with fewer advantageous choices being made in the 1st half than in the 2nd half in both groups.

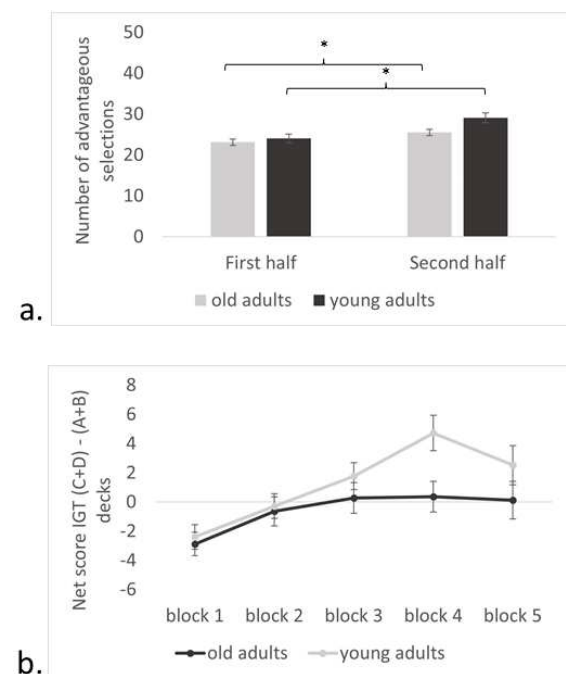


Figure 7. (a) Mean number of advantageous selections in IGT halves in old and young adults; (b) IGT net score, corresponding to $(C+D)-(A+B)$ deck selections. Bars represent standard errors.

Strategy switching

A repeated-measures ANCOVA showed a significant effect of blocks, $F(3.45, 335.1) = 9.04$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .08$, on the number of switches (see Figure 8). The post hoc analyses showed significant differences in the

number of switches between the 1st block, the 2nd, the 3rd, the 4th and the 5th; between the 2nd and the 3rd, the 4th and the 5th; and between the 3rd and the 4th and the 5th (all $p < .05$). The participants switched less often between the two kinds of decks as the task progressed. Neither a simple effect of group, $F(1, 97) = .002, p = .96$, nor a group*block interaction effect, $F(3.45, 335.1) = 0.28, p = .86$, were observed on the number of switches.

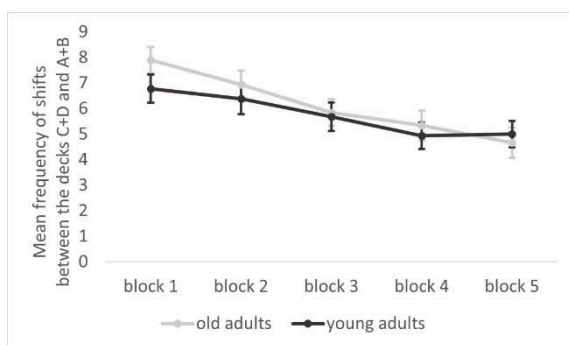


Figure 8. Mean frequency of switches between advantageous (C +D) and disadvantageous decks in IGT (bars represent standard errors)

Net score

As far as the net score is concerned, there was no significant effect of block, $F(3.52, 341.8) = .97, p = .42$, no simple group effect, $F(1, 97) = 2.21, p = .14$, and no group*block interference effect, $F(3.52, 341.8) = .80, p = .52$, (see Figure 7.b).

Scenario task

The number of risky and ambiguous decisions (i.e., under risk and under ambiguous conditions, respectively) was used for the statistical analysis. Preliminary analyses were performed to check for normality of distribution (Shapiro-Wilk), and homogeneity of variance (Levene's test). To provide a global comparison

of young and older adults' decision making, repeated-measures ANCOVAs were first performed on the total risky decisions and the total ambiguous decisions independently, with Group (young adults vs. elderly adults) as between-subject factor and Condition (under risk, under ambiguity) as within-subject factor. These analyses were then run on the number of risky decisions and on the number of ambiguous decisions separately, with Group as between-subject factor and first Context (gain vs. loss, for the under-risk condition only) and then Numerical presentation (percentage vs. frequency) as within-subject factor. Education was included as covariate in all the analyses. These analyses were followed by post-hoc comparisons.

Under risk task

In the risk condition, the ANCOVA showed a significant group effect $F(1, 97) = 11.14, p < .001, \eta_p^2 = .103$ but no context effect, $F(1, 97) = .37, p = .542$, with the young adults taking more risks overall (mean = 18.86, SE = 0.52) than the elderly adults (mean = 15.86, SE = 0.44) (see Figure 9.a). More importantly, a significant group*context interaction effect, $F(1, 97) = 17.74, p < .001, \eta_p^2 = .109$, was observed. Both groups took more risks in the loss than in the gain context. In the gain context, young adults took significantly more risks than elderly adults (respectively, mean= 8.10, SE =2.40; mean = 4.32 SE = 2.42 ($p < .001$), but in the loss context, both groups took a similar number of risks (respectively, mean = 10.76, SE = 4.55;

mean = 11.54, SE = 2.35 ; $t(98) = 1.27$, $p = 0.21$) (see Figure 9.b).

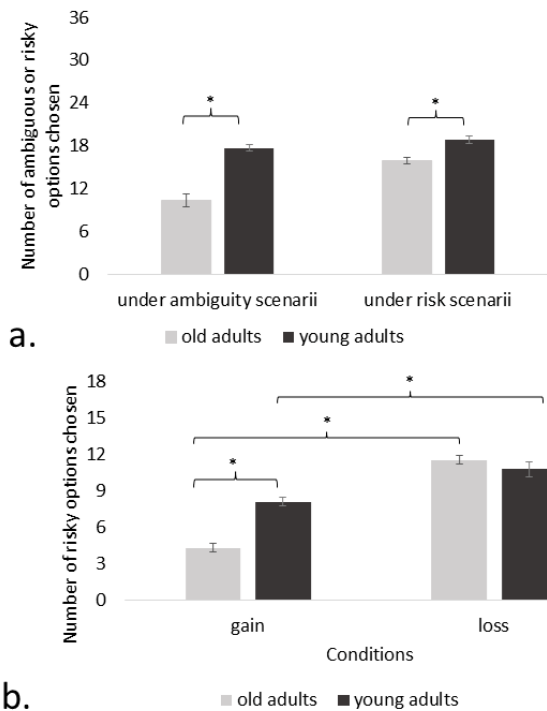


Figure 9. (a) Mean selections of less advantageous choices: ambiguous in under ambiguity scenarios and risky in under risk scenarios ;(b) Mean selections of risky options in under risk scenario depending on the context, i.e., gain or loss. Bars correspond to standard errors

A second ANCOVA with percentages of certainty as within-subject factor, showed neither a percentage-of-certainty effect $F(6.82, 661.82) = .595$, $p = .765$, nor a group*certainty interaction effect $F(6.82, 661.82) = 1.28$, $p = .255$ (see Figure 6). Supplementary ANCOVAs were performed for the two contexts (i.e., gain and loss) independently. In the gain context, no significant effect of the percentage of certainty $F(8, 776) = 1.44$, $p = .177$ was observed. However, a significant simple effect of the group $F(1,97) = 68.81$, $p < .001$, $\eta^2 = .098$ and a significant group*certainty interaction effect $F(8, 776) = 7.84$, $p < .001$, $\eta^2 = .056$ were observed. The post hoc analyses showed that the two groups took comparable risks for all the

percentages of certainty (all $p_{\text{bonf}} > .151$), except for 2 % ($t(98) = -10$, $p_{\text{bonf}} < .001$) and 60 % ($t(98) = -5$, $p_{\text{bonf}} < .001$). In both cases, young adults took more risks than elderly adults (see Figure 10.a). In the loss context, significant effects of the percentage of certainty $F(8, 776) = 2.35$, $p = .017$, $\eta^2 = .016$, of the group $F(1,97) = 7.45$, $p = .008$, $\eta^2 = .018$, and a group*certainty interaction effect $F(8, 776) = 11.78$, $p < .001$, $\eta^2 = .078$ were observed. The post hoc analyses revealed that the number of risks differed between the two groups only for 2 % certainty $t(98) = 8.78$, $p_{\text{bonf}} < .001$, with more risks being taken by the elderly adults (see Figure 10.b).

The correlation analysis showed no relation between the percentage of certainty and the number of risky options selected by the young adults in the gain context ($r = -.09$, $p = .064$). However, in the loss context, the higher the percentage of certainty was, the more likely the young adults were to select the risky option ($r = .26$, $p < .001$). The elderly adults took more risks in the gain context when the percentage of certainty was high ($r = 0.19$, $p < .001$), but fewer risks in the loss context when the percentage of certainty was high ($r = -0.11$, $p = .023$).

In both conditions, under risk and under ambiguity, half of the trials expressed the numerical information in frequencies and the other half in percentages. In the under-risk condition, the simple effect of numerical presentation, $F(1, 97) = .12$, $p = .73$ was not significant and there was no significant

group*numerical presentation interaction effect, $F(1, 97) = .18, p = .66$.

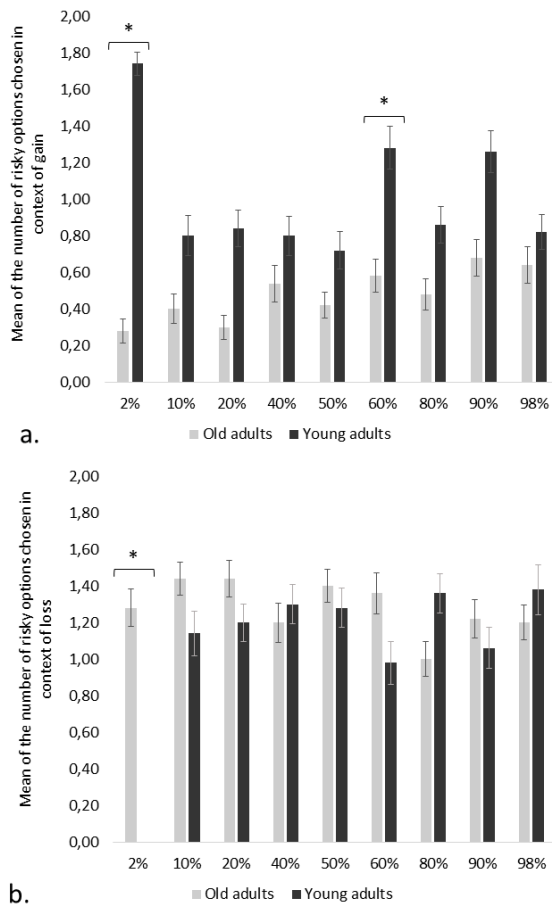


Figure 10. Mean number of risky options selected depending on the percentage of certainty of these options, in gain context (a) and in loss context (b). Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 2.

Under ambiguity task

In the under-ambiguity condition, the ANCOVA run with the group and percentage of certainty factors showed a significant effect of the group, $F(1,97) = 33.18, p < .001, \eta_p^2 = .255$, with older adults selecting significantly fewer ambiguous options (mean = 10.36, SE = 0.93) than young adults (mean = 17.72, SE = 0.48). The group*certainty interaction was also significant $F(5.62, 545.44) = 14.92, p < .001, \eta_p^2 = .133$ (see Figure 11). After Bonferroni

correction, the post-hoc analysis, showed significant differences between young and elderly adults for the 50 %, 60%, 80%, 90%, 98% certainty conditions (all $p < .001$), with older adults choosing fewer ambiguous options than young adults. There were no significant differences between different percentages of certainty in young adults. After Bonferroni correction, the elderly adults chose significantly fewer ambiguous options in the 2% condition than in any other condition except 20 %; in the 10 % condition, they chose significantly fewer such options than in the 80%, 90% and 98% conditions; in the 20 % condition significantly fewer than in the 50%, 60%, 80%, 90%, and 98% conditions; and in the 40% condition significantly fewer than in the 90 % condition. The correlation analyses showed opposite decisional strategies in the young and elderly adults. In young adults, the higher the percentage of certainty was, the more ambiguous options they selected ($r = .105, p < .001$). By contrast, in the case of the elderly adults, the higher the percentage of certainty was, the smaller the number of ambiguous options selected ($r = -.444, p < .001$).

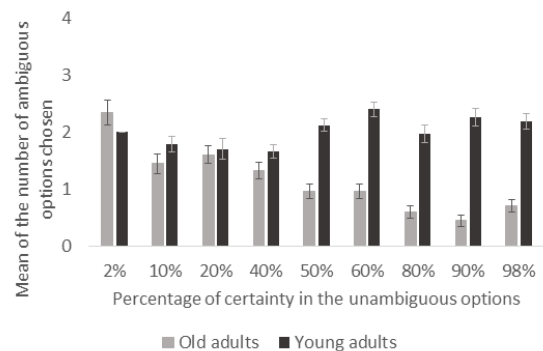


Figure 11. Mean number of ambiguous options selected depending on the percentage of certainty of the unambiguous options. Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 4.

In the under-ambiguity condition, the simple effect of numerical presentation was not significant, $F(1, 97) = .016$, $p = .90$, and there was no significant group*numerical presentation interaction effect $F(1, 97) = .002$, $p = .96$.

Correlation and regression analyses run on EF and WM tasks

Correlations

We started by analysing the correlations between the results of the executive function tasks (i.e. the updating composite score, the switching composite score, the Stroop score and the SSRT) and the working memory composite score, and the results of the decision-making tasks for the two groups taken together. The participants were then split into two groups, namely high and low performers, for each score and the correlation analysis were performed again on each group separately. The median values were calculated independently for the young and the elderly adults in order to create the groups of high and low performers,. The 25 young adults and the 25 elderly adults with the best scores were assigned to the high-performers group, and the other 50 participants (i.e. 25 young and 25 elderly adults) were assigned to the low-performers group.

Preliminary analyses were run to check for normality of the distribution (Shapiro-Wilk). Pearson's r coefficient was used, except in the case of a deviation from normality, in which case Spearman's ρ was used instead.

Global correlations

No correlation was found between the cognitive task scores and the number of advantageous choices in the IGT. However, the strategy changes during the IGT (i.e., number of switches between good and bad decks) correlated with the Stroop score ($\rho = -0.22$, $p = .033$, see Figure 12).

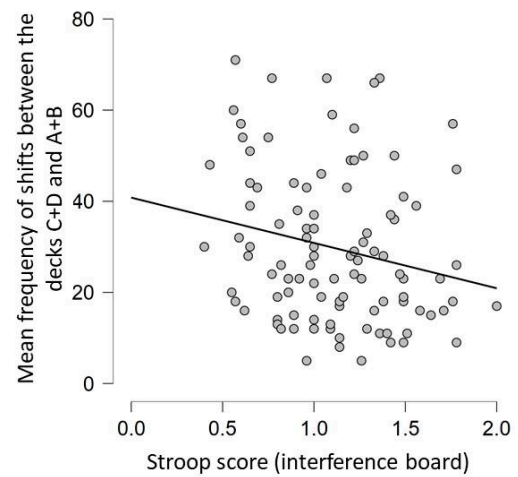


Figure 12. Correlations between the number of switches during the IGT and the Stroop score, the maximum number of switches being 99

For the scenario tasks, the updating composite score ($r = -.428$, $p < .001$), the working memory composite score ($r=.245$, $p = .014$) and the Stroop score ($r = .435$, $p < .001$) correlated with the total number of ambiguous options chosen in the under-ambiguity condition (see Figure 13). The updating composite score ($r = -.315$, $p < .001$) and the Stroop score ($r = .382$, $p < .001$) correlated with the total number of risky options chosen in the under-risk condition (see Figure 14a,b).

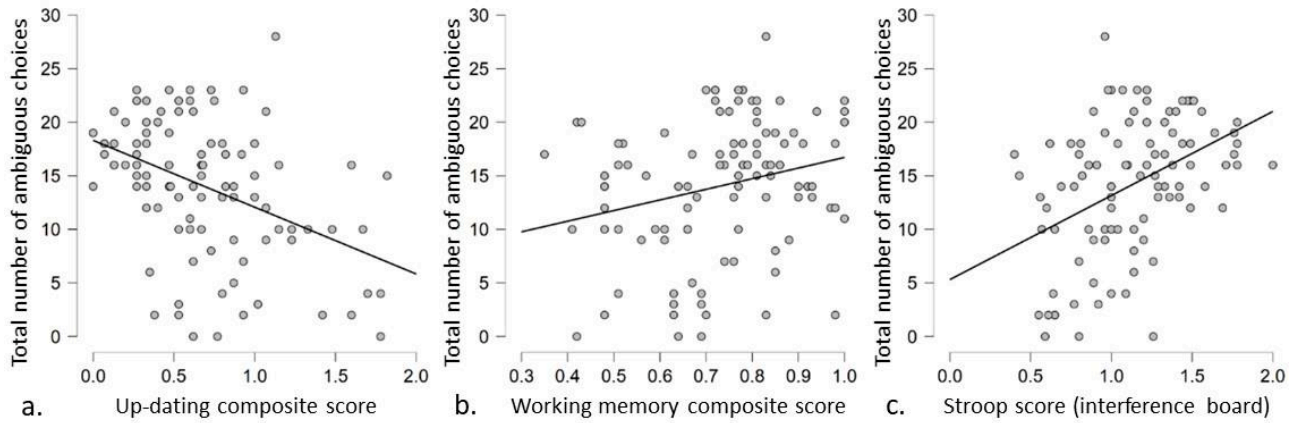


Figure 13. Correlations between the total number of ambiguous options (max = 36) chosen in the under-ambiguity condition and the updating composite score (a), the working memory composite score (b), and the Stroop score (c).

In the case of the scenarios under risk, the updating composite score ($r = -.423$, $p < .001$) and the Stroop score ($r = .480$, $p < .001$) correlated with the number of risky options

chosen in the gain context (see Figure 14c,d). No other correlation was significant in either the gain or the loss context.

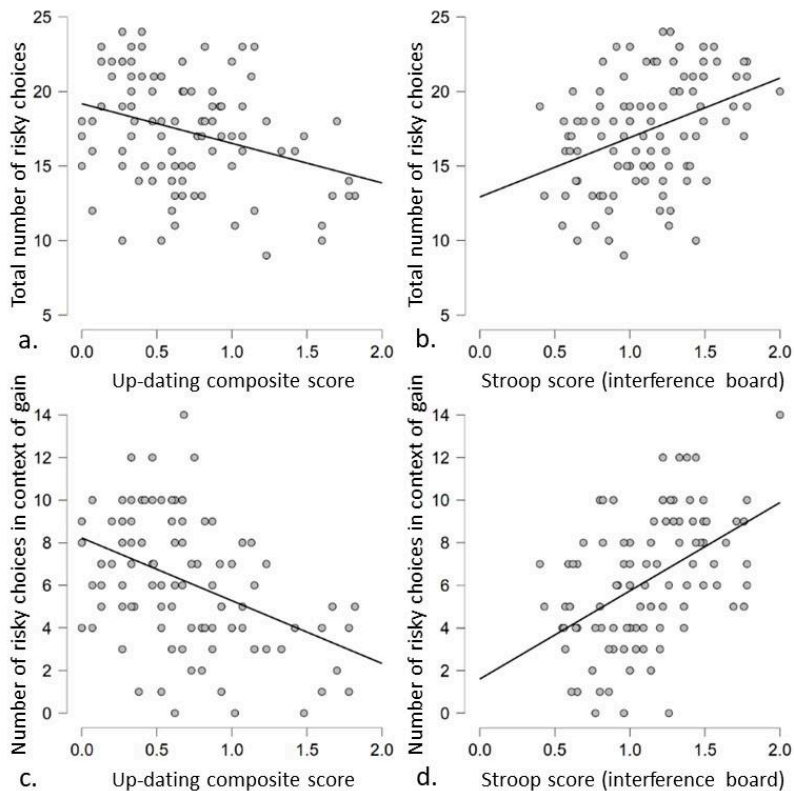


Figure 14. Correlations between the total number of risky options (max = 36) chosen in the under-risk condition; and: the updating composite score (a), and the Stroop score (b.); and between the number of risky options chosen in the gain context (max = 18), the updating composite score (c), and the Stroop Score (d).

Correlations for high and low performers

Significant correlations (Table 2) were observed for both low and high performers between the total number of risky decisions, the total number of ambiguous decisions and the number of risky decisions in the gain context, on the one hand, and both the updating score and the Stroop score, on the other. Significant correlations were also observed between the

SSRT and the total number of risky and ambiguous decisions, but only for the low performers. Finally, the working memory composite score correlated with the total number of ambiguous decisions for high and low performers, and with the number of risky decisions in the gain context for the low performers only.

Table 2. Correlations between the results in the decision-making tasks and the results in executive and working memory tasks for high and low performers independently

	Advantageous decisions IGT	Strategy switching IGT	Total risky decisions	Total ambiguous decisions	Risky decisions in gain context	Risky decisions in loss context
Switching composite score						
High performers	rho = -0.03, p = 0.847	rho = 0.00, p = 0.98	rho = 0.19, p = 0.20	rho = 0.03, p = 0.85	rho = -0.02, p = 0.90	rho = 0.21, p = 0.14
Low performers	rho = 0.18, p = 0.20	rho = -0.04, p = 0.81	rho = 0.13, p = 0.36	rho = 0.17, p = 0.23	rho = 0.14, p = 0.35	rho = -0.00, p = 1.00
Updating composite score						
High performers	rho = -0.17, p = 0.24	rho = -0.04, p = 0.77	rho = -0.35, p = 0.01*	rho = -0.55, p < .001***	rho = -0.41, p = 0.00**	rho = -0.11, p = 0.45
Low performers	r = -0.19, p = 0.19	r = 0.20, p = 0.18	r = -0.37, p = 0.01**	r = -0.56, p < .001***	r = -0.63, p < .001***	rho = 0.09, p = 0.56
Stroop score						
High performers	r = 0.30, p = 0.03	r = -0.03, p = 0.82	r = 0.38, p = 0.01**	r = 0.41, p = 0.00**	r = 0.56, p < .001***	r = -0.10, p = 0.47
Low performers	r = 0.16, p = 0.27	r = -0.07, p = 0.61	r = 0.43, p = 0.00**	r = 0.54, p < .001***	r = 0.51, p < .001***	rho = 0.15, p = 0.29
SSRT						
High performers	r = 0.15, p = 0.32	r = -0.02, p = 0.89	rho = 0.22, p = 0.13	r = 0.18, p = 0.22	rho = 0.04, p = 0.76	r = 0.18, p = 0.23
Low performers	rho = -0.24, p = 0.10	rho = 0.05, p = 0.75	rho = -0.32, p = 0.02*	rho = -0.31, p = 0.03*	rho = -0.43, p = 0.00**	rho = -0.03, p = 0.86
Working memory composite score						
High performers	r = 0.21, p = 0.09	rho = 0.10, p = 0.50	r = 0.19, p = 0.19	r = 0.31, p = 0.03*	r = 0.17, p = 0.25	rho = 0.01, p = 0.96
Low performers	rho = -0.11, p = 0.47	r = -0.11, p = 0.44	r = -0.04, p = 0.78	rho = 0.44, p = -0.02**	r = 0.33, p = 0.02**	rho = -0.17, p = 0.24

Regressions

To analyse the involvement of executive functions and working memory in the decision-making competency, multiple regression analysis were performed by entering – for each analysis – one of the decision-

making ratings (i.e. advantageous decisions during the IGT, number of switches during the IGT, total risky choices in the scenario task under risk, total ambiguous choices in the scenario task under ambiguity) as dependent variable and the updating composite score, the

working memory composite score, the switching composite score, the Stroop score and the SSRT of the Stop Signal task as predictors. The analysis was performed on all the results

taken together without distinguishing between young and elderly adults. Only the significant models are reported in Table 3.

Table 3. Multiple regressions with the decision-making tasks as criterion and the executive and working memory tasks as factor scores

	β	t	p
“Strategy switching (IGT)”			
Stroop score	-.21	-2.16	.033
$R^2_{adj} = .036$, $F(1,98) = 4.65$, $p = .033$			
“Ambiguous choices (scenario task)”			
Stroop score	.28	2.40	.018
Updating composite score	-.26	-2.24	.028
$R^2_{adj} = .213$, $F(2,97) = 14.39$, $p < .001$			
“Risky choices (scenario task)”			
Stroop score	.38	4.09	.000
$R^2_{adj} = .14$, $F(1,98) = 16.72$, $p < .001$			
“Risky choices in context of gain”			
Stroop score	.48	5.42	.000
$R^2_{adj} = .22$, $F(1,98) = 29.35$, $p < .001$			

Regarding the number of shifts between the advantageous and the disadvantageous decks during the IGT, one model indicated that the Stroop score explained 3.6 % of the variance. Two models were identified for the total number of ambiguous choices in the under ambiguity condition of the scenario task. The most robust models, including the Stroop score and the updating composite score, explained 21.3 % of the variance. For the total number of risky choices in the under-risk condition of the scenario task, one model indicated that the Stroop score explained 14 % of the variance. The analysis performed for each context (i.e. gain vs loss) separately showed that the Stroop score explained 22 % of the variance in the gain context. However, no significant model was identified for the loss context.

DISCUSSION

This study aimed to investigate the differences in DMC between young and elderly adults under risk and under ambiguity. To this end, both tasks based on everyday life situations and the traditional IGT were used. This study also examined how executive functions (updating, mental set shifting, and the inhibition process) and working memory impact DMC in older compared to younger adults.

The results of the decisional tasks will be discussed first and the performances of the young and elderly adults will be compared, before describing the results of the cognitive function tasks and then turning to the correlation and regressions analyses that

examined the relationships between cognitive functions and DMC for all participants taken together.

Decision-making competence and ageing

In this study, two tasks were used to assess decision-making competence (DMC): the IGT and a scenario task with two decision-making conditions: under risk and under ambiguity.

The Iowa Gambling Task

No measurement in the IGT showed a difference between the two groups. First of all, both groups improved as the task progressed, with more advantageous selections and higher net scores being observed at the end of the game. However, analyses of each group taken separately revealed a significant increase in the number of advantageous choices made by the young adults over the task, something that was not observed in the elderly adults. Contrasting results are reported in the literature, with some studies observing no age effect on the net score over the five blocks (Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008), some studies indicating that elderly adults achieve a lower net score over the task than young adults (Fein et al., 2007), and others describing heterogeneous results, with only a subset of participants in the older group showing impaired performances (Denburg et al., 2007; Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008). However, when discussing the results, it is important to remember that the definition of the age ranges for young and elderly adults differed

considerably between the studies and that this might have impacted the results.

In our study, the number of shifts between advantageous and disadvantageous decks was also analysed. Both groups switched more often between the decks at the beginning of the exercise (i.e., blocks 1 and 2) than at the end (i.e., blocks 4 and 5). According to Zamarian et al.'s (2008) results, elderly adults changed strategy significantly more often and adapted their behaviour significantly less often during the task than young adults. For their part, Wood et al. (2005) found that decisions made by elderly adults were based as much on the gains as the losses, whereas young adults' decision making was more sensitive to the losses. Older adults deck selections were also highly dependent on recent outcomes, unlike those of the young adults, who selected the decks independently of this characteristic.

There are several causes that might explain this divergence in the data. First of all, the ages of the participants in the different groups, and especially in the young adults groups, differed between the studies. In the present study, the average age of the young group was at least 10 years younger than in Zamarian et al. (2008), Denburg et al. (2007) or Fein et al. (2007). The brain undergoes modifications over time and performances in cognitive tasks can therefore be modulated even among a population of young adults. For example, the increase of white matter reaches its peak at around 37 years of age, and then decreases at a slower rate than it has developed (Lebel et al., 2012). Recent studies have

specifically described links between white matter integrity and fluid intelligence (Chen et al. 2020; Li et al., 2020). The IGT, at least in the initial stages, is thought to require fluid intelligence (Li et al., 2017). A first hypothesis could be that fluid intelligence is less mature in a group with an average age of 26 years than in groups with an average age of 36 years or more. Finally, the lack of maturity in the young group could have had the same consequences for IGT performances as the deterioration that impacts elderly adults. This could explain why we did not find any difference between our two age groups, even though such differences have been identified in other studies. A second hypothesis is drawn from studies describing elderly adults' DMC as heterogeneous and involving other factors that can influence decision making only when considered in combination with age. For instance, different patterns of activations in elderly adults can lead to either better or poorer performances. Indeed, bilateral activations in vm-PFC or peak amplitudes in anticipatory skin conductance responses before picking a card from advantageous decks were related to better performances in the elderly adults (Denburg et al., 2007; Rogalsky et al., 2012). Without objective measures, some characteristics of the decision process in elderly adults may remain unidentified. It is possible that, for some random reasons, the elderly adults included in the present study were better able to compensate, resulting in behaviours similar to those of the young adults.

The under risk condition of the scenario task

In the under-risk condition, young adults selected more risky options (i.e. options with a percentage of certainty less than 100) than elderly adults. These results corroborate those of Deakin et al. (2004) and Lee et al. (2008). Using the Game of Dice Task (GDT), Deakin et al. (2004) showed that elderly adults also took more time to deliberate than young adults. In the present study, the deliberation time could not be analysed as the response time was also dependent on the reading speed.

Interestingly, the decision-making context (i.e., gain or loss) may influence the decision depending on age. In the present study, both groups took similar risks in the loss context but young adults took more risks than elderly adults in the gain context. This tendency to avoid risk in a gain context and, on the contrary, to prefer it in a loss context has been described in the Prospect Theory proposed by Kahnemann and Tversky (1979). This posits that two mathematically equivalent problems can be influenced by information that is irrelevant from a rational perspective and therefore lead to different decisions (Gollier et al., 2003). Thus the young and elderly adults in the present study were sensitive to the overall context (i.e., to the frame effect), albeit to a lesser extent in the younger than the older group, especially in the case of the gain context. These results corroborate those of Kim et al. (2005) who, based on the resource allocation hypothesis (Hess et al., 2001), suggested that elderly adults are more inclined to rely on the heuristic mode to perform highly-complex tasks

even though this is less suitable for making decisions in risk conditions (McCarrey et al., 2010). In accordance with STT (Agustí et al., 2017; Carstensen et al., 2003; Cartensen et al., 1999; Spreng & Turner, 2019), because elderly adults are more interested in their well-being, they prefer to avoid risk in a gain context (i.e. in order to obtain a smaller but certain gain), and seek it in a loss context (i.e. to try to avoid a certain loss). By contrast, young adults' actions are directed by the pursuit of new knowledge and they therefore take more risks than elderly adults in a gain context because this is more conducive to the acquisition of new knowledge. Despite their thirst for knowledge, they are still influenced by the context, and generally tend to avoid risky options in order to obtain a gain rather than to prevent a loss. Their choices therefore seem to be guided by their search for knowledge and their estimation of their survival chances. Interestingly, when two groups of adults, one being younger than the other (i.e. young elderly adults vs very elderly adults), were compared on healthcare scenarios, the opposite effect was observed, with the eldest choosing more disadvantageous options than the younger elderly adults (Pertl et al., 2017). According to the authors, impaired executive functions are the cause here.

The number of risks taken depending on the percentage of certainty and the context (i.e., gain or loss) differed considerably between the two groups for 2 % certainty, with the old and young adults exhibiting opposite response patterns. Indeed, in a gain context, young adults almost always chose the risky

options, whereas the elderly adults almost never did so. In a loss context, young adults never selected the risky options, whereas elderly adults usually chose them. The elderly adults' response pattern seems to be quite logical in the light of their global answering strategy. However, the explanation for the young adults' behaviour is less clear. In the gain context, it is possible that the very low percentage of certainty overly stimulates their desire for novelty, causing them to prefer the risky option. With regard to the loss context, we do not know how to interpret their risk avoidance. It might be due to a random effect and therefore have to be re-investigated in future studies. Furthermore, the results of the correlation analyses seem to be consistent with the SST. Indeed, the elderly adults adopted a strategy that favoured their well-being, by taking higher risks with a higher percentage of certainty in the gain context, but lower risks with a higher percentage of certainty in the loss context. By contrast, the young adults adopted a strategy that satisfied their curiosity, at least in the loss context, during which they took an increasing number of risks as the percentage of certainty increased.

Another factor that may influence decision making is the type of numerical presentation (i.e. frequency vs percentage). In the present study, no effect of numerical presentation was observed. After an earlier study had shown that ratio processing predicts decisionmaking under risk (Brand et al., 2014), Pertl et al. (2017), nevertheless, found that the frequency format was the hardest for the eldest

participants to process when compared to younger participants. In the light of these two pieces of information, we might have expected the decisions to be less advantageous when the relevant information was given in frequencies.

The under ambiguity condition of the scenario task

With regard to the under-ambiguity condition of the scenario task, the young adults selected significantly more ambiguous options (i.e. with unknown percentage of certainty) than the elderly adults. It is possible that, as in the case of decision making under risk, young adults selected more ambiguous options than elderly adults because this approach was more consistent with their goals, i.e., the quest for knowledge. Tannou et al. (2020) observed that ageing is very clearly associated with slower speed processing in decision making under ambiguity. However, decisions based on personal experience and with no major temporal constraints appeared to be little impacted by ageing. It should therefore be very easy for elderly participants to succeed in our task, which is based on everyday life situations and has no time restrictions, .

Whereas young adults selected equal proportions of ambiguous options for all the certainty percentages of the unambiguous options, elderly adults globally selected fewer ambiguous options as the percentage of certainty of the unambiguous options increased. To our knowledge, no other study has used scenarios inspired by everyday life to assess decision making under ambiguity in a

population of elderly adults. However, Lauriola et al. (2007) proposed a similar exercise, which focused on healthcare situations and was addressed to young adults only. Their results showed a general trend to avoid ambiguity, even among the participants considered as “ambiguity seeking”. Using Ellsberg’s task, they also showed that the higher the probability of the unambiguous urn was, the more frequently the participants selected it instead of the ambiguous urn. This is precisely what we observed in the elderly adults in the present study, but not in their younger counterparts. However, some studies that used tasks equivalent to Ellsberg’s with young and older adults did not find an effect of age, at least when no feedback was given (Leuker et al., 2020 ; Sproten et al., 2018). The emotional state of the young adults included in the present study could be responsible for these differences. The young adults’ data were collected remotely during the COVID-19 pandemic. This context might have triggered some level of stress in the young adults and this could have impacted their decisions. It does indeed appear that decision making under ambiguity is more vulnerable to stress-inducing situations than decision making under risk (Cano-López et al., 2016).

Executive functions and working memory during ageing

The present results revealed significant differences between the performances of young and elderly adults in cognitive tasks. Indeed, the elderly participants obtained lower scores than

their younger counterparts in the tasks assessing updating, inhibition and working memory abilities.

The updating skills in ageing

The updating deficit in older adults, measured using the n-back task, has already been reported (Bherer et al., 2004; Bopp & Verhaeghen, 2018; Najberg et al., 2021), with response times increasing and the number of hits falling with ageing. The present study observed similar results, except in the case of the 2-back response time, which did not differ between the two groups. Indeed, the elderly adults answered equally quickly for both levels of difficulty, whereas the young adults' response times lengthened from the 1- to 2-back levels. The speed of stimulus presentation during the 1-back level may already have been very cognitively demanding for elderly adults, and the fact that this restricted response time was maintained during the 2-back phase did not give them time to respond properly. Consequently, they made many more errors during the 2-back task. Furthermore, a stop criterion allowed the participants to start a 3-back level if they had achieved a minimum of 75 % hits on the 2-back level. While 30 of the 50 young adults moved on to this last phase, only 6 of the 50 elderly adults did so. These data seem to be compatible with the suggestion that the preferred strategy for performing the task evolves with age, with young adults relying more on executive functions and elderly adults on attentional processes. This change is closely linked to the decrease in prefrontal cortex

activation (Gajewski, et al., 2018; Yaple et al., 2019).

The inhibition skills in ageing

Concerning the inhibition ability: the two groups achieved comparable performances on the Stop Signal task, but the young participants performed better than adults on the Stroop test. The conclusions reported in the literature are quite contradictory. Bherer et al. (2004) and Troyer et al. (2006) claimed that the interference suppression component is particularly vulnerable to ageing. However, according to Rey-Mermet and Gade (2018) it remains intact, even though their described deficits on tasks that require motor inhibition (e.g., the Stop Signal task). Interestingly, the absence of an age effect on the Stroop score does not mean that the inhibition process is identical in young and elderly adults. Indeed, from a neurophysiological perspective, Tam et al. (2015) found that long response times were not associated with the same cerebral activations in young and elderly adults. In the latter, frontoparietal areas were mainly involved, probably as the result of compensatory or de-differentiation phenomena. Gajewski et al. (2020) found that, on a behavioural level, the Stroop performance of elderly adults was lower than that of middle-aged and young adults, and that that of middle-aged adults was lower than that of young adults. At the same time, elderly adults who performed well on the Stroop test had larger contingent negative variation (CNV) (i.e., linked to proactive task control) and a larger P2/N2 complex (i.e., linked to reactive task control)

than elderly adults with lower Stroop performances, but a CNV and P2/N2 complex comparable to that of middle-aged and young adults. To our knowledge, fewer studies have used Stop Signal tasks to investigate motor inhibition in elderly adults. One of these found longer SSRT (i.e. Stop Signal Response Time) in old than in young adults, suggesting that ageing is associated with increased impulsiveness (Hu et al., 2018). However, this study used visual go and the stop signals. Interestingly, it has been proven that the modality of the task affects the inhibitory process in young adults, with detection being faster and the SSRT shorter in the auditory modality (Ramautar et al., 2006). Lee and Hsieh (2017), who compared old and middle-aged adults using an auditory stop signal paradigm, did not find any significant difference in the SSRT between the two groups. It is possible that elderly adults experience difficulties in inhibiting motor responses only in the visual modality. Since this modality is already less efficient in young adults, it might be more fragile and vulnerable to ageing. The fall-off in the performances in Go-No go tasks observed with ageing corroborate this hypothesis (Najberg et al., 2021; Rey-Mermet & Gade, 2018). A second interpretation could also be that the task used in the present study did not contain enough items to reveal an age effect. Indeed, there were only three blocks of 30 trials, including 8 stop signals.

The mental flexibility skills in ageing

As far as mental flexibility is concerned, the composite scores calculated

based on the cost of switch trials on errors in the two switching tasks were comparable in the two groups. If the tasks are considered separately, it appears that young adults were more sensitive to the switching cost than elderly adults only on FlexiPaire. Indeed, while the mean number of switching errors was higher in the elderly adults group, the number of non-switching errors made by this group was even higher, resulting in a negative switching cost. The literature reveals a consensus concerning the existence of a deficit in switching ability with ageing (Bherer et al., 2004; Erb et al., 2020; Huff et al., 2015). However, all the reported analyses of switching cost have been based on the mean response time (MRT). Huff et al. (2015) considered that the differences in performance were related to the attentional process, arguing that participants with stronger attentional skills were “tuned” to the task, and thus slowed down by the switch trials. By contrast, participants with weaker attentional skills, for example elderly adults, were less “tuned”, and consequently less influenced by the change of instruction. In the present study, 4 keys were used to record the participants’ answer. Participants who were not familiar with the computer equipment could not use one finger per key but had to use two, or sometimes one each for all four keys. Consequently, the response times in our two switching tasks cannot be taken into account. However the case may be, in addition to comparing the switching cost on MRT, Huff et al. (2015) also compared the switching cost on errors, which was not affected by ageing.

The working memory skills in ageing

Finally, the working memory integrity of young and elderly adults was also compared. The composite score shows that the old and young adults achieved comparable performances, even if p was very close to the significance threshold. However, the elderly adults performed significantly less well than the young adults on the backward digit span task. This latter result is consistent with the meta-analysis of Bopp and Verhaeghen (2005), which revealed an effect of age on several span tasks (i.e., short-term memory, reordering and working memory spans), with the young adults always performing the best. However, this effect appears to be modulated by the span category, with the working memory spans being the most sensitive and the short-term memory spans the least sensitive. To our knowledge, no study has used the time-based resource-sharing (TBRS) perspective to investigate working memory in ageing. It is therefore difficult to compare our results to the literature. Nevertheless, research using reading or computation span tasks has given rise to another conclusion, namely that working memory span performances are affected by ageing (Fournet et al., 2012; Meguro et al., 2000).

To sum-up this section, elderly adults, unlike young adults, experienced difficulties on the tasks assessing updating, inhibition and working memory. These results are consistent with previous research. The absence of a deficit in mental flexibility in the elderly adults could be due to the way the evaluation task was

constructed, which did not permit us to analyse the MRT.

Cognitive implications in decision-making competence

Another aim of our study was to investigate the links between executive function (i.e., updating, inhibition and mental flexibility processes), working memory and decision making in ageing.

Few of the correlations were significant and, even then, only when all the participants' data were included in the analysis. The strategy changes (i.e. the number of switches between advantageous and disadvantageous decks) correlated with the Stroop score. In fact, the better the Stroop score was, the less participants shifted between decks. According to the regression analysis, the Stroop score explained 3.6 % of the variance in strategy changes. To our knowledge, very few studies have investigated the links between IGT performances and executive function or working memory in elderly adults. Using the Iowa Scale of Personality Change (ISPC), Nguyen et al. (2013) showed an impact of executive personality, and in particular of the impulsivity component, on IGT performances. Wood et al. (2005) showed that the young adults in their experiment owed their good IGT performances to their ability to learn and memorize, whereas the elderly adults relied on their affective reactions. Both groups probably resorted to inhibitory abilities, but not in the

same way. The young adults might have deployed a long-term inhibitory strategy (i.e., they first tried to understand the task and then inhibited the disadvantageous decks), while the elderly adults might have deployed a short-term inhibitory strategy (i.e., they adapted their selections more or less trial-by-trial). One argument in favour of the hypothesis that inhibitory ability contributes to accurate IGT performances comes from Schmicker et al.'s (2019) study. These authors showed that elderly adults trained with a selective attention task (involving some inhibitory processing) improved their IGT performances but did not do so when trained with a short memory task. To sum up, the inhibitory ability seems especially useful for performance on the IGT.

Updating and inhibition (i.e., the Stroop score only) were particularly highly involved in the scenario task. Under ambiguity, these two functions explained part of the decision-making performance (i.e., 21 %). Under risk, only the Stroop score explained part of the decision-making performance (i.e., 14 %). Working memory was also linked to decision making under ambiguity, but no causal relation was found. The present study showed that updating (i.e., updating in working memory) was particularly highly involved in the scenario task. These results are consistent with those of a previous study using the N-back task (Rönnlund et al., 2019). When faced with a situation that requires a decision, memories of similar decision-oriented circumstances are activated to guide the new decision and have to be maintained in working memory (Schiebener &

Brand, 2015). To increase efficiency, the decision-maker has to focus on the relevant information and therefore to suppress the distracting information. Consequently, only the inhibitory process is involved.

As some previous research had already shown that ageing alone will not in itself impair DMC, we split the participants into two performance-level groups (i.e., high and low performers) and conducted correlation analyses. Interestingly, new correlations were observed between DMC and cognitive functions, but only for the low performers' group. Indeed, the SSRT (i.e., an impulsivity indicator) and the total number of risky and ambiguous decisions were correlated: the more impulsive the low performers were (i.e., the shorter their SSRT), the more likely they were to seek ambiguity and risk, in particular in the gain context. The scenario task was not designed to demand rapid responding. Considerable information was given and no time limit was set, meaning that the participants could detect what was relevant, process it, and make the decision they felt was best. Impulsive participants probably did not take the time to understand what they read and could therefore not process it properly, leading to a more frequent selections of risky and ambiguous options. Indeed, as these options offered the opportunity to achieve bigger gains, they maximized the potential for attentional capture, in particular in impulsive participants and irrespective of the likelihood of winning. A parallel can be found with the results of Brand and Schiebener (2013) who had previously shown that the combination of poor logical

thinking and old age negatively influenced decision making under risk. Impulsive people tend to hurry their responses and this does not leave space for reasoning or logical thinking. Even if no data are available to confirm that the low performers in the present study had poor logical thinking, they were without doubt more impulsive than the high performers, and this characteristic may have impacted their logical thinking. Other abilities, not tested in the present study, could also affect DMC when combined with the age factor. This is the case of feedback processing, for instance: elderly adults who find it difficult to manage feedback would also find it more problematic to make advantageous decisions (Brand & Markowitsch, 2010).

Limitations

Our study presents some limitations. First of all, the tasks were programmed to be doable by patients with Alzheimer's disease. It is therefore possible that some of them (i.e., the two tasks assessing mental flexibility and the Stop Signal task) were too easy to reveal any significant differences between the two age groups. Second, we included 50 participants in each group. Although this is a large number of participants for inferential analyses, it is rather small when conducting robust correlation and regression analyses for each group separately. Unfortunately, the pandemic context meant that we were not able to include more old participants. That is the reason why we preferred to conduct these analyses on all the

participants taken together. In future studies, it would be interesting to test the hypothesis that holds that cognitive functions are directly involved in DMC in an age-dependent way. Finally, whereas the elderly adults performed the scenario task in the laboratory, the pandemic required us to modify the task for the young adults, who performed it at home during the lockdown. The mode of administration may have interacted with the performances.

CONCLUSION

Compared to young adults, elderly adults showed impaired performances in the majority of the cognitive tasks. There was no difference between the two age groups on the IGT. However, the scenario task revealed higher levels of risk and ambiguity seeking in young than in older adults. Surprisingly, this observation was especially marked under risk conditions in the gain context. The SST could provide a satisfactory explanation: elderly adults avoid risk and ambiguity to maximize their well-being, while young adults seek risk and ambiguity in their quest for knowledge. Inhibition and updating would seem to be particularly highly involved in the DMC, whatever the condition (i.e., under risk or under ambiguity).

DECLARATION

Ethics approval and consent to participate

The study was approved by the ethical committee of Comité de Protection des Personnes Ile de France XI and was assigned no. 19031-57438. All the participants received and signed an informed consent form and consent was also explained orally.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

FUNDING

This work was supported by the University Lyon 2, for the purposes of a PhD thesis.

AUTHOR'S CONTRIBUTIONS

FG, CB and HC made substantial contributions to the design of the work. FG designed the tasks and performed data acquisition, most of the analyses and the interpretation of the data. She was also a major contributor during the writing of the manuscript. HC contributed to the data analyses, in particular with regard to the regressions. CB and HC also contributed significantly to revising the work. All the authors read and approved the final manuscript.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Pr. Marco Lauriola and Pr. Gijsbert Stoet for their quick and valuable answers concerning the design of the tasks. We thank Chloé Gadille, Marie Guinand and Mathilde Hammani for their help in administering the tasks. We thank Hippolyte Fournier and Théo Héritier for their help with certain statistical questions. Finally, we thank Timothy Pownall for the English proof reading.

1.3 Annexe de l'article 1 : description détaillée des tâches

I. Executive functions assessment

1.1. Updating process

Letter memory (*Lettre à jour*): consonants appear sequentially on the screen for 500 ms, and are always preceded by a fixation cross for 1500 ms. The letters constitute sets of variable length (from 2 to 5 letters), whose order is counterbalanced. Each set starts with the text “Tenez-vous prêt” (i.e., “Get ready”) for 1000 ms, and ends with the sentence “Inscrivez dans l’encadré les deux dernières lettres de la série” (i.e., “Enter the two last letters of the set in the box”) followed by an answer box. There are 12 sets in total: 3 per length. The older participants give their response verbally and the experimenters enter the responses. The younger adults enter the response themselves. There is no time limit for entering the response, the answer box remains until the spacebar is pressed.

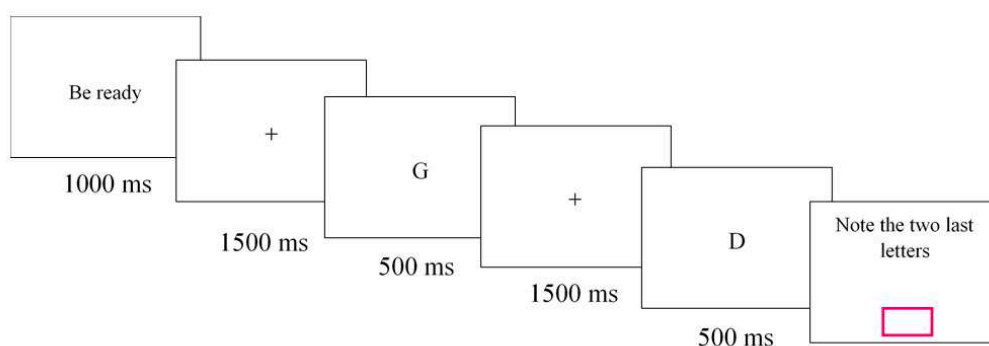


Figure 15. Experimental diagram of letter updating trial

N-back: consonants appear sequentially for 1500 ms each, preceded by a white screen for 900 ms. There are 5 trials of 10 letters for each difficulty level, and 3 different levels (i.e., 1-back, 2-back and 3-back). Specific instructions are given before each level starts. The participants are requested to decide whether the letter currently seen is identical to the letter displayed just before (1-back), two trials back (2-back), and three trials back (3-back) or not. To answer, the participants are required to press one of two keys: one on the right (i.e., “l”) to say “identical”, or one on the left (i.e., “s”) to say “not identical”. After the 2-back level, if the total score (i.e., 1-back + 2-back) is under 75% successful responses, a cut-off criterion stops the task. A break is possible between each trials (i.e., between each sequence of 10 letters): the participants decide the duration by pressing the spacebar to continue.

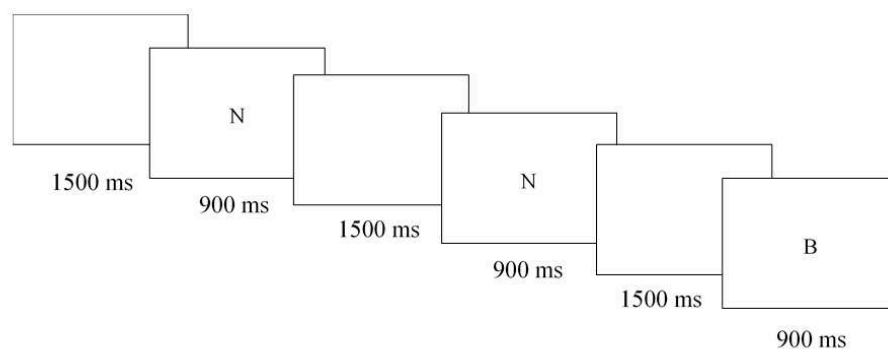


Figure 16. Experimental diagram of N-back trial

1.2. Mental set shifting

The two following tasks were created based on the study of Friedman et al. (2008).

Number-Letter: a horizontal line splits the screen in two equal parts. After 350 ms, a square (side length of 19 mm) appears 5 mm above the line, or below. After another 150 ms, a

number/letter pairing (e.g., 7G) appears in the centre of the square. This set constitutes one trial. The task is composed of 3 blocks of 24 trials. The order of the trials is semi-randomised. The participant is required to make, depending on the position of the set, a parity decision (appearance above the line), or a vowel/consonant decision (appearance below the line). They used the keyboard to enter their responses. For parity decisions, the participants had to indicate whether the number was even or not using the keys on the left side of the keyboard, “w” signalled by a green sticker corresponding to “even” response, and “x” signalled by a pink sticker corresponding to “odd”. For vowel/consonant decision, the participants had to indicate whether the letter was a consonant or not using the keys on the right side of the keyboard, “b” signalled by a green sticker corresponding to “consonant” response, and “n” signalled by a pink sticker corresponding to “vowel”. The number/letter pairing disappears once the participants have pressed one of the four keys. In other words, the set stays on the screen until the participants have given their answer.

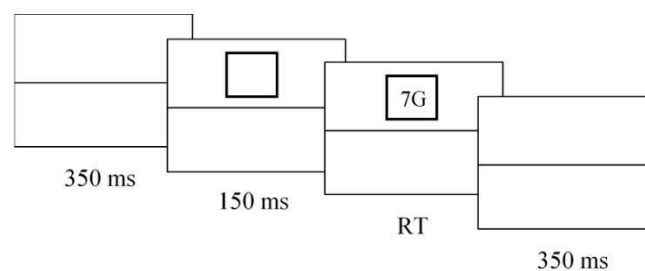


Figure 17. Experimental diagram of Number-Letter trial

Category Switch: a fixation cross appears on its own in the centre of the screen for 350 ms, then a cue (i.e., a shoebox or a hand) appears 95 mm above the cross. One hundred and fifty milliseconds later, a target word replaces the cross. The task is composed of 3 blocks of 24 trials. The order of the trials is semi-randomised. When the cue is a shoebox, the

participants are required to decide whether the target word (e.g., “giraffe” or “cup”) could fit into a shoebox, or not. When the cue is a hand, the participants are required to decide whether the target word is made by humans, or not. To answer, the participants use one of the four keys. For “shoebox” responses, participants use the keys on the right side of the keyboard, “b” signalled by a green sticker corresponding to the “yes” response, and “n” signalled by a pink sticker corresponding to the “no” response. For “hand” responses, participants use the keys on the left side of the keyboard, “w” signalled by a green sticker corresponding to the “yes” response, and “x” signalled by a pink sticker corresponding to the “no” response. The trial changes once the participants have pressed one of the four keys. The trial stays on the screen until the participants have given their answer.

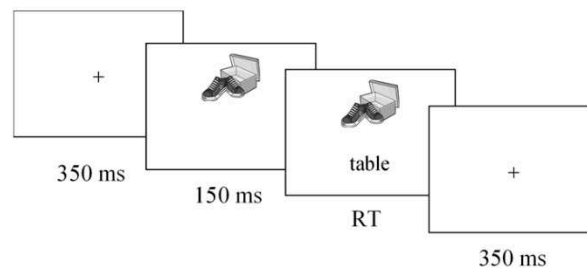


Figure 18. Experimental diagram of Category Switch trial

1.3. Inhibition

Stop Signal: the task is composed of two phases. For the first, which is the learning phase, a fixation cross appears for 500 ms, followed by a pink isosceles triangle (46.7 mm base, and 40 mm in height) and a black circle (46.7 mm in diameter) on each of its sides displayed for 2000 ms. There are 30 trials, one half with the triangle on the right side of the screen, and the other half with the triangle on the left side. The order of the trials is

counterbalanced. During this phase, the participants are required to indicate the location of the triangle. If it appears on the right side, they should press the key on the right with a blue sticker (i.e., the “l” key). If it appears on the left side, they should press the key on the left with the red sticker (i.e., the “s” key). They are asked to respond as quickly and accurately as possible. The figures disappear after the response has been given, or after 2000 ms. During this first phase, the mean reaction time (MRT) is calculated and recorded. During the second phase, which is the test phase, the same material is used with one difference: sometimes a beep sound (44,100 Hz, 100 ms) is played. There are 3 blocks of 30 trials, with 8 followed by the beep sound. The order of the trials is still counterbalanced. During this phase, the participants are required to indicate the location of the triangle by pressing a key, but this time, they have to hold their answer when they hear the beep sound. The time interval between the appearance of the beep and the triangle is called the “signal stop delay” (SSD). It varies during the task, depending on the participants’ performances. Indeed, the first SSD corresponds to the MRT calculated in the first phase of the task. It becomes 50 ms longer if the participants hold their response (i.e., if they inhibit pressing the response button), and it becomes 50 ms shorter if the participants are unable to hold their response (i.e., if they fail to inhibit their action).

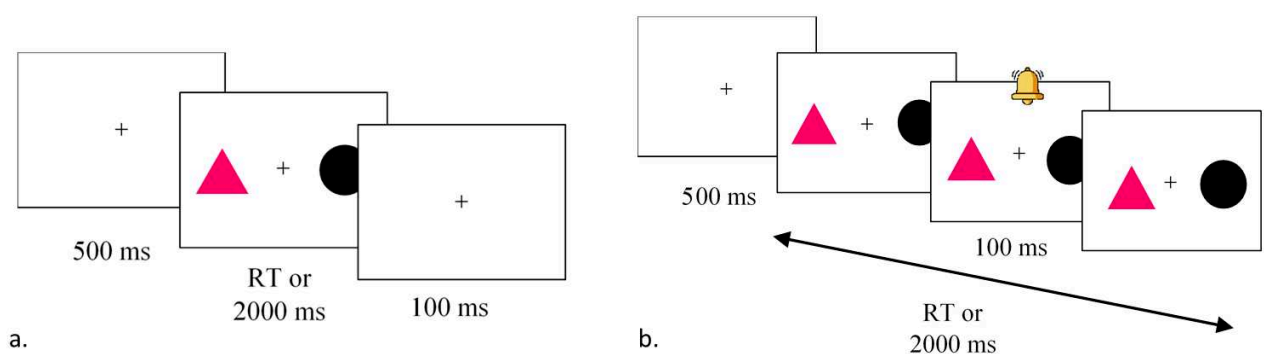


Figure 19. Experimental diagram of two Stop Signal trials: example of the first phase on the left (a.) and example of the second phase on the right (b.)

Stroop test: there are three boards of 100 items (i.e., 10 rows of 10 items), with a practice row of 10 items. The first board is composed of names of colours written in black, the second contains coloured rectangles, and the third is composed of the same names of colours as the first board, but written with non-matching coloured inks (e.g., “yellow” written in red). The participants are required to process as many items correctly as possible for 45 seconds, starting from the left to the right, and from the top to the bottom row. There is one practice row. The task starts on the signal given by the experimenter. For the first board, the participants are required to read the words. For the second board, they are required to name the colours of the rectangles, and finally, for the third board, they are required to say the colour of the ink in which each word is written. The experimenter stops the participants at 45 seconds and notes the last item processed. Self-corrected errors and uncorrected errors are counted separately. Only the younger adult group performed this Stroop test, the older adults performed the Victoria Stroop test described below instead.

Victoria Stroop (Bayard, Erkes & Moroni, 2009): this version of the Stroop test has been adapted (e.g., fewer items) for older adults. There are three boards, each containing 24 items (i.e., 6 rows of 4). The first one is composed of coloured dots, the second one of neutral words written in coloured inks, and the third one of names of colours written in unmatching coloured inks. The three boards have a practice row with 4 items. For each board, the participants are required to say the ink colour, from left to right, row by row, as quickly and accurately as possible. Self-corrected errors and uncorrected errors are counted separately. Equally, inhibition errors (i.e., reading the word instead of naming the colour of the ink, only in the third board), and colour errors (i.e., saying the wrong colour) are not counted together. A practice row enables the experimenter to check whether the instructions are understood. While the practice row is carried out, the rest of the board is hidden under white paper. Once the instructions have been understood, the white paper is taken off, the participants start the

task and the experimenter starts the timer. There is no time limit. Only the older adult group performed the Victoria Stroop test.

II. Working memory tasks

The three tasks are composed of 18 spans, from 1 to 6 letters in length. In total, there are 63 letters per task: 9 consonants repeated 7 times in semi-random order. The same letter cannot be displayed twice in the same span. Each span starts with a fixation cross for 750 ms, followed by a 500 ms blank. Then the first letter appears for 1500 ms. There are 3 spans per length (i.e., 1 to 6 letters), with three different inter-letter delays: 3000 ms, 5000 ms, and 7 000 ms. During this inter-letter delay, other stimuli appear on the screen, depending on the tasks. At the end of each span, an answer box appears and stays on the screen until the spacebar is pressed. The same general instructions are given for the three tasks. The participants are required to read every item that appears on the screen out loud. They are required to remember only the letters, and to recall them in the order of their appearance when the answer box appears. Younger adults can choose to enter their answers themselves, but older adults are required to give them verbally to the experimenter, who then enters the responses. The tasks are always presented in the same order: the baba span, the reading operation span, and the continuous operation span. As it was simpler to explain them from the most to the least challenging, we organised their description in the reverse order of their experimental presentation.

2.1. Continuous operation span

Each trial is composed of series of letters, between which the numbers and operands are presented. After each letter, a first number is displayed for 1000 ms. This number is called the root, and its value ranges from 1 to 9. In total, there are 63 roots, 7 of each value. Depending on the inter-letter delay, a string of 3, 5 or 7 sign-operand pairs (e.g., + 1) are displayed sequentially for 1000 ms each. There are no number-operand strings that could result in intermediate or final answers lower than zero or higher than nine. After each number-operand pair, there is a white screen for 1000 ms. In addition to reading the letters out loud and remembering them, the participants are required to read and calculate the operations out loud, and to give the answer out loud after each number-operand pair (i.e., 8/+1/ response 9/-2/response 7) while the white screen is displayed. The results of the calculation are not taken into account. After each letter, a new operation starts.

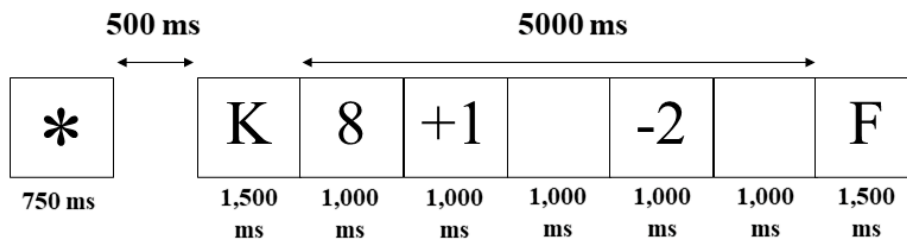


Figure 20. Experimental diagram of continuous operation span - the participants read letters, numbers and sign-operand pairs out loud and give the results of the calculations verbally while the white screen is displayed.

2.2. Reading operation span

The material is identical to the continuous operation span, except that, instead of a white screen, the results are displayed after each number-operand pair. In addition to reading the letters out loud and remembering them, the participants are required to read the operations out loud, but this time, without calculating their results.

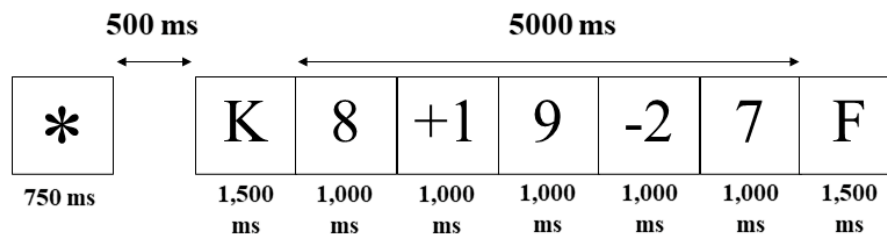


Figure 21. Experimental diagram of reading operation span

2.3. Baba span

Depending on the inter-letter delay, the syllable “BA” is displayed 4, 7 or 10 times after each letter. A white screen appears before each new syllable and remains for 150 ms. The syllable is then displayed for 600 ms, so the inter-letter delay is practically the same as for the continuous and reading operation (i.e., 3000; 5220 and 7500, instead of 3000, 5000 and 7000). The number of “BA” syllables were also calculated to correspond to the number of syllables in the reading and the continuous operation spans (e.g., 8/+1/9 are 4 syllables). In addition to reading the letters out loud and remember them, the participants were required to read the syllable “BA” out loud each time it appears on the screen.

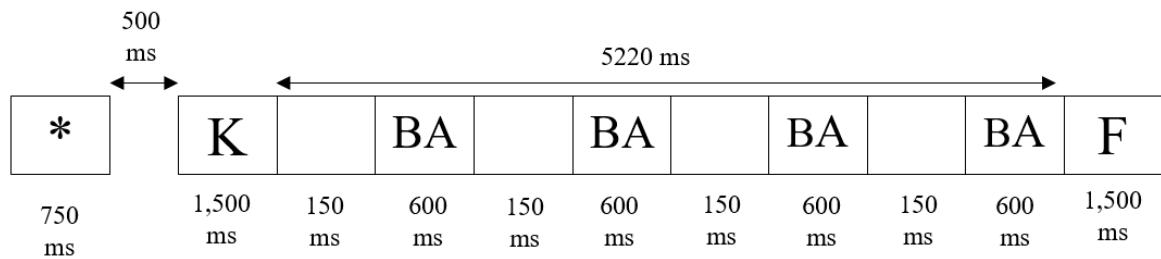


Figure 22. Experimental diagram of reading operation span

III. Decision-making tasks

3.1. Iowa Gambling Task (Bechara et al., 2000)

The participants start with a fictitious amount of money (i.e., €2000) and are required to maximise it. To do so, four decks of cards (A, B, C and D) are presented on the screen, and remain visible throughout the task, always in the same place. For each trial, the participants are required to choose one deck of cards. The older adults express their choice verbally, and the experimenter clicks on the decks mentioned. The younger adults are allowed to click on the decks themselves. The participants have no time limit to answer. Each choice leads to a gain or a loss of money. Their goal is to maximise the initial sum, and no extra instructions are given. When an answer is proposed, the amount of money gained or lost appears below the selected deck. At the same time, the new sum is displayed at the bottom of the screen. When playing, the participants are supposed to understand that the two decks on the left (A and B) allow big gains, but even bigger losses, whereas the two on the right (C and D) allow small gains and small losses. In the long run, decks A and B are disadvantageous, while C and D are advantageous. In total, there are 100 trials. The score corresponds to the number of advantageous choices (i.e., when decks C or D were chosen). For the statistical analysis, the total number of trials is divided into 5 blocks of 20, so the trend in the strategy is visible.

1.4 Résumé des résultats de l'étude 1

Pour rappel, cette étude questionnait à la fois les modifications de la DMC chez les adultes âgés, ainsi que les relations entretenues par cette compétence avec les FE et la MT au cours du vieillissement. Si plusieurs de nos hypothèses opérationnelles ont été vérifiées, certains résultats se sont montrés surprenants. Ci-dessous, nous proposons de résumer les principaux résultats. Ces derniers seront discutés dans la discussion commune des résultats obtenus dans l'étude 1 et l'étude 2 (voir p. 162).

Tout d'abord, comme nous l'avions supposé, les adultes âgés ont obtenu de moins bonnes performances que les adultes jeunes dans les tâches évaluant les FE et la MT, à l'exception des tâches mesurant le coût en flexibilité mentale. Toutefois, les adultes âgés ont commis plus d'erreurs que les adultes jeunes à la fois dans les essais *switch* et *non switch*, rendant la différence réelle de performances intergroupe invisible à travers le coût.

Concernant les résultats à l'IGT, avec le niveau d'éducation en covariant dans les analyses statistiques, adultes jeunes et âgés ont manifesté un comportement similaire. Toutefois, les analyses statistiques réalisées sur chaque groupe séparément, ont permis de faire émerger des différences. Alors que les adultes jeunes ont augmenté le nombre de choix avantageux au fil de la tâche, les adultes âgés ont sélectionné le même nombre de tas avantageux tout au long de la tâche. En revanche, ils ne changeaient pas plus fréquemment de piles de cartes que les adultes jeunes. Contrairement à ce que nous avons prédit, les adultes âgés ne semblaient pas manifester de difficulté à conserver une stratégie stable. En revanche, ils semblaient plus en difficulté que les jeunes pour identifier les tas avantageux.

Dans la tâche de scénarios, les adultes âgés présentaient une aversion au risque et à l'ambiguïté plus forte que les adultes jeunes. En condition de risque objectif, les deux groupes

se montraient sensibles au contexte : évitant les risques dans les contextes de gain et cherchant les risques dans les contextes de perte. Cette sensibilité serait néanmoins affaiblie pour les adultes jeunes, montrant plus d'appétit au risque dans le domaine des gains que les adultes âgés. Enfin, lorsque les choix ont été analysés au regard des pourcentages de certitude qu'une option se produise, les réponses des adultes âgés ont fait apparaître une aversion à la perte. En revanche, le comportement des adultes jeunes était plus surprenant. Plus le pourcentage de certitude augmentait plus ils sélectionnaient les options ambiguës. Ce même comportement a été observé pour le nombre de choix risqués en contexte de perte. En revanche, aucune relation n'a été mise en évidence entre le nombre de choix risqués en contexte de gain et le pourcentage de certitude. Les analyses de régressions ont été réalisées pour les deux groupes confondus afin d'obtenir une puissance statistique suffisante. Ces analyses ont montré que l'inhibition de type suppression d'interférence (i.e., évaluée avec le Stroop) expliquait en partie les performances à l'IGT, et notamment les changements de stratégie. L'implication du Stroop confirme l'hypothèse selon laquelle les processus inhibiteurs seraient particulièrement engagés dans la DMC. Toutefois, contrairement à ce que nous avons supposé, cette implication n'était pas observée pour la tâche de prise de décision sous risque (i.e., tâche de scénarios sous risque). Comme l'effet du vieillissement sur la prise de décision serait médié par le niveau cognitif, les participants ont été redistribués dans deux groupes : haut performeurs (i.e., 25 adultes jeunes et 25 adultes âgés avec les meilleurs scores composites cognitifs) et bas performeurs (i.e., 25 adultes jeunes et 25 adultes âgés avec les moins bons scores composites cognitifs). Des corrélations positives ont ainsi été trouvées chez les bas performeurs uniquement, entre l'impulsivité observée à la tâche de Stop Signal et l'appétit au risque et à l'ambiguïté dans la tâche de scénarios.

L'objectif de cette première partie de thèse visait à examiner les liens entre les modifications des processus cognitifs et celles de la DMC au cours du vieillissement. Alors que l'Étude 1 s'est centrée sur l'impact des FE et de la MT, l'Étude 2 s'est focalisée sur celui de la mémoire épisodique.

2 Etude 2 – Lien entre la DMC et la mémoire épisodique au cours du vieillissement

Article 2 : Gaubert, F., Borg, C., Saint-Martin, H. & Chainay, H. (submitted). The impact of episodic memory on decision making competence in aging: Iowa Gambling Task and daily life situations. *Memory and Cognition*.

2.1 Préambule

Cette deuxième étude s'est donc intéressée à l'influence de la mémoire épisodique, et plus particulièrement des processus de récollection et de familiarité, sur la DMC au cours du vieillissement. Pour cela, 30 adultes âgés ($M = 68.9$, $ET = 6.2$) et 30 adultes jeunes ($M = 24.4$, $ET = 3.5$) ont été inclus. Ils ont réalisé des épreuves de prise de décision et mnésiques en deux sessions, espacées l'une de l'autre de 3 heures 30. Les tâches de prise de décision étaient identiques à celles de l'étude 1, à savoir l'IGT et les scénarios de vie quotidienne sous ambiguïté et sous risque. La mémoire épisodique était quant à elle évaluée à l'aide de tâches de rappel et de reconnaissance, immédiats et différés, avec un paradigme de Remember/Know renseignant sur les processus de récollection et de familiarité. Cette dernière tâche proposait par ailleurs deux conditions d'encodage : soi-même (i.e., juger des adjectifs par rapport à sa propre personnalité) et célébrité (i.e., juger des adjectifs par rapport à la personnalité d'une célébrité).

Nous supposons que les adultes âgés obtiendraient de moins bonnes performances en rappel et en reconnaissance que les adultes jeunes, et que la différence serait plus particulièrement marquée pour la récollection. Nous supposons que les performances en rappel comme en reconnaissance seraient meilleures en immédiat qu'en différé, et que les

mots encodés en condition soi-même seraient mieux reconnus que ceux encodés en condition célébrité. Comme pour l'étude 1, nous supposons que les adultes âgés auraient de façon générale plus de difficulté à conserver une stratégie décisionnelle stable comparativement aux adultes jeunes, et ce, pour l'IGT comme pour la tâche de scénarios (sous risque et sous ambiguïté). Nous prédisions également plus de différences entre les performances des adultes âgés et jeunes pour les décisions sous ambiguïté que sous risque. Enfin, nous supposons que les performances à la tâche mnésique corrèleraient avec celles aux tâches de prise de décision, et plus particulièrement avec la condition sous risque.

Cette seconde étude a également fait l'objet d'un article soumis pour une publication dans *Memory and Cognition*. Son contenu correspond à la prochaine section.

2.2 Contenu de l'article 2 : *The impact of episodic memory on decision making competence in aging: Iowa Gambling Task and daily life situations*

The impact of episodic memory on decision making competence in aging: Iowa Gambling Task and daily life situations

Fanny **Gaubert**^a, Céline **Borg**^{a,b,c,d}, Hélène **Saint-Martin**^e and Hanna **Chainay**^a

^a Etude des Mécanismes Cognitifs laboratory, Lyon 2 University, Bron, France

^b University Hospital of Saint-Etienne, Hôpital Nord, Saint-Etienne, France

^c Psychology Faculty, Catholic University of Lyon, France

^d Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, University of Grenoble Alpes, France

^e Le Vinatier hospital centre, Bron, France

Abstract

Although episodic memory (EM) undergoes modifications over aging, no study investigated systematically the link between these modifications and decision making competency (DMC) perturbations in old adults. The aim of this work was to specify the role of recollection and familiarity processes on DMC in aging. To this end, 30 young adults and 30 old adults performed a remember/know task assessing EM. They also completed the Iowa Gambling Task (IGT) and an original scenarios task based on daily life-inspired situations, under risk and under ambiguity conditions, to evaluate DMC. Results revealed lower performances in old adults in recall and recognition tasks compared to young adults, but similar number of remember-type hits. Old adults were less consistent in their strategy at the IGT, while young adults took more ambiguous and risky decisions for the scenarios task. The Socioemotional Selectivity Theory and the self-perceived invincibility theory could bring some lightening to interpret these results. Lastly, familiarity process would be more implicated in DMC than recollection. Its less cognitive resources demand and its more generalizable aspect compared to recollection could explain our results.

INTRODUCTION

Changes in Decision-Making Competence during ageing

Modifications in the way old adults make decisions have been identified in decision-making under risk (i.e., the possible outcomes and their probability of occurrence can be estimated), and decision-making under ambiguity (i.e., the possible outcomes and their probability of occurrence remain uncertain) (Brand et al., 2009; Levy et al., 2010). Under ambiguity, there is a general consensus that a modification occurs in late adulthood. Studies using the Iowa Gambling Task (IGT) have found either difficulties in maintaining a stable strategy (Zamarian et al., 2008) or a decrease in the number of advantageous decisions (Denburg et al., 2007; Fein et al., 2007). Under risk, the findings are more contrasted, with some studies indicating similar DMC in young and old adults (Dror et al., 1998; Zamarian et al., 2008) and others finding modifications (Deakin et al., 2004). It is thought that the range of different tasks used is responsible for this heterogeneity (Brand & Markowitsch, 2010).

While DMC has been investigated in late adulthood, we know of only a few studies that have investigated DMC in everyday life situations (Johnson, 1990; Meyer et al., 2007), and none of them has specifically examined the link between DMC and age-related changes in episodic memory. However, according to the main frameworks describing DMC, long-term memory is one of the core functions on which decisional abilities rely.

The role of episodic memory in decision making

Most of the models that have been designed to explain DMC suppose the co-existence of two systems, one or other of which takes precedence depending on the decisional situation (Gaubert & Chainay, 2021; Liebherr et al., 2017; Schiebener & Brand, 2015). The first one is considered to be intuitive and would take precedence under ambiguous conditions, while the second is a reflective system which would predominate under risk (McCarrey et al., 2010).

Interestingly, both models focusing on decision-making under ambiguity (e.g., The Somatic Markers Hypothesis) (Bechara et al., 1994; Bechara & Damasio, 2005) and models focusing on decision-making under risk (e.g., Brand et al., 2006) consider that long-term memory is involved in the decisional process. In one case, the models focus primarily on the emotional content of the process, whereas in the other, the impact of explicit knowledge is described.

Changes in episodic memory during ageing

Ageing is accompanied by modifications to the structure and the functioning of the brain (e.g., hippocampal atrophy) (Persson et al., 2006) and this inevitably brings about changes in cognition. Memory issues play a particularly important role in age-related development as the

proportion of subjective memory complaints increases over the years (Bassett & Folstein, 1993).

From a behavioural perspective, the changes that episodic memory undergoes with ageing are characterised by a loss of precision in memory retrieval (Korkki et al., 2020), and a difficulty binding the different components of an episode together into a cohesive entity (Naveh-Benjamin et al., 2004). Just like young adults, old adults tend to memorize information that is self-related better than information related to another person (Genon et al., 2014; Gutchess et al., 2007). However, this self-reference effect is attenuated with age (Gutchess et al., 2007). Different tasks can be used to assess episodic memory: recall (i.e., free or cued) or recognition (i.e., simple or with a Remember/Know paradigm to obtain information on the recollection and familiarity processes). Whereas free recall (Bouazzaoui et al., 2022) and recollection performances (Anderson et al., 2008; Bastin & Van der Linden, 2003; Guillaume et al., 2009; Prull et al., 2006) seem to deteriorate in late adulthood, there is no consensus concerning the familiarity process. Even if the majority of studies have found that this is preserved in old adults (Anderson et al., 2008; Bastin & Van der Linden, 2003; Guillaume et al., 2009), Prull et al. (2006) stress that the results depend on the tasks used.

Objective

As presented here above several studies have suggested that DMC might depend on long-term memory integrity, irrespective of the decisional context is (i.e., under risk and under ambiguity). In addition, it has been shown that modifications occur in both DMC and episodic memory over ageing. However, to our knowledge, no study has specifically investigated the link between these two modifications in old adults. The aim of the present study was to use tasks based on everyday life situations and the IGT to examine DMC under ambiguity and under risk and its link with episodic memory. Recall and recognition were assessed and, specifically in connection with recognition, the recollection and familiarity processes were also evaluated. Our first prediction was that old adults would have lower recall and recognition performances than young adults, and especially for Remember-type recognition. In the light of the literature, we also predicted that DMC under ambiguity would undergo more modifications than DMC under risk in old adults than in young adults. Finally, we predicted that decision-making capacity would correlate with episodic memory performance, especially in the under-risk condition, as our episodic memory task calls more on reflective than emotional processes.

METHOD

Participants

Two groups of participants were included in the study: a group of 30 old adults (17 women and 13 men) aged between 60 and 83 years ($M = 68.9$, $SD = 6.2$) and a group of 30 young adults (17 women and 13 men) aged between 18 and 30 years ($M = 24.4$, $SD = 3.5$). The proportion of men and women was identical. The age difference between the groups was significant ($U = 900$, $p < .001$, $\eta^2 = 1$), but both groups had comparable levels of education ($U = 397.5$, $p = .215$, $\eta^2 = -.46$).

The old participants underwent a brief neuropsychological assessment consisting of the Mini Mental State Examination (MMSE), which indicated a preserved global mental status ($M = 28.8$, $SD = 1.3$) (Folstein et al., 1975; French version: Hugonot et al., 2008), and the brief frontal efficiency battery (*Batterie Rapide d'Efficiency Frontale*, BREF) ($M = 16.8$, $SD = 1.7$) (Dubois & Pillon, 2000).

All the participants completed the South Oaks Gambling Screen (SOGS) (Lesieur & Blume, 1987), i.e., an instrument designed to identify pathological gamblers. None of them had a pathological gambling profile. The old adults also completed the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS): anxiety score ($M = 7.1$, $SD = 3.0$) and depression score ($M = 3.3$, $SD = 2.3$). None of them had certain anxiety or depression symptomatology. The young adults completed the Spielberg State-Trait Anxiety Inventory (STAI): state anxiety score ($M = 40.5$, $SD = 13.2$) and trait anxiety score ($M =$

42.7 , $SD = 10.3$). In addition, before the decision-making and the episodic memory tasks, the participants' mood was assessed with the Brief Mood Introspection Scale (BMIS) (Mayer & Gaschke, 1988). Two following scores were taken into account: Pleasant/Unpleasant (before the decision-making task, for old adults $M = 55.8$, $SD = 6.4$ and for young adults $M = 47.6$, $SD = 6.3$; and before the episodic memory task, for old adults $M = 56$, $SD = 6.1$ and for young adults $M = 46.4$, $SD = 7.2$) and Aroused/Calm (before the decision-making task, for old adults $M = 29.3$, $SD = 2.9$ and for young adults $M = 27.2$, $SD = 3.7$; and before the episodic memory task, for old adults $M = 28.6$, $SD = 3.0$ and for young adults $M = 26.3$, $SD = 3.4$).

The study was approved by the ethical committee (Comité de Protection des Personnes Ile de France XI) and was assigned the number 19031-57438.

Experimental tasks

All the tasks performed by the old adults were programmed and run on E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools Inc.) on a Dell laptop with azerty keyboard. Because of the pandemic context, all the tasks performed by the young adults except for the IGT were programmed and run on Psytoolkit (Stoet, 2010, 2017).

Each task began with instructions, an example to illustrate them, and practice trials. The instructions were written on the screen, and

were also given verbally by the experimenter to the old adults, who performed the task in the experimenter's presence.

Decision-making assessment

The Iowa Gambling Task

The participants were required to maximise a fictitious amount of money (i.e., €2000) by selecting cards from among four decks (A, B, C and D) presented on the screen for 100 trials. The older adults said the name of the selected deck aloud and the experimenter clicked on it. The younger adults could click on the decks themselves. There was no time limit. Each selection led to a gain or loss of money, the amount of which was output below the selected deck after each trial together with the participant's total sum, which was displayed at the bottom of the screen. As the game went along, the participants were supposed to understand that the two decks on the left (A and B) allowed them to make big gains, but risked even bigger losses, whereas the two on the right (C and D) incurred small gains and small losses.

The Scenarios Task

The Scenarios Task had been designed for the purposes of an earlier study investigating the links between decision making, working memory and executive functions. The description here is the same as that presented in Gaubert et al. (under review).

This experimental task consisted of two subtasks, one assessing decisions under ambiguity, and the other assessing decisions

under risk. It was based on two protocols used in two different studies: Lauriola and Levin (2001), and Lauriola et al. (2007).

Each subtask consisted of 36 short scenarios based on everyday life situations (see Figure 23 for examples). For each trial, the context was described in two or three sentences in the top part of the screen. Below, two boxes labelled with the number 1 (i.e., on the left-hand side) or 2 (i.e., on the right-hand side) proposed two possible options. The participants were instructed to read all the information and to select their preferred option by pressing the 1 key or the 2 key. The context and the options remained visible at all times. Once the participants had responded, the next trial appeared. In the under-risk condition, the participants were required to choose between one safe option (100% probability of occurrence) and a risky one (x% likelihood of occurrence). Half the scenarios involved a loss vs a smaller loss, and the other half a gain vs a bigger gain. In the under-ambiguity condition, the 36 scenarios consisted of the same 4 stories repeated with 9 different probabilities. The participants were required to choose between an unambiguous option (x% likelihood of occurrence) and an ambiguous one (unknown % likelihood of occurrence). In both subtasks, x could take the value of 2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 and 98% likelihood. In one half of the scenarios, the numerical information was given as a percentage (e.g., 2% likelihood of making up lost time), and in the other half, it was given as a frequency (2 chances out of 100 of making up lost time). Both the location of the numerical

information and the location of the two options were counterbalanced. In the under-risk condition, the order of the scenarios was randomised. In the under-ambiguity condition, the order of the scenarios was semi-randomised.

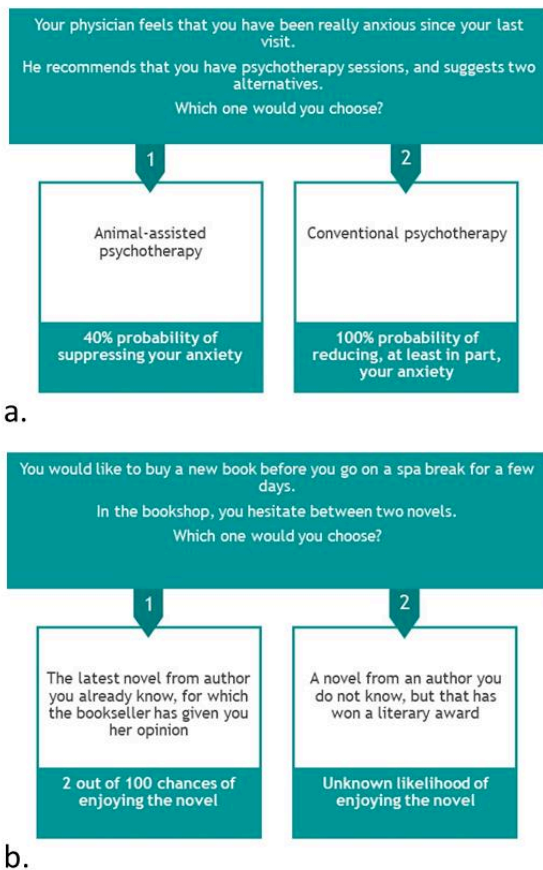


Figure 23. Example of scenario under risk on the left, and under ambiguity on the right

Recognition task

Episodic memory was measured using a modified Remember-Know paradigm inspired by Genon et al. (2014). Ninety-six adjectives were selected and organised into 4 lists of 24 words each. In each list, half of the adjectives had a positive and the other half a negative valence. The four lists were similar in terms of frequency, number of letters and number of syllables. The task was divided into two parts, consisting of three and two phases, respectively (see Figure 24). During the first part, the

encoding phase started once the instructions and examples had been presented. Two conditions were presented one after the other: self and celebrity condition. In the self condition, participants had to decide whether the adjectives presented on the screen corresponded to their personality or not. The question “Are you?” was written on the top of the screen and the adjectives were presented one after the other in the centre. When the experiment was conducted in the presence of the experimenter (i.e., for the old adults), the participants answered “yes” by pressing the “1” key labelled with a blue sticker, and “no” by pressing the “s” key labelled with a red sticker. In remote mode (i.e., for the young adults), the participants answered “yes” by pressing the “2” key and “no” by pressing the “1” key, both on the main keyboard. The next adjective appeared once one of the two answer keys had been pressed. The adjectives, which were written in French, agreed with the participant’s gender (i.e., feminine vs masculine). In the celebrity condition, the same procedure was followed and differed only in that instead of answering the question “Are you?”, the participants had to answer for a celebrity. For the old adults group, the target celebrities were “Catherine Deneuve” and “Michel Sardou”, i.e., a French actress and a French singer. For the young adults group, the celebrities were “Marion Cotillard” and “Jean Dujardin”, i.e., a younger French actress and French actor. Twenty-four adjectives were presented for each condition, meaning that 48 adjectives were encoded in total. Directly after the encoding phase, the participants had to perform a Remember/Know task. Forty-eight

adjectives were presented one after the other. Of these, 24 had been presented during the encoding phase (i.e., 12 per condition) and 24 were new. During this phase, the participants had to answer the question “Have you already seen this adjective?”. The same response keys as for the encoding phase were used to answer yes or no. If the answer was “no”, the adjective disappeared and the next one was displayed on the screen. However, if the answer was “yes”, the participant was asked three more questions: A) What question did this adjective follow? 1) Are you?, 2) Marion Cotillard (e.g.,) is?, 3) I don’t remember; B) What did you answer? 1) yes, 2) no, 3) I don’t remember; and C) Reading

this adjective, did you have: 1) an image or memory in mind, or a particular feeling?, 2) none of these, 3) I don’t remember. If the participants answered C.1., a text area appeared in which the participants were asked to describe their image/memory/feeling. If the participants answered “I don’t know” for the three complementary questions, the recognition was considered as a “know”. If the participants had at least one precise memory of the encoding phase (i.e., the condition, the answer, the image/memory/feeling), the recognition was considered as a “remember”. Once the recognition list had been completed, a free recall phase started.

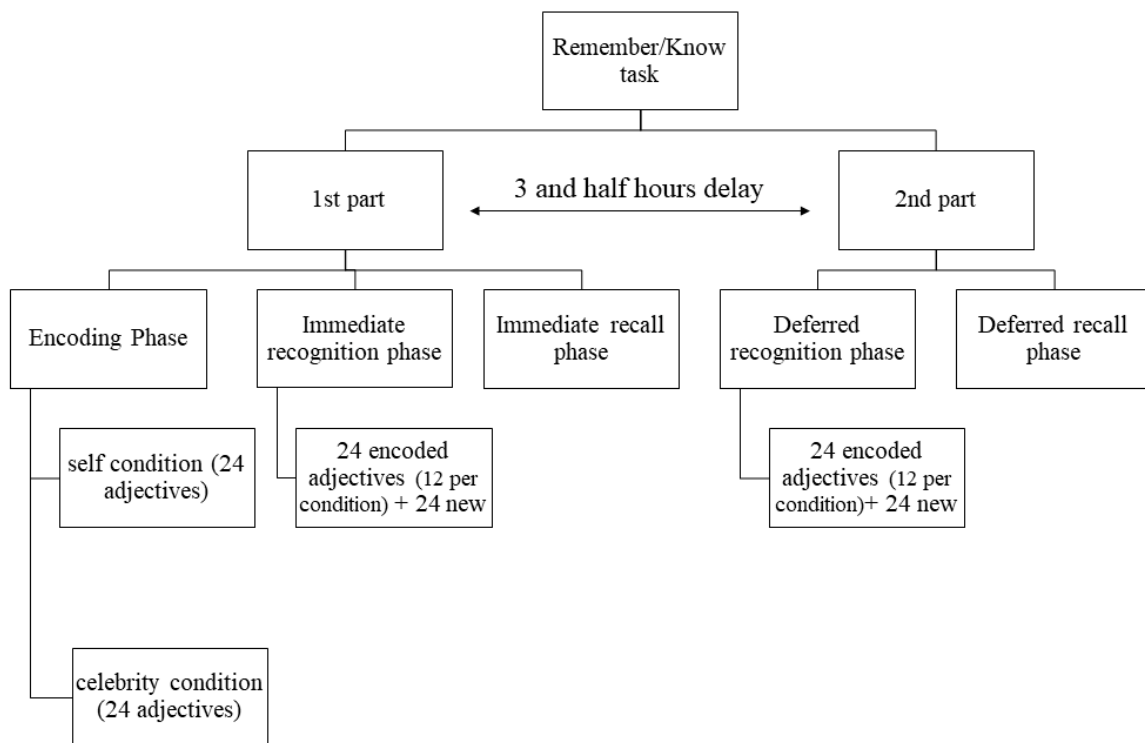


Figure 24. Diagram describing the Remember/Know task procedure

The participants were instructed to recall as many of the presented words (i.e., from the encoding phase and the new words) in a maximum of five minutes. The old adults spoke the adjectives aloud and the experimenter wrote them down. The young adults saw a special text area in which they could type the recalled adjectives by themselves. The second part of the task took place three-and-a-half hours later. This started with a deferred recognition phase and used the 24 encoded words (i.e., 12 per condition) not displayed during the immediate recognition phase, together with 24 new adjectives. The same Remember/Know procedure was followed as in the first recognition phase. Once the 48 adjectives had been presented, a deferred recall phase started. The participants were asked to give the maximum number of adjectives they could remember from both parts of the task taken together.

Eight versions of the task were programmed in order to counterbalance the encoding condition order as well as the lists of encoded adjectives.

Procedure

The experiment consisted of two sessions separated by a three-and-a-half hour break. The young adults came to the laboratory to perform the IGT, preceded by the Spielberg State-Trait Anxiety Inventory, and to listen to all the instructions for the remote tasks. For the remote part, they received two e-mails. The first one contained the instructions (i.e., written and

spoken) for the Remember/Know (R/K) task, as well as the link to the BMIS questionnaire and the two links to the first and second part of the R/K task. The experimenter specifically emphasised two points: 1) the need to respect the three-and-a-half hour break, 2) the need to perform the task in a quiet environment. The second e-mail contained the instructions for the scenarios task, the under-risk and the under-ambiguity condition, as well as the links to the BMIS questionnaire. The participants were asked to respond to the questionnaire and perform the two conditions of the scenarios task in sequence, once again in a quiet environment.

For health reasons, the old adults performed the tasks at home with the experimenter. During the first session, they performed the neuropsychological examination, followed by the SOGS, and the HAD scale. They then performed the first part of the R/K task. The second session took place three-and-a-half hours later, starting with the second part of the Remember/Know task, followed by the IGT, the OTDL-R and the scenarios task.

Transparency and openness

Materials, data and analysis code for this study are available on request to the first author of this article. Data were analysed using JASP (version 0.14.0.0, JASP Team, 2022). This study's design and its analysis were not pre-registered.

RESULTS

Group comparisons

Preliminary analyses were performed to check for sphericity (Mauchly's test) or normality of the distribution (Shapiro-Wilk), and homogeneity of variance (Levene's test). A Greenhouse-Geisser correction was applied when sphericity was not respected, and the Mann-Whitney U was used when Shapiro-Wilk suggested a deviation from normality.

Episodic memory

Episodic memory was assessed by means of recall and recognition tasks, in both immediate (i.e., just after the encoding phase) and deferred (i.e., 3 ½ hours after the encoding phase) conditions. For the recall analyses, two scores were calculated: the total number of recalled adjectives (TNRA) (i.e., taking into account words from the encoding lists and the distractors from the recognition lists), and the number of recalled adjectives from the encoding list (ENRA). For the recognition task, several performance indicators were taken into account. C and d' indices were calculated for each recognition time (i.e., immediate vs deferred) and reflected the ability to distinguish old from new items, and the decisional strategy (i.e., favouring "yes" answers, which reflected a liberal strategy, vs "no" answers, which reflected a conservative strategy), respectively (Budson et al., 2006; Snodgrass & Corwin, 1988).

Repeated-measures ANOVAs were performed on the TNRA score and the ENRA score for the recall task and the d' and C indices for the recognition task, with Recall Time (immediate vs. deferred) as within-subject factor and Group (old adults vs. young adults) as between-subject factor. In addition, the repeated-measures ANOVA for the recognition task was also performed on the number of hits (i.e., correctly recognized adjectives from the encoding list) and number of False Alarms (FA), with recognition time (immediate vs. deferred), recognition type (Remember vs Know), and encoding condition (self vs. celebrity) as within-subject factor, and group (old adults vs. young adults) as between-subject factor. These analyses were followed by post hoc comparisons when necessary and Bonferroni corrections were applied.

Performances in the recall task

For the TNRA score, a significant simple effect of group ($F(1,58) = 26.3, p < .001, \eta^2_p = .320$) was revealed, with more adjectives being recalled by the young adults (mean = 15.1, SE = 4.9) than the old adults (mean = 9.1, SE = 4.6). Neither the simple effect of recall time ($F(1,58) = 0.4, p = .541, \eta^2_p = .007$) nor the recall time*group interaction ($F(1,58) = 0.2, p = .635, \eta^2_p = .004$) (see Figure 25.a) were significant.

Table 4. Scores (mean and SD) of young and old adults on the episodic memory task

	Mean young adults	SD young adults	Mean old adults	SD old adults
TNRA				
<i>Immediate recall</i>	14.9	4.6	8.8	4.3
<i>Deferred recall</i>	15.0	5.3	9.3	4.8
ENRA				
<i>Immediate recall</i>	10.9	4.2	6.2	3.3
<i>Deferred recall</i>	9.4	4.0	5.8	3.6
d' index				
<i>Immediate recognition</i>	1.5	0.6	1.1	0.6
<i>Deferred recognition</i>	0.7	0.4	0.4	0.6
C index				
<i>Immediate recognition</i>	-0.8	0.3	-0.6	0.3
<i>Deferred recognition</i>	-0.4	0.3	-0.2	0.3
Remember-type Hits				
<i>Immediate recognition</i>	8.8	4.1	9.8	3.7
<i>Deferred recognition</i>	4.8	3.2	3.7	3.1
Know-type Hits				
<i>Immediate recognition</i>	9.5	3.8	3.4	2.5
<i>Deferred recognition</i>	7.2	4.1	3.3	2.7
Self Hits				
<i>Immediate recognition</i>	10.2	2.2	7.8	2.6
<i>Deferred recognition</i>	6.9	2.6	5.2	2.4
Celebrity Hits				
<i>Immediate recognition</i>	8.1	2.7	5.6	2.7
<i>Deferred recognition</i>	5.1	2.9	3.9	2.1
Remember-type FA				
<i>Immediate recognition</i>	3.1	2.0	2.1	2.4
<i>Deferred recognition</i>	3.5	2.3	3.1	2.5
Know-type FA				
<i>Immediate recognition</i>	0.6	1.0	0.7	0.8
<i>Deferred recognition</i>	1.0	1.8	0.7	1.3

For the ENRA score, the ANOVA showed a significant simple effect of group ($F(1,58) = 22.8, p < .001, \eta^2_p = .289$), with more adjectives being recalled by the young adults (mean = 10.3, SE = 4.2) than the old adults

(mean = 6.0, SE = 3.4). Neither the simple effect of recall time ($F(1,58) = 3.8, p = .055, \eta^2_p = .064$) nor the recall time*group interaction ($F(1,58) = 1.5, p = .234, \eta^2_p = .025$) (see Figure 25.b) were significant.

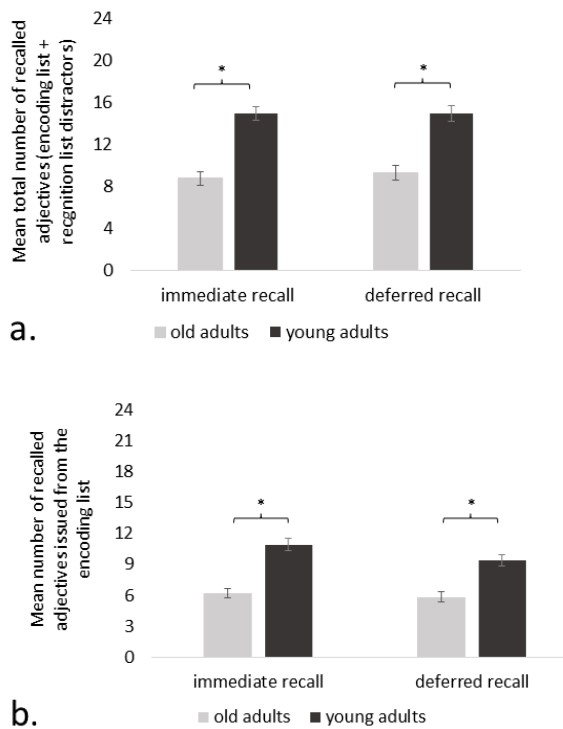


Figure 25. (a) Mean total number of recalled adjectives (words from the encoding and the recognition lists taken into account) for immediate and deferred recall separately; (b) Mean total number of encoded recalled adjectives (only words from the encoding list taken into account) for immediate and deferred recall separately. Bars correspond to standard errors.

Performances in the recognition task

d' and C indexes

The repeated-measures ANOVA on the d' index showed a significant simple effect of recognition time ($F(1,58) = 71.6, p < .001, \eta^2_p = .552$) as well as a significant simple effect of group ($F(1,58) = 8.1, p = .006, \eta^2_p = .123$). No recognition time*group interaction was observed ($F(1,58) = 0.4, p = .522, \eta^2_p = .007$). Old items were distinguished from new items better in immediate recognition than in deferred recognition and young adults also distinguished better between old and new items than old adults (see Figure 26.a and Table 4).

The repeated-measures ANOVA on the C index also showed a significant simple effect of recognition time ($F(1,58) = 71.9, p < .001, \eta^2_p = .554$) and a significant simple effect of group ($F(1,58) = 8.1, p = .006, \eta^2_p = .122$). No recognition time*group interaction was observed ($F(1,58) = 0.4, p = .541, \eta^2_p = .006$) (see Figure 26.b). The C index was significantly higher in deferred compared to immediate recognition, meaning that the strategy was less liberal in deferred than immediate recognition. Whatever the recognition time was, old adults exhibited a significantly less liberal strategy than young adults (see Table 4).

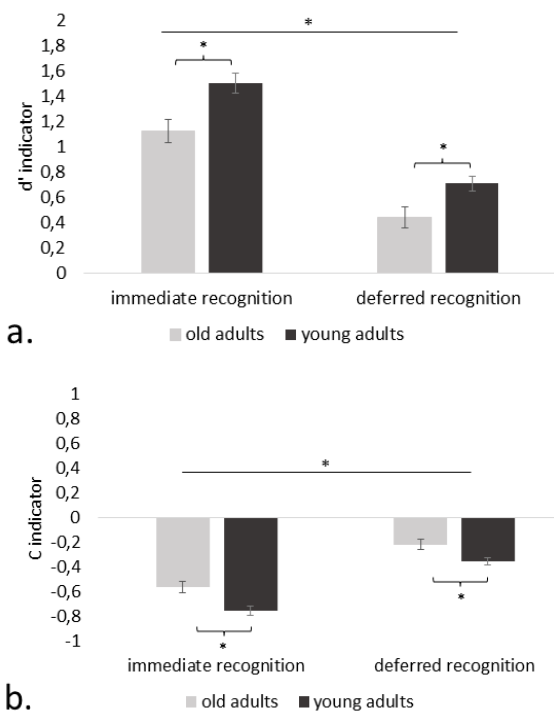


Figure 26. (a) d' indicator reflecting the ability to distinguish previously seen from new items for each group and each recognition time separately; (b) C indicator reflecting the decisional strategy for each group and each recognition time separately. Bars correspond to standard errors.

HIT and FA responses

The repeated-measures ANOVA on HITs revealed significant simple effects of recognition time ($F(1,58) = 59.1, p < .001, \eta^2_p = .505$), encoding condition ($F(1,58) = 53.1, p < .001, \eta^2_p = .478$), recognition type ($F(1,58) = 5.6, p = .021, \eta^2_p = .089$) and group ($F(1,58) = 18.6, p < .001, \eta^2_p = .243$). The participants achieved more HITs in the immediate than the deferred condition and for the items encoded in the self than the celebrity condition, and more HITs were classified as remember than Know type recognitions (see Figure 27.a, 27.b and Table 4). The recognition time*recognition type interaction ($F(1,58) = 17.4, p < .001, \eta^2_p = .231$) was significant. The post hoc analyses showed comparable numbers of Remember-type and Know-type hits in deferred recognition ($t(58) = -.14, p_{\text{holm}} = .883$), but more Remember-type hits than Know-type hits in immediate recognition ($t(58) = -4.05, p_{\text{holm}} < .001$), and more Remember-type hits ($t(58) = -8.49, p_{\text{holm}} < .001$) and Know-type hits ($t(58) = -2.86, p_{\text{holm}} = .015$) in immediate recognition than deferred recognition (see Figure 27.a). In addition, the recognition type*group interaction ($F(1,58) = 24.6, p < .001, \eta^2_p = .298$) was also significant. The post hoc analyses showed comparable numbers of Remember-type hits for both groups ($t(58) = 1.3, p_{\text{holm}} = .376$), but more Know-type hits for the young than the old adults ($t(58) = -6.6, p_{\text{holm}} < .001$). Moreover, the number of Remember and Know-type recognitions were equivalent for the young adults ($t(58) = -1.8, p = .219$), but the old adults made more

Remember than Know-type recognitions ($t(58) = 5.2, p < .001$) (see Figure 27.a).

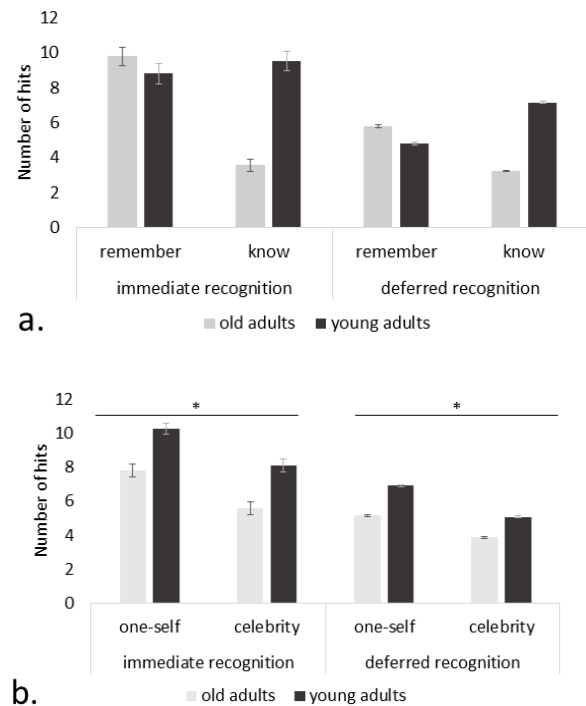


Figure 27. (a) Number of hits for each group and each recognition time separately; (b) Number of hits for each group and each recognition time separately. Bars correspond to standard errors.

The repeated-measures ANOVA on the number of FA, with recognition time and recognition type as within-subject factor, revealed a significant simple effect of recognition time ($F(1,58) = 4.7, p = .034, \eta^2_p = .075$), and a significant simple effect of recognition type ($F(1,58) = 62.6, p < .001, \eta^2_p = .519$). More FA were committed in deferred recognition (mean = 4.1, SD = 2.9) than in immediate recognition (mean = 3.3, SD = 2.4), and more FA were also committed for Remember-type answers (mean = 5.9, SD = 3.8) than for Know-type answers (mean = 1.5, SD = 2.1). No other significant effect was found.

Iowa Gambling Task

Two indicators of IGT performances were taken into account to compare the two groups: 1) the net score, obtained by subtracting the number of selections of disadvantageous decks from the number of selections of advantageous decks (i.e., (C+D) – (A+B)), and 2) the number of strategy switches, corresponding to the changes in deck selections from advantageous to disadvantageous choices, and vice versa. These indicators were calculated in total (i.e., 100 trials), per half (i.e., two halves of 50 trials) and per block (i.e., 5 blocks of 20 trials).

Group comparisons (old adults vs young adults) were performed on the total net score and on the total number of strategy switches. Repeated-measures ANOVAs were also performed on the score and on the number of strategy switches with half (first vs. second) or block (first vs. second vs. third vs. fourth vs. fifth) as within-subject factor and group (old adults vs young adults) as between-subject factor. These analyses were followed by post-hoc comparisons.

Neither the total IGT net score ($t(58) = -1.5$, $p = .145$, $d = -.38$) nor the total number of strategy switches ($U = 357.5$, $p = .174$, $d = -.206$) differed significantly between the two groups.

The ANOVA showed a significant simple effect of block on the net score ($F(3.2,182.7) = 9.2$, $p < .001$, $\eta^2_p = .137$) (see Figure 28.a). The post-hoc analyses showed significant differences between the 1st block and

the 3rd ($t(58) = -4.2$, $p_{\text{holm}} < .001$, $d = -.545$), the 4th block ($t(58) = -5.2$, $p_{\text{holm}} < .001$, $d = -.676$) and 5th block ($t(58) = -4.6$, $p_{\text{holm}} < .001$, $d = -.590$), and between the 2nd block and the 4th block ($t(58) = -3.2$, $p_{\text{holm}} = .014$, $d = -.402$). There was neither a significant effect of group ($F(1,58) = 2.2$, $p = .145$, $\eta^2_p = .036$) nor a block*group interaction ($F(3.2,182.7) = 1.6$, $p = .191$, $\eta^2_p = .027$). When the 100 trials were split into two halves, the Friedman ANOVA also revealed a significant difference between the first and the second part of the task ($\text{Chi}^2(1) = 22.2$, $p < .001$), with better net scores in the second half (mean = 12.3, SE = 19.4 for young adults, and mean = 3.4, SD = 12.7 for old adults) than the first (mean = -3.3, SE = 10.2 for young adults and mean = -3.9, SD = 15.4 for old adults).

The ANOVA also showed a significant simple effect of block on the number of strategy switches ($F(1,58) = 6.3$, $p < .001$, $\eta^2_p = .098$) (see Figure 28.b), but no significant effect of group ($F(1,58) = 1.3$, $p = .255$, $\eta^2_p = .022$). The post hoc analyses showed significant differences between the 1st block, the 4th block ($t(58) = 3.7$, $p_{\text{holm}} = .002$, $d = .483$) and the 5th block ($t(58) = 4.2$, $p_{\text{holm}} < .001$, $d = .549$), and between the 3rd block and the 5th ($t(58) = 3.1$, $p_{\text{holm}} = .020$, $d = .394$). There was also a significant block*group interaction effect ($F(1,58) = 5.7$, $p < .001$, $\eta^2_p = .089$). Post hoc comparisons with Bonferroni corrections revealed no significant difference between the blocks for the old adults (all $p_{\text{bonf}} = 1.000$), but significant differences between the 1st block, the 4th block ($t(58) = 4.1$, $p_{\text{bon}} = .003$) and the 5th

block ($t(58) = 5.4$, $p_{\text{bon}} < .001$), between the 2nd block and the 5th ($t(58) = 4.5$, $p_{\text{bon}} < .001$), and between the 3rd block, the 4th ($t(58) = 3.4$, $p_{\text{bon}} = .035$) and the 5th ($t(58) = 4.7$, $p_{\text{bon}} < .001$) were observed for young adults. When the 100 trials were split into two halves, the repeated-measures ANOVA showed a simple effect of the halves on the number of strategy switches ($F(1,58) = 10.5$, $p = .002$, $\eta^2_p = .153$). There was also a half*group interaction effect ($F(1,58) = 10.8$, $p = .002$, $\eta^2 = .157$), with no difference in the number of strategy switches being observed between the two halves in the old adults ($t(58) = -.031$, $p_{\text{holm}} = 1.000$). However, there were significantly more strategy switches in the first than in the second half in the young adults ($t(58) = 4.6$, $p_{\text{holm}} < .001$). No simple effect of group was observed ($F(1,58) = 1.3$, $p = .255$, $\eta^2 = .022$).

Scenarios task

In the statistical analyses, we took account of the number of risky and ambiguous decisions (i.e. under risk and under ambiguity, respectively). For the under-risk condition, repeated-measures ANOVAs were performed on the number of risky decisions, with group (old adults vs young adults) as between-subject factor and with, first, context (gain vs. loss) and certainty (2%, 10%, 20%, 40, 50, 60, 80, 90 and 98%) and then numerical presentation (percentage vs. frequency) as within-subject factors. The ANOVAs with group and, first, certainty and then numerical presentation were also performed with the data from the under-ambiguity condition. If necessary, the analyses were followed by post-hoc comparisons.

Under risk condition

The repeated-measures ANOVA on the number of risky choices revealed significant simple effects of percentage of certainty ($F(6.4, 396.8) = 4.8$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .076$), of context ($F(1, 58) = 135.6$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .700$) and of group ($F(1,58) = 19.2$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .248$). More risks were taken by the young adults (mean = 1.1, SD = 0.8) than by the old adults (mean = 0.9, SD = 0.7), and more risks were taken in the loss context (mean = 1.3, SD = 0.7) than in the gain context (mean = 0.8, SD = 0.7). The post hoc analyses with Bonferroni corrections revealed significant differences between 2 % certainty, 60 % ($t(58) = -5.4$, $p_{\text{bonf}} < .001$), 90 % ($t(58) = -4.2$, $p_{\text{bonf}} = .001$) and 98 % ($t(58) = -3.5$, $p_{\text{bonf}} = .020$); between 10 % certainty and 60 % ($t(58) = -3.4$, $p_{\text{bonf}} = .029$);

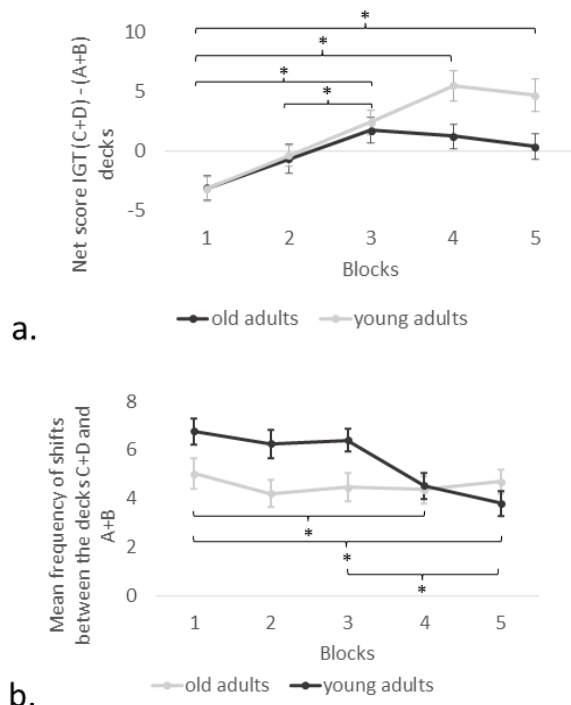


Figure 28. In each block and for the two groups independently: (a) IGT net score, corresponding to (C+D)-(A+B) deck selections; (b) Mean frequency of shifts between advantageous and disadvantageous decks. Bars represent standard errors.

and between 60 % certainty and 80 % ($t(58) = 3.9$, $p_{\text{bonf}} = .005$). The repeated-measures ANOVA also revealed significant percentage of certainty*context ($F(6,464) = 12.6$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .179$) and percentage of certainty*context*group interaction effects ($F(6,464) = 16$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .216$). Post hoc analyses with Bonferroni corrections were performed to help us better understand these interactions.

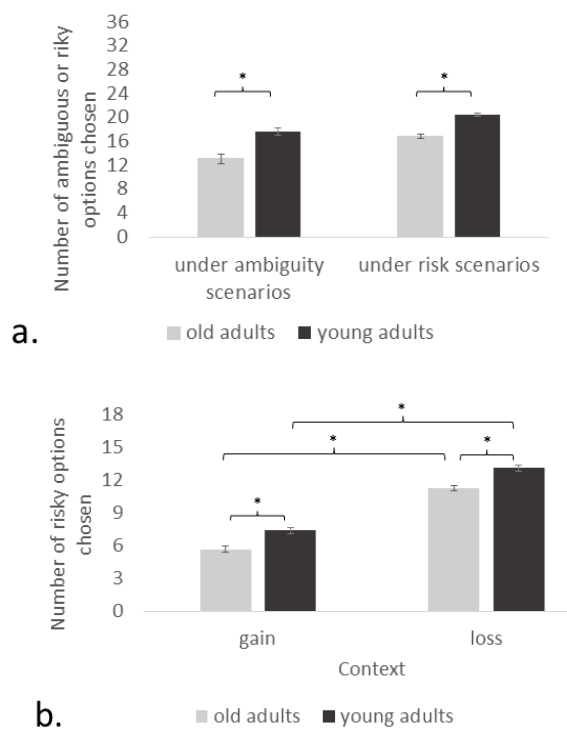


Figure 29. (a) Mean selections of less advantageous choices: ambiguous in under ambiguity scenarios and risky in under risk scenarios; (b) Mean selections of risky options in under risk scenario depending on the context of gain or loss. Bars correspond to standard errors.

They showed that in the loss context, there was significantly less risk taking for 2 % certainty than for any of the other percentages of certainty (all $p_{\text{bonf}} < .001$) (see Figure 30b.). However, in the gain context, the number of risks taken was significantly higher for 2 %

certainty than for 20 % ($t(58) = 3.9$, $p_{\text{bonf}} = .018$) and 50 % ($t(58) = 3.7$, $p_{\text{bonf}} = .032$); for 10 % certainty than for 60 % ($t(58) = -5.2$, $p_{\text{bonf}} < .001$); for 60 % certainty than for 80 % ($t(58) = 5$, $p_{\text{bonf}} < .001$); and significantly lower for 20 % certainty than for 60 % ($t(58) = -5.7$, $p_{\text{bonf}} < .001$) and 90 % ($t(58) = -3.9$, $p_{\text{bonf}} = .018$); for 40 % certainty than for 60 % ($t(58) = -3.9$, $p_{\text{bonf}} = .018$); and for 50 % certainty than for 60 % ($t(58) = -5.5$, $p_{\text{bonf}} < .001$) and 90 % ($t(58) = -3.7$, $p_{\text{bonf}} = .032$) (see Figure 30a.).

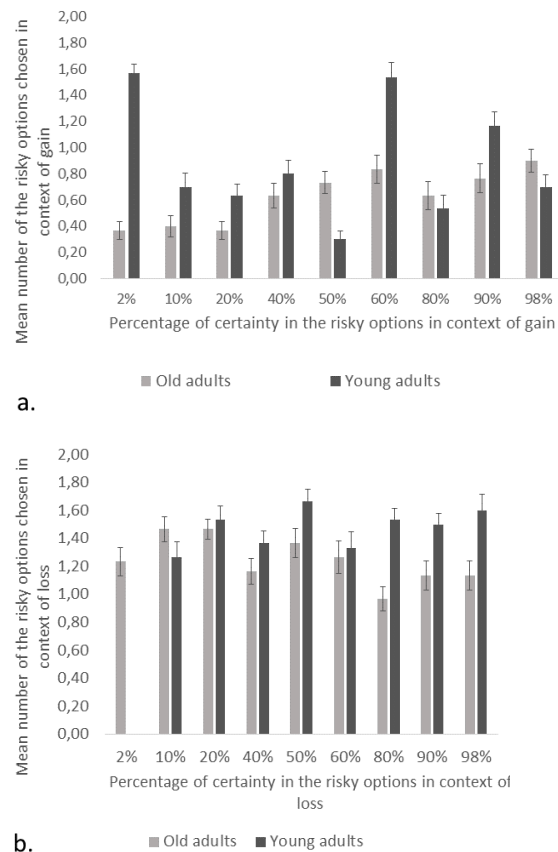


Figure 30. (a) Mean number of risky options selected depending on the percentage of certainty of the risky options in the gain context; (b) Mean number of risky options selected depending on the percentage of certainty of the risky options in the loss context. Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 2.

A comparison of young and old adults revealed different response patterns. In the gain context,

there was no difference in the number of risks taken by the old adults as a function of the percentage of certainty. By contrast, the young adults exhibited significant differences between 2 % certainty, 10 %, 20 %, 40 %, 50 %, 80 % and 98 %; between 50 %, 60 % and 90 %; between 60 %, 10 %, 20 %, 40 %, 80 % and 98 %; and between 80 % and 90 % (all $p_{\text{bonf}} \leq .012$). In the loss context, there was still no difference in the number of risks taken by the old adults as a function of the percentage of certainty (all $p_{\text{bonf}} = 1.000$). However, young adults took significantly less risks for 2 % certainty than for any of the other percentages (all $p_{\text{bonf}} \leq .001$).

Finally, the ANOVA including the numerical information factor (frequency, percentage) showed a significant simple effect of numerical presentation ($F(1,58) = 26.0, p < .001, \eta^2 = .214$), with more risks being taken when the information was presented in frequencies (see Figure 31.a). No numerical presentation*group interaction effect appeared ($F(1,58) = 2.4, p = .127, \eta^2 = .020$).

Under ambiguity condition

A repeated-measures ANOVA was performed to investigate the effect of the percentage of certainty on the number of ambiguous choices. A significant simple effect of percentage of certainty ($F(1,58) = 34.9, p < .001, \eta^2 = .197$), a significant simple effect of group ($F(1,58) = 51.6, p < .001, \eta^2 = .189$) and a significant percentage of certainty*group interaction effect ($F(1,58) = 51.6, p < .001, \eta^2 = .189$) were observed. Globally, older adults choose fewer ambiguous options than young adults. The post hoc analyses, with Bonferroni correction, showed that the old adults selected significantly more ambiguous options for 2 % certainty than for 40 to 98 % certainty (all $p_{\text{bonf}} < .001$), for 10 % certainty than for 60 to 98 % certainty (all $p_{\text{bonf}} \leq .006$), for 20 % certainty than for 60 to 98 % certainty (all $p_{\text{bonf}} < .001$), and for 40 % certainty than for 80 to 98 % certainty (all $p_{\text{bonf}} \leq .033$) (see Figure 32). The young adults selected significantly more ambiguous options for 2 % certainty than for 10 to 60 %, (all $p_{\text{bonf}} \leq .033$), for 10 % certainty than for 60 to 98 % (all $p_{\text{bonf}} \leq .002$), for 20 % certainty than for 60 to 98 % (all $p_{\text{bonf}} \leq .006$), for 40 % certainty than for 80 to 98 % (all p_{bonf}

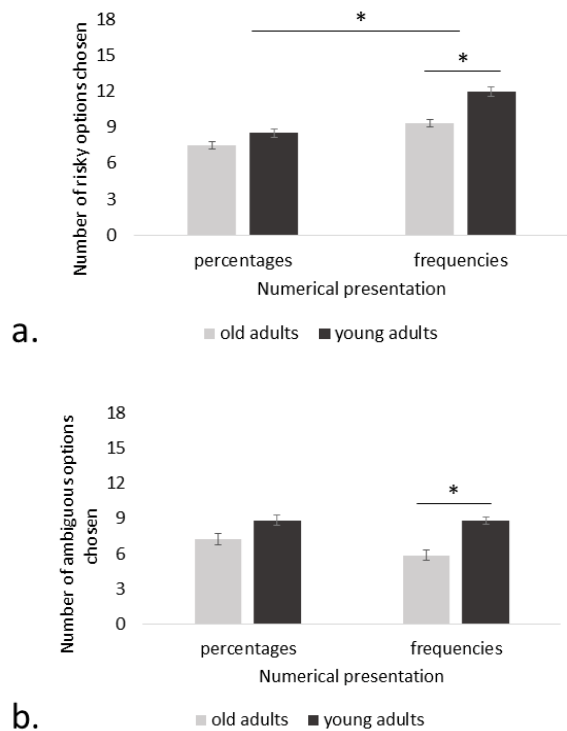


Figure 31. (a) Mean selections of risky options depending on the numerical presentation in the under-risk condition ; (b). Mean selections of ambiguous options depending on the numerical presentation in the under-ambiguity condition. In both figures, bars correspond to standard errors, maximum choices of risky and ambiguous options = 18.

< .001), for 50 % certainty than for 80 to 98 % (all $p_{\text{bonf}} < .001$), and for 60 % certainty than for 80 to 98 % (all $p_{\text{bonf}} \leq .033$).

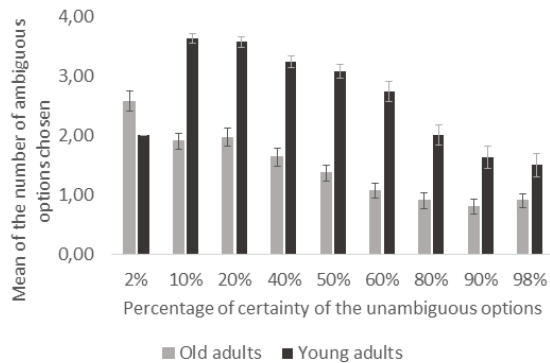


Figure 32. Mean number of ambiguous options selected depending on the percentage of certainty of the unambiguous options. Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 4.

Concerning the format of the numerical information (frequencies vs. percentages), there was neither a significant effect of numerical presentation ($F(1,58) = 2.3$, $p = .133$, $\eta^2 = .012$) nor any numerical presentation*group interaction effect ($F(1,58) = 2.2$, $p = .152$, $\eta^2 = .011$) (see Figure 31.b).

Correlation and regression analyses

Correlation analyses were performed between the results of the episodic memory task (i.e., TNRA, ENRA, the d' and C recognition indices) and the results of the decision-making

tasks (i.e., the IGT net score, the number of strategy switches on the IGT, the total number of ambiguous choices and the total number of risky choices for the two groups taken together).

Pearson's r coefficient was used, except in the case of a deviation from normality, when Spearman's ρ was used instead.

Correlations

No correlation was found between the episodic memory scores and the number of strategy switches on the IGT. However, the total IGT net score correlated with the number of Know-type hits in immediate ($\rho = .367$, $p = .004$) and deferred recognitions ($\rho = .316$, $p = .014$). The total ambiguous choices also correlated with the Know-type hits in immediate recognition ($\rho = .348$, $p = .007$).

The total risky choices correlated with the TNRA score for immediate ($r = .403$, $p = .002$) and for deferred recall ($r = .323$, $p = .012$), with the d' index for immediate ($\rho = .312$, $p = .015$) and deferred recognition ($\rho = .312$, $p = .015$), with the C index for immediate ($\rho = -.309$, $p = .016$) and deferred recognition ($\rho = -.312$, $p = .015$), and with the Know-type hits in immediate ($\rho = .538$, $p < .001$) and deferred recognitions ($\rho = .356$, $p = .006$) (see Table 5).

Table 5. Correlations between the results on the decision-making tasks and the results of the episodic memory task for both groups combined

	Net score IGT	Strategy switching IGT	Total ambiguous decisions	Total risky decisions
General total recall score				
<i>Immediate recall</i>	rho = .074 p = .582	rho = .113 p = .398	r = .121 p = .365	r = .403* p = .002
<i>Deferred recall</i>	rho = .027 p = .838	rho = .072 p = .586	r = .131 p = .319	r = .323* p = .012
Encoded adjectives recall score				
<i>Immediate recall</i>	rho = -.041 p = .762	rho = .110 p = .412	r = .142 p = .287	r = .387* p = .003
<i>Deferred recall</i>	rho = .014 p = .918	rho = .073 p = .580	r = .012 p = .930	r = .206 p = .115
d' indicator				
<i>Immediate recognition</i>	rho = .016 p = .906	rho = .052 p = .696	r = .243 p = .061	rho = .312* p = .015
<i>Deferred recognition</i>	rho = -.099 p = .452	rho = .205 p = .117	r = .076 p = .566	rho = .312* p = .015
C indicator				
<i>Immediate recognition</i>	rho = -.016 p = .906	rho = -.051 p = .696	r = -.243 p = .061	rho = -.309* p = .016
<i>Deferred recognition</i>	rho = .097 p = .461	rho = -.203 p = .120	r = -.078 p = .556	rho = -.312* p = .015
Remember-type Hits				
<i>Immediate recognition</i>	rho = -.114 p = .388	rho = .080 p = .542	rho = .166 p = .204	rho = .045 p = .733
<i>Deferred recognition</i>	rho = -.081 p = .538	rho = .034 p = .794	rho = .082 p = .533	rho = .139 p = .289
Know-type Hits				
<i>Immediate recognition</i>	rho = .367* p = .004	rho = -.042 p = .749	rho = .348* p = .007	rho = .538* p < .001
<i>Deferred recognition</i>	rho = .316* p = .014	rho = -.149 p = .254	rho = .095 p = .469	rho = .352* p = .006

Regressions

The involvement of episodic memory in the decision-making competency was investigated by means of a multiple linear regression analysis with a stepwise method, with one of the decision-making ratings entered as dependent variable and the episodic memory scores entered as predictors. The analysis was performed on all the results taken together

without distinguishing between old and young adults. Only the significant models are reported in Table 5. The number of Know-type hits in deferred recognition explained 7.5 % of the variance of the IGT net score. The number of Know-type hits in immediate recognition explained 9.6 % of the variance of the total ambiguous choices and 28 % of that of the total risky choices.

Table 6. Multiple regressions with the decision-making tasks as criterion and the episodic memory scores as factors

	β	t	p
“IGT net score”			
Know-type hits in deferred recognition	.301	2.40	.019
$R^2_{adj} = .075$, $F(1,58) = 5.8$, $p = .019$			
“Total ambiguous choices”			
Know-type hits in immediate recognition	.334	2.70	.009
$R^2_{adj} = .096$, $F(1,58) = 7.3$, $p = .009$			
“Total risky choices”			
Know-type hits in immediate recognition	.539	4.79	< .001
$R^2_{adj} = .28$, $F(1,56) = 22.9$, $p < .001$			

DISCUSSION

The effect of age on episodic memory

Two observations were made based on the recall task: 1) recall capacities were impaired with ageing, but 2) the encoded information was not more likely to be forgotten after a 3-and-½ hour delay than during immediate recall. This deterioration of recall observed in old adults is consistent with the literature (Arenberg, 1976; Bouazzaoui et al., 2022; Craik & McDowd, 1987; Danckert & Craik, 2013; Geffen et al., 1997). Since recall is cognitively demanding, it would be vulnerable to the decrease in cognitive resources with age (Craik & McDowd, 1987). Self-initiated encoding or retrieval strategies would be less efficient in old adults than in young adults (Bouazzaoui et al., 2022; Danckert & Craik, 2013).

The absence of a difference between immediate and deferred recall performances corroborates Dias et al.'s (2021) results. First, in both studies (i.e., ours and Dias et al.'s, 2021), early forgetting due to a working memory

overload might have occurred because of the delay separating encoding and immediate recall (Berry & Carpenter, 1992). Moreover, both studies promoted deep encoding processes, which might have helped form stronger memory traces, resulting in the maintenance of similar performance in deferred recall, especially in older adults (Kalpouzos et al., 2009; Tacconat & Isingrini, 2004).

Concerning the recognition performances, the ability to distinguish between old and new items (i.e., d' index) was better in the young than in the old adults, and better for immediate than for deferred recognition. These results are consistent with previous studies showing a negative influence of delay and age on episodic memory performances (Nilsson, 2003; Park et al., 1986). In addition, the response strategy (i.e., C index) showed that both groups had a rather liberal response bias (i.e., they often accepted items as having been previously seen). This tendency was less pronounced in the older group, a finding which concurs with that of Criss et al. (2014), who described more conservative criteria in old

adults. The authors suggested that because of their more extensive vocabulary, the distribution of the new items (i.e., relative to Signal Detection Theory) would be variable in old adults, generating a more conservative strategy.

Remember and Know-type hits were investigated to help us gain a detailed picture of how recognition performance changes with age. Old adults achieved as many Remember-type hits as young adults but significantly less Know-type hits. The first result is at odds with the scientific literature, which describes impaired recollection with ageing (Anderson et al., 2008; Prull et al., 2006). The high educational level of the old adults sample could constitute a first explanation (Joannette et al., 2019; Lachman et al., 2010). Moreover, the depth of encoding might have enhanced the number of recollections, especially in old adults (Park et al., 1986). As their main difficulty lies in the self-initiation of strategies, our task would have counteracted this difficulty by providing the strategy during encoding (i.e., self or celebrity comparison). Finally, the task characteristics might have enhanced recollection, at least for the deeply encoded items.

As expected, the adjectives were better recognized in the “self” than in the “celebrity” encoding condition, thus corroborating previous results (Genon et al., 2014; Gutchess et al., 2007).

The effect of age on decision-making

Concerning the IGT, the way the decks were selected evolved differently in old and young adults. While the number of switches did not change over the task in the older group, the younger participants switched less and less frequently as the game progressed. Previous works that have investigated the number of strategy switches corroborate our results, describing more fluctuations in strategy and less adaptation capacity in old than in young adults (Zamarian et al., 2008). This indicator of IGT performances, although rarely used, could constitute a finer marker of DMC changes during ageing than the more popular IGT net score.

In the scenarios task, young adults sought significantly more risk and ambiguity than old adults, confirming the results of previous studies (Deakin et al., 2004; Lee et al., 2008). Socioemotional Selectivity Theory (SST) could provide an explanation of this phenomenon, with old adults’ decisions being guided by the maximization of well-being, and young adult’s decisions being influenced by the pursuit of knowledge (Agustí et al., 2017; Carstensen et al., 1999, 2003; Spreng & Turner, 2019). Old adults would thus feel more secure in selecting the most likely options, while young adults would be curious about the less likely options.

Besides these first observations, both groups relied on the same strategy in the under-risk condition. In the gain context, both groups tended to avoid risk, whereas they both

favoured it in the loss context. This frame effect (i.e., positive vs negative) has often been described in the literature: people are more likely to ensure a profit (i.e., avoiding risk) and to attempt to avoid a loss (i.e., taking risks) (Gollier et al., 2003). While the two groups appeared to adapt their decisions to the context in a similar way, the percentage of certainty did not guide their strategy in the same manner.

The old adults took more risks overall in the gain context, the higher the percentage of certainty was (i.e., to achieve higher gains). The young adults took more risks for 2, 60 and 90 % certainty. While the old adults' behavior appears logical (i.e., maximize the chance of achieving a gain), that of the young adults seems quite unexpected. It is possible to hypothesise that very low percentages of certainty (i.e., 2 %) might exaggerate the effect of novelty seeking and encourage the young adults to take risks. However, it is more difficult to explain why certainties of 60 % and 90 % gave rise to such risky decisions.

The old adults took fewer risks overall in the loss context, the higher the percentage of certainty was. Once again, they seemed to follow the logic of the pursuit of well-being by minimizing the chances of loss. Young adults, conversely, tended to take more risks as the percentage of certainty increased. This behaviour is reminiscent of the phenomenon of self-perceived invincibility. Since this perception changes across the life-time (Millstein & Halpern-Felsher, 2002), we can suppose that young adults perceive themselves as more invincible than old adults do and

therefore have fewer misgivings about selecting very risky options.

The effect on DMC of the percentage of certainty of the unambiguous options was also analysed for the gain context in the under-ambiguity condition. In this case, both young and old adults made use of the same strategy: the higher the percentage of certainty was, the less they selected the ambiguous options. Our results are in line with the literature, which has described ambiguity aversion for moderate to high ambiguity in the general population and in the gain context (i.e., for a low to moderate percentage of certainty of the unambiguous option) (Dimmock et al., 2015).

Finally, the numerical presentation format impacted decision making under risk but not under ambiguity, with more risks being taken when the information was given as a frequency rather than as a percentage. As decisions under risk are thought to rely more on the reflective system, and thus on ratio processing, than decisions under ambiguity (McCarrey et al., 2010; Schiebener & Brand, 2015), it seems understandable that decisions under risk are more influenced by the numerical presentation than decisions under ambiguity. Moreover, as frequencies are known to be harder to process than percentages (Brand et al., 2014; Pertl et al., 2017), the risk might be less well perceived, engendering more risk taking when numerical values are presented in frequencies.

The impact of episodic memory on decision-making

Regression analyses showed that the number of Know-type hits explained, at least in part, the performances on all the decision-making indicators (i.e., in IGT and the scenarios task).

Recent studies have proved that episodic memory and decision making influence one another (Murty et al., 2019; Zhang et al., 2021). Nevertheless, only two papers have investigated the impact of precise memories on decision-making (Kadwe et al., 2022; St-Amand et al., 2018). They suggest that recollection influences DMC, but their findings are hard to compare with our own as they used a very different protocol and did not consider the impact of familiarity. People (i.e., here the decision maker) usually rely on processes that combine the greatest efficiency with the lowest cognitive cost (Bullmore & Sporns, 2012), even when they are engaged in complex processing such as decision making. As familiarity is thought to be less demanding than recollection (Prull et al., 2006), there are reasons to believe that it will be preferred in decision-making situations. Moreover, calling up one specific memory in order to take a new decision appears to be a less generalizable strategy than relying on familiar impressions, which are able guide a greater variety of decisions.

CONCLUSION

This study found lower recall and recognition performances with age. However, it also observed that deep encoding promoted recollection at retrieval and was associated with comparable numbers of Remember-type hits in young and old adults. When performing the IGT, old adults were less able to adapt their strategy over the task than young adults. In the scenarios task, which is a better reflection of everyday life decisions, young adults always sought more risk and ambiguity than their elder counterparts in the under-risk and under-ambiguity conditions, respectively. Socioemotional Selectivity Theory provides an interesting explanation for these opposed tendencies. Young adults' decision making would be driven by a need to feed their curiosity and that of old adults by a need to enhance their well-being. Finally, the familiarity process in episodic memory would partially explain the performances in decisional tasks. Being less demanding in terms of cognitive resources and more generalizable than recollection, it would offer the best balance between efficiency and cognitive cost for guiding DMC.

Availability of data and materials

The datasets used and analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Funding

This work was supported by the University Lyon 2, for the purposes of a PhD thesis.

Authors' Contributions

FG, CB and HC made substantial contributions to the design of the work. FG designed the tasks, acquired the data, performed most of the analyses and interpreted the data. She was also a major contributor to writing the manuscript. HSM helped design the tasks and recruit the participations. HC contributed to the data analyses. CB and HC also helped substantively revise the work. All authors read and approved the final manuscript.

Acknowledgement

Thanks to Chloé Gadille who helped with the recruitment and the inclusion of participants. Thanks to Timothy Pownall for the English proof reading.

2.3 Résumé des résultats de l'étude 2

L'étude 2, comme nous l'avions supposé, a montré des performances en rappel et en reconnaissance meilleures chez les adultes jeunes que chez les adultes âgés. Il n'y a cependant pas eu de différence de performance entre le rappel immédiat et différé, mais une meilleure reconnaissance immédiate que différée. Les analyses plus fines de processus de reconnaissance ont montré que les adultes âgés produisaient autant de réponses répondant au processus de récollection que les adultes jeunes, mais moins de réponses répondant au processus de familiarité. Pour les deux groupes, les adjectifs encodés en condition soi-même ont été mieux reconnus que les adjectifs en condition célébrité.

A l'IGT, le nombre de changements de stratégie évoluait différemment entre les deux groupes. Alors que ce nombre restait stable chez les adultes âgés, il diminuait au cours de la tâche chez les adultes jeunes. En revanche, les deux groupes ont eu un net score similaire. A la tâche de scénarios, les adultes jeunes ont montré un attrait pour le risque et l'ambiguïté supérieur aux adultes âgés. Les deux groupes adaptaient toutefois leurs décisions au contexte de gain et de perte : évitant le risque dans le premier cas et le privilégiant dans le second. Comme dans l'étude 1, les adultes âgés ont adapté leurs décisions aux pourcentages de certitude de façon à minimiser les pertes, et ce, dans les deux conditions (i.e., sous risque et sous ambiguïté). En revanche, les adultes jeunes ont montré des réponses inattendues. Sous risque, en condition de gain, plus de risques ont été pris pour 2, 60 et 90 % de certitude. Sous risque, en condition de perte, plus le pourcentage de certitude était élevé, moins les adultes jeunes prenaient de risques. En situation d'ambiguïté, les adultes jeunes ont adopté cette fois le même comportement que les adultes âgés : avec l'augmentation du pourcentage de

certitude que l'option non ambiguë se produise, ils sélectionnaient de moins en moins d'options ambiguës.

Les analyses de régressions, conduites sur les deux groupes ensemble, ont montré que le processus de familiarité expliquait en partie les performances dans toutes les tâches évaluant la prise de décision.

A présent que les deux articles retraçant les expériences questionnant les liens entre la prise de décision et les fonctions cognitives au cours du vieillissement ont été présentés et résumés, leurs résultats seront discutés dans la section suivante.

3 Discussion générale : la prise de décision et les fonctions cognitives dans le vieillissement normal

Avant de discuter les résultats obtenus dans les études 1 et 2 de ce travail de thèse, ce paragraphe en résumera les principales observations. Le déclin attendu des performances aux tâches sollicitant des fonctions cognitives ciblées, telles que les FE, la MT et la mémoire épisodique, a effectivement été établi. Alors que les réponses à l'IGT ont également corroboré ce qui est largement décrit dans la littérature, à savoir une difficulté à adapter les stratégies au cours de la tâche chez les adultes âgés, la tâche de scénarios prouve qu'ils en sont au contraire capables. Dans cette dernière tâche, les adultes jeunes exprimaient d'ailleurs davantage d'attrait pour le risque et l'ambiguïté que les adultes âgés. Mis en commun, les résultats des deux études suggèrent aussi que l'inhibition et le processus mnésique de familiarité seraient particulièrement impliqués dans la DMC.

Dans cette section seront donc discutés les résultats issus de ces deux études investiguant la prise de décision dans le vieillissement normal. Nous reviendrons dans un premier temps sur les performances dans les tâches évaluant les fonctions cognitives. Nous aborderons ensuite la question de la DMC, avec en premier lieu un retour sur les différences comportementales en fonction de l'âge, puis sur l'implication des fonctions cognitives dans cette compétence.

3.1 Le vieillissement des fonctions cognitives

3.1.1 L'effet du vieillissement sur la flexibilité mentale

L'étude 1 a permis de comparer les performances d'adultes jeunes et âgés à des tâches évaluant les fonctions exécutives (i.e., flexibilité mentale, inhibition et mise à jour) et la mémoire de travail.

En ce qui concerne la flexibilité mentale, son coût sur le nombre d'erreurs n'a pas montré de différence en fonction de l'âge. Ces résultats ne coïncident pas avec la majorité des études, qui dépeignent une diminution de cette faculté avec l'âge (Bherer et al., 2004; Erb et al., 2020; Huff et al., 2015). Toutefois, la plupart de ces travaux comparaient le coût de flexibilité sur les temps de réaction. Huff et al. (2015), qui ont analysé son effet à la fois sur le nombre d'erreurs et sur le temps de réaction, n'ont mis en évidence de différence que sur le deuxième indicateur. Notre tâche impliquait l'utilisation de quatre touches de réponse, afin de pouvoir distinguer les erreurs de flexibilité des erreurs sémantiques. Néanmoins, en fonction du niveau de familiarité des participants avec le matériel informatique, la gestion des 4 touches paraissait plus ou moins aisée, certains étant capables d'utiliser quatre doigts et d'autres uniquement 1. Dans ces conditions, il ne semblait pas possible de prendre en compte le temps de réaction des participants. Ainsi, nos résultats sont en accord avec l'étude de Huff et al. (2015) concernant le nombre d'erreurs et nous ne pouvons malheureusement pas statuer sur une éventuelle différence entre les adultes âgés et les adultes jeunes concernant les temps de réaction.

3.1.2 L'effet du vieillissement sur l'inhibition

L'inhibition de réponse motrice (i.e., évaluée par le biais du SSRT dans la tâche de Stop Signal) ainsi que la suppression d'interférence (i.e., évaluée avec une tâche de Stroop) ont été comparées entre les deux groupes de participants. Alors que la réponse motrice ne montrait pas de différence en fonction de l'âge, le SSRT était similaire dans les deux groupes, les adultes jeunes performaient significativement mieux que les adultes âgés à la tâche de Stroop, évaluant la suppression d'interférences.

Dans la littérature, aucun consensus clair ne semble se dégager ni concernant la suppression d'interférences, ni concernant l'inhibition motrice. Certains affirment que la suppression d'interférences serait particulièrement vulnérable au vieillissement, l'effet d'interférence se voyant particulièrement augmenté à la fois sur le temps de réponse et sur le nombre d'erreurs (Bherer et al., 2004; Ramos-Goicoa et al., 2016; Troyer et al., 2006), quand d'autres arguent le contraire, dénonçant en revanche une baisse des capacités inhibitrices motrices (Rey-Mermet & Gade, 2018). Ces derniers auteurs suggèrent que les difficultés exprimées par les adultes âgés dans des tâches de Go/No go ou Stop Signal pourraient provenir d'une difficulté à maintenir en mémoire de travail les deux consignes contradictoires. Toutefois, les chercheurs ayant pu calculer un SSRT (*Stop Signal Response Time*) à partir de leur tâche de Stop Signal ont montré un allongement de ce dernier au cours du vieillissement, censé refléter un accroissement de l'impulsivité (Hu et al., 2018). Cet allongement était par ailleurs corrélé à une réduction du volume de la matière grise dans le cortex préfrontal dorsolatéral, la tête du noyau caudé et l'insula. D'autres études employant les techniques d'imagerie cérébrale ont confirmé l'existence de modifications dans la suppression d'interférence au cours du vieillissement, ainsi que son lien avec certaines modifications neuroanatomiques et neurophysiologiques (Tam et al., 2015; Gajewski et al., 2020). Contrairement à l'étude de Hu

et al. (2018) nous n'avons pas observé de différence dans le SSRT en fonction de l'âge. Toutefois, nos résultats corroborent ceux de Lee et Hsieh (2017), qui n'avaient pas non plus montré de différence. A l'instar de notre tâche, mais à l'inverse de Hu et al. (2018), les auteurs avaient utilisé un signal stop auditif et non visuel. Sachant que, chez les adultes jeunes, la détection d'un tel signal serait plus rapide en modalité auditive que visuelle (Ramautar et al., 2006), il paraît envisageable que les divergences de résultats trouvées chez les adultes âgés proviennent aussi du type de signal stop utilisé. Puisque la modalité visuelle semble moins efficace dès le début de la vie adulte, elle pourrait également être plus vulnérable à l'effet du vieillissement.

Pour résumer, d'après nos résultats, le vieillissement serait associé à une difficulté à ignorer les informations distrayantes de l'environnement, mais pas nécessairement à supprimer une réponse motrice dominante. Toutefois, cette deuxième observation pourrait largement dépendre de la modalité caractérisant le signal d'arrêt.

3.1.3 L'effet du vieillissement sur la mise à jour en MT

Pour évaluer la mise à jour en MT, une tâche de N-back a été proposée aux participants. Cette tâche donnait lieu à deux niveaux de difficulté (i.e., 1-back et 2-back), voire à un troisième (i.e., 3-back) si les participants réussissaient 75 % des essais cibles en 2-back. Les résultats ont montré de moins bonnes performances pour les niveaux 1 et 2-back avec l'âge, ainsi qu'un nombre significativement moins important d'adultes âgés accédant au niveau 3-back.

Le déficit de mise à jour en MT décrit dans notre étude corrobore de nombreuses études antérieures, ayant également eu recours à la tâche de N-back (Bherer et al., 2004; Bopp & Verhaeghen, 2005; Gajewski et al., 2020; Najberg et al., 2021). D'après Gajewski et al.

(2018), adultes jeunes et âgés ne mobiliseraient pas les mêmes processus pour réaliser la tâche. Alors que les premiers feraient principalement appel aux fonctions exécutives, les performances des seconds seraient davantage dépendantes des ressources attentionnelles ainsi que de la mémoire verbale. L'implication du type de processus cognitifs évoluerait ainsi au cours du vieillissement, cette évolution se faisant de pair avec les activations préfrontales, qui se réduiraient progressivement dans ces régions jusqu'à disparaître (pour une méta-analyse Yaple et al., 2019). Des caractéristiques intra-individuelles, au-delà du vieillissement en lui-même, influenceraient toutefois les performances en mise à jour de travail. Par exemple, les résultats de Matysiak et al. (2019) ont révélé que les adultes âgés avec des performances en MT élevées (i.e., évaluées avec une tâche d'empans d'opération) avant un entraînement cognitif basé sur une tâche de N-back montraient une plus large progression dans cet entraînement (i.e., dans les performances en N-back) que les adultes âgés ayant initialement de faibles scores à la tâche d'empans d'opération. La capacité à réorganiser les activations cérébrales, ou encore l'efficacité des processus cognitifs, matérialise ce que (Stern, 2009) appelle « réserve cognitive ». Elle englobe toutes les caractéristiques individuelles résultant de stimulations environnementales (e.g., niveau d'éducation), permettant à l'adulte âgé de lutter contre l'effet du vieillissement. Ainsi, si la réserve cognitive joue un rôle sur la préservation des capacités de mise à jour, la notion de réserve cérébrale semblerait également importante à considérer. Pour rappel, la réserve cérébrale fait référence aux caractéristiques innées, passives (e.g., le volume cérébral) permettant, au même titre que la réserve cognitive, de repousser les effets délétères du vieillissement. De façon intéressante, Bauer et al. (2018) ont notamment montré que les adultes âgés considérés comme bas performeurs dans une tâche évaluant la MT présentaient un volume cérébral inférieur dans certaines régions préfrontales comparativement aux adultes âgés jugés haut performeurs à cette même tâche.

En conclusion, la capacité de mise à jour en MT subirait l'impact du vieillissement. Toutefois, cet impact serait médié par des facteurs individuels tels que l'intégrité de leurs aires préfrontales, donc de leur réserve cérébrale, ou encore tels que leur capacité à mettre en place des moyens de compensation, connue sous la notion de réserve cognitive.

3.1.4 L'effet du vieillissement sur le maintien et la manipulation d'informations en MT

La MT a été testée avec des empans simples (endroit et envers), ainsi que des empans complexes. Un effet du vieillissement a été rapporté pour chacune des tâches utilisées, et donc dans le score composite. Ces résultats réaffirment ceux de nombreuses études antérieures (Bopp & Verhaeghen, 2005; Fournet et al., 2007; Meguro et al., 2000). Un gradient de difficulté illustrerait d'ailleurs les performances des adultes âgés, avec une meilleure préservation des compétences pour les tâches évaluant la mémoire à court terme (e.g., empan endroit), puis pour les tâches de réordonnancement (e.g., empans envers) et enfin pour les empans complexes (Bopp & Verhaeghen, 2005). L'écart de performance avec les adultes jeunes augmentant avec la complexité de la phase de manipulation de l'information, il semblerait que cette dernière soit plus vulnérable à l'effet du vieillissement que la phase de maintien.

De manière intéressante, Belleville et al. (2003), qui ont utilisé des tâches d'empans verbales endroit (i.e., ou directs) et alphabétiques, n'ont pas mis en évidence de différence en fonction de l'âge, contrairement à ce que nous avons observé. Ces deux types de tâches étant les moins sensibles aux modifications de l'âge, le type d'items pourrait s'avérer déterminant dans leur réussite. La rétention de mots pourrait notamment être facilitée par l'activation de représentations sémantiques plus riches que celles des chiffres, utilisés dans notre étude.

Ainsi, la plupart des fonctions cognitives testées dans l'étude 1 de ce travail de thèse montre une vulnérabilité à l'effet de l'âge, confirmant les données de la littérature. L'absence de déficit en flexibilité mentale pourrait provenir de la mesure choisie pour la tester, à savoir le nombre d'erreurs et non le temps de réponse. De même, l'absence de déficit en inhibition motrice pourrait provenir de la modalité du signal stop, à savoir auditive et non visuelle.

3.1.5 L'effet du vieillissement sur la mémoire épisodique

Pour évaluer la mémoire épisodique, une tâche de rappel et de reconnaissance d'adjectifs à partir d'un paradigme Remember/Know a été utilisée. Un effet du vieillissement a été observé, se manifestant par une réduction de mots rappelés et reconnus chez les adultes âgés comparativement aux adultes jeunes. Ces résultats confirment ceux d'études antérieures (Arenberg, 1976; Bouazzaoui et al., 2022; Craik & McDowd, 1987; Danckert & Craik, 2013; Geffen et al., 1997; Nilsson, 2003; Park et al., 1986).

L'effet du vieillissement sur les performances en rappel

Le déclin des capacités de rappel semble particulièrement référencé dans la littérature. Lourdemment demandeur en ressources cognitives, il subirait fortement les effets du vieillissement. De manière plus spécifique, la récupération en mémoire à long terme serait notamment dépendante de la qualité de l'encodage, elle-même assujettie à la mise en place de stratégies (e.g., sémantiques). Dans le cas d'une tâche de rappel libre, cette dépendance se verrait accrue puisque l'absence d'indiciage (e.g., catégoriel, phonologique) prive l'individu de tuteurs mentaux guidant sa recherche. Or, les adultes âgés manifesteraient des difficultés pour auto-initier des stratégies à l'encodage comme à la récupération. En neuroimagerie, des différences en fonction de l'âge ont d'ailleurs été décrites à l'encodage, les adultes âgés

généralisant des activations plus courtes et plus focalisées sur le lobe pariétal que les adultes jeunes. Les auteurs mettent en lien ces activations pariétales à la mise en place d'un encodage relativement superficiel chez les adultes âgés (Bouazzaoui et al., 2022). Dans notre tâche, en phase d'encodage, les participants devaient comparer les adjectifs présentés à eux-mêmes ou à une célébrité, en fonction de la condition. Cette particularité a probablement renforcé la profondeur de l'encodage, et conséquemment, influencé les performances en récupération.

Dans notre étude, les performances en rappel des deux groupes de participants ne se montraient pas sensibles à l'effet du temps, du moins pour un délai de 3 heures 30, confirmant certains travaux antérieurs (Dias et al., 2021). La littérature dépeint toutefois des résultats assez contrastés, pointant parfois à l'inverse une baisse des performances en différé, comparativement au rappel immédiat (Berry & Carpenter, 1992). Ces chercheurs ont proposé quatre rappels différés (i.e., après 15, 30, 45 et 60 minutes), et ont montré une baisse des performances à partir de 15 minutes de délai. Cependant, la variation de cette durée n'impactait pas l'exactitude du rappel différé. En d'autres termes, les performances diminuaient à partir de 15 minutes, mais cette diminution ne s'aggravait pas entre 15 et 60 minutes après l'encodage. Les auteurs ont attribué cette perte précoce d'informations à une surcharge en MT. Certains items pourraient encore se trouver en MT lors du rappel immédiat mais n'auraient jamais été encodés à long terme. Aussi, cette fraction d'items non encodés endosserait la responsabilité de la baisse de performance à 15 minutes de délai. A l'inverse, une fois encodés, les items pourraient être récupérés facilement même une heure plus tard. Dans notre étude, le rappel immédiat ne prend pas place directement après l'encodage, une phase de reconnaissance s'interposant entre les deux. Aussi, la trace des items non encodés en mémoire épisodique mais maintenus en MT a certainement déjà été effacée avant le rappel immédiat. Par ailleurs, comme déjà énoncé, les conditions d'encodage (i.e., soi-même et célébrité) engendraient probablement des traces mnésiques plus profondes, car faisant appel à

des connaissances sémantiques. Ces traces auraient pu ainsi être plus robustes, et donc moins vulnérables à l'effet du temps. Dans l'étude de Dias et al. (2021), qui décrit des résultats similaires aux nôtres, les phases d'encodage et de rappel immédiat étaient séparées l'une de l'autre par une liste distractive, et la profondeur de l'encodage était renforcée en présentant la liste d'items 5 fois. Ces deux caractéristiques, semblables dans les deux études (i.e., la nôtre et celle de Dias et al., 2021), pourraient alors expliquer l'absence de différence entre les performances pour les rappels immédiat et différé. Il serait en effet possible que la capacité de rappel soit moins vulnérable à l'intervalle de rétention qu'elle ne serait sensible à la profondeur de l'encodage. Des études antérieures ont notamment montré que si les adultes âgés expriment des performances abaissées par rapport aux adultes jeunes lorsque l'encodage se fait de façon superficielle, ils améliorent significativement plus leurs scores que les adultes jeunes lorsque l'encodage est profond (i.e., notamment lorsqu'il est sémantique) (Kalpouzos et al., 2009; Taconnat & Isingrini, 2004).

L'effet du vieillissement sur les performances en reconnaissance

Pour ce qui est de la capacité à reconnaître des items précédemment encodés, deux indices ont été calculés, l'index d' et l'index C , pour comparer les performances des deux groupes de participants. L'index d' reflète la capacité de discrimination entre les items anciens (i.e., donc encodés) et nouveaux (i.e., donc non encodés). L'index C , quant à lui, reflète la stratégie de réponse : une stratégie libérale consiste à souvent accepter un item comme ancien (i.e., répondre « oui, je le reconnais »), alors qu'une stratégie conservatrice consiste au contraire à souvent le rejeter (i.e., répondre « non, je ne le reconnais pas »). En ce qui concerne l'index d' , il a montré une meilleure capacité de discrimination de la part des jeunes adultes, comparativement aux adultes âgés, mais aussi une meilleure capacité de discrimination en reconnaissance immédiate qu'en reconnaissance différée. Ces résultats corroborent la

littérature scientifique, à savoir la présence d'une influence négative du temps et de l'âge sur les performances en reconnaissance (Nilsson, 2003; Park et al., 1986). En ce qui concerne l'index C, il a mis en évidence des stratégies de réponses plutôt libérales chez les deux groupes de participants. Néanmoins, cette tendance était moins forte chez les adultes âgés, comparativement aux adultes jeunes. Par ailleurs, elle était également moins forte en reconnaissance différée, comparativement à la reconnaissance immédiate, et ce, pour les deux groupes. Le premier résultat réaffirme ceux de Criss et al. (2014) qui avaient décrit une stratégie plus conservatrice pour les adultes âgés que les adultes jeunes. Ceci serait dû à deux phénomènes. En vieillissant, les individus étoffent leurs connaissances générales, et notamment leur vocabulaire, et subissent par conséquent un poids plus important de distracteurs internes. Par ailleurs, ils connaissent également plus de difficulté à récupérer efficacement des informations précises en mémoire. Selon les auteurs, ces deux phénomènes augmentent la susceptibilité des adultes âgés à commettre des fausses alarmes. Afin de contrebalancer cet écueil, les adultes âgés surcompenseraient en adoptant une stratégie discriminative stricte, donc plus conservatrice. En ce qui concerne les différences de performances en fonction du moment de la reconnaissance, adultes jeunes et âgés montraient un comportement moins libéral pour la reconnaissance différée qu'immédiate. En d'autres termes, quel que soit leur âge, les participants se montraient plus sélectifs (i.e., répondaient plus souvent « non, je ne reconnais pas cet adjectif ») après un délai de 3 heures 30 suivant l'encodage qu'en reconnaissance immédiate. Puisque les traces mnésiques étaient moins récentes en reconnaissance différée, il semble possible que certains items aient été oubliés durant le laps de temps séparant cette deuxième phase de reconnaissance de l'encodage. Par conséquent, le nombre d'items reconnus, correctement ou incorrectement, a diminué. Notre tâche a également permis de spécifier les modifications affectant la capacité de reconnaissance au cours du vieillissement en interrogeant les processus de recollection et de

familiarité. Alors que la majorité des études décrivent un déclin de la recollection avec l'âge (Anderson et al., 2008; Prull et al., 2006), nos résultats suggèrent que les adultes âgés reconnaissent autant d'items à partir de la recollection que les adultes jeunes, mais significativement moins à partir du sentiment de familiarité.

De nombreux facteurs influencent les performances mnésiques, et les études questionnant le vieillissement normal ont notamment prouvé que le niveau d'éducation en faisait partie (Joannette et al., 2019; Lachman et al., 2010). Dans notre étude, le niveau d'éducation moyen était particulièrement élevé, avec 24 des 30 participants ayant fait des études supérieures. Cette caractéristique pourrait fournir une explication pour les bonnes performances en recollection obtenues par les adultes âgés de notre échantillon. A propos du sentiment de familiarité, Prull et al. (2006) avancent que les résultats dépendent avant tout du type de tâche utilisée pour évaluer ce processus. Selon eux, un abaissement des performances serait justement observé à partir de paradigmes Remember/Know. Généralement, les sujets doivent déterminer, en faisant appel à leur expérience phénoménologique, si leur souvenir fait référence à un remember (i.e., recollection) ou à un know (i.e., familiarité). Les auteurs suggèrent alors que l'abaissement des performances ne reflèterait pas tant un déficit du processus de familiarité qu'une difficulté à déterminer s'il s'agit d'une réponse de type remember ou know. Toutefois, leur explication ne saurait s'appliquer à notre étude puisque notre paradigme permettait de déterminer le type de processus sans que les sujets aient à le déterminer explicitement, en s'appuyant sur leur impression subjective. Concrètement, lorsque les participants répondaient 'oui' à la question « aviez-vous vu ce mot ? », une autre série de questions leur était posée (e.g., « aviez-vous répondu à la question : 1) oui, 2) non, 3) je ne sais plus ? ») permettant à l'expérimentatrice de déterminer si le souvenir était de l'ordre d'une recollection ou d'un sentiment de familiarité. En effet, grâce aux réponses à ces questions, il était possible de juger de la précision du souvenir à propos du contexte

d'encodage. Ces précisions pouvaient à la fois concerner la condition d'encodage (i.e., célébrité ou soi-même), la réponse donnée à la question posée (i.e., oui ou non), ou encore les images/pensées/émotions survenues à la première lecture de l'adjectif. Dès lors qu'un participant s'avérait capable de restituer correctement une précision du contexte d'encodage, la réponse était considérée comme de la recollection. En revanche, si aucune précision concernant ce contexte n'était redonnée, alors il était considéré que le souvenir dépendait d'un sentiment de familiarité. Par ailleurs, notre tâche possédait la particularité d'engendrer un encodage profond, annihilant alors la difficulté principale des adultes âgés : auto-initier des stratégies à l'encodage. Il a notamment été prouvé que fournir des détails supplémentaires lors de l'encodage engendrait un effet sur la reconnaissance plus important chez les adultes âgés que jeunes, permettant même à ces premiers d'égaliser les performances des jeunes adultes (Park et al., 1986). Dans notre tâche, les participants voyaient défiler des adjectifs et devaient déterminer s'ils correspondaient bien, ou non, à leur propre personnalité ou à ceux d'une célébrité identifiée. En fonction des adjectifs, il paraît probable qu'il ait été plus ou moins aisé de formuler un jugement, et ainsi que l'encodage ait été plus ou moins opérant. Ainsi, pour les adjectifs dont les représentations permettaient facilement d'opérer un jugement, l'encodage s'en trouvait certainement renforcé, favorisant le déploiement du processus de recollection chez les adultes âgés comme jeunes. En revanche, pour les adjectifs dont les représentations ne permettaient pas d'opérer facilement un jugement, l'encodage s'en voyait probablement affaibli. Les adultes jeunes étant capables d'auto-initier des stratégies ont pu alors trouver des moyens alternatifs pour mémoriser ces adjectifs, et les récupérer à partir du processus de familiarité, voire de recollection. En revanche, les adultes âgés connaissant justement des difficultés à mettre en place de manière spontanée des stratégies ont probablement moins bien réussi à les encoder et cela a peut-être amoindri en particulier la récupération à partir du processus de familiarité.

Nos résultats mettent en évidence une diminution des performances en rappel comme en reconnaissance chez les adultes âgés. Toutefois, la présence d'un encodage profond semblerait leur permettre de créer des traces mnésiques plus robustes ainsi que de récupérer plus aisément les informations qu'elles renferment. Ainsi, leurs performances en rappel ne seraient pas altérées par un délai de plusieurs heures, et le processus de recollection deviendrait aussi opérant que celui des adultes jeunes.

A présent que les modifications des fonctions cognitives au cours du vieillissement ont été discutées, seront abordées dans les sections suivantes les modifications ayant trait à la DMC.

3.2 L'effet de vieillissement sur la capacité à prendre des décisions

L'étude 1 et l'étude 2 évaluaient la DMC à partir des mêmes tâches, à savoir, l'IGT et une série de scénarios sous risque et sous ambiguïté, basés sur des situations de vie quotidienne. Ci-après seront discutés, dans un premier temps, les résultats concernant l'IGT, puis dans un second temps, ceux issus de la tâche de scénarios.

3.2.1 L'effet du vieillissement sur les performances à l'IGT

Dans l'étude 1, les deux groupes de sujets n'étant pas appariés en termes de niveau éducatif, ce facteur avait été entré en covariant dans les analyses statistiques. La comparaison directe des deux groupes avec une ANCOVA n'avait pas permis de montrer de différences dans les performances (i.e., net score et nombre de changements stratégiques) en fonction de l'âge. Toutefois, en analysant les données des deux groupes séparément, il s'avérait que les

adultes jeunes augmentaient le nombre de choix avantageux au cours de la tâche, alors que celui des adultes âgés restait stable au cours du temps. Les deux groupes diminuaient cependant le nombre de changements stratégiques. En ce qui concerne l'étude 2, le net score était similaire chez les deux groupes, mais des changements de stratégies s'opéraient plus fréquemment chez les adultes âgés que jeunes. Plus spécifiquement, le nombre de changements stratégiques diminuait au cours de la tâche chez les adultes jeunes, avec plus de tas avantageux sélectionnés en fin de tâche qu'en début, alors que ce nombre de changements n'évoluait pas chez les adultes âgés.

En d'autres termes, quelle que soit l'étude, les adultes âgés manifestaient davantage de difficultés à adapter leurs réponses à partir du feedback comparativement aux adultes jeunes. Dans la littérature, l'effet de l'âge sur le net score s'illustre par des résultats contrastés (Denburg et al., 2007; Fein et al., 2007; Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008). Cette hétérogénéité pourrait notamment venir de l'âge définissant la jeunesse et/ou la vieillesse. Denburg et al. (2007), Fein et al. (2007) ou encore Zamarian et al. (2008), qui ont mis en évidence une diminution du net score en fonction de l'âge, avaient inclus des adultes jeunes ayant un âge moyen d'au moins 10 ans de plus que l'âge des adultes jeunes inclus dans le cadre de cette thèse (i.e., respectivement 36, 41, 37 et 26). En revanche, Wood et al. (2005) qui n'ont pas décrit d'effet du vieillissement sur le net score, avaient inclus des participants avec un âge moyen proche de celui de nos adultes jeunes (i.e., 22 et 26 ans). Or, certains travaux démontrent que le développement de la matière blanche atteindrait un pic aux alentours de 37 ans, pour ensuite s'atrophier très progressivement (Lebel et al., 2012), et que ces fibres cérébrales seraient étroitement liées au déploiement de l'intelligence fluide (Chen et al., 2020; Li et al., 2020). De manière intéressante, l'intelligence fluide interviendrait dans le cadre de situations nouvelles, lorsque les connaissances issues d'expériences antérieures ne sont plus suffisantes, comme pour réaliser l'IGT par exemple, du moins dans sa première

moitié (Li et al., 2017). Ainsi, le manque de maturité présumé de matière blanche chez les individus d'une vingtaine d'années a pu avoir le même effet sur l'intelligence fluide, et par ricochet, sur les performances à l'IGT, que sa diminution chez les individus septuagénaires.

Si le net score semble régulièrement utilisé pour objectiver les performances à l'IGT, très peu d'études ont considéré le nombre de changements stratégiques (i.e., alternance de sélections entre tas avantageux et désavantageux). Pourtant, toutes décrivent des différences de stratégies en fonction de l'âge (Zamarian et al., 2008). Cet indicateur pourrait alors se présenter comme une mesure plus fine des modifications subies par le processus décisionnel liées à l'âge. En effet, le net score pourrait par exemple augmenter en lien avec des sélections aléatoires des tas de cartes (i.e., sans stratégie stable). En d'autres termes, les adultes âgés pourraient tout à fait changer régulièrement de tas de cartes, mais au global, avoir davantage sélectionné de tas avantageux. Néanmoins, si ce raisonnement paraît plausible pour un participant pris de façon isolé, son application à l'ensemble d'un groupe semble plus risquée. En effet, si 30 à 50 participants âgés sélectionnent aléatoirement les tas de cartes, certains sélectionneront plus les tas avantageux quand d'autres sélectionneront plus les tas désavantageux. Leurs résultats en tant que groupe convergeraient alors probablement vers une absence d'évolution du net score. Ainsi, une autre explication plus vraisemblable pourrait résider dans le niveau de confiance en soi. Les personnes âgées s'aperçoivent généralement de l'effet qu'exerce le vieillissement sur leur fonctionnement cognitif (e.g., plainte mnésique). Cette conscience d'un certain déclin pourrait alors se répercuter sur la confiance qu'ils ont en eux, c'est-à-dire l'amenuiser (Gamble et al., 2015). Puisque aucune indication quant aux chances de gagner n'est explicitement fournie par la tâche, les participants doivent s'appuyer sur leur expérience phénoménologique, donc accepter de se faire confiance. Quoi qu'il en soit, au début de la tâche, les participants sélectionnent de façon équitable les 4 tas de cartes afin de déterminer leurs caractéristiques. Après plusieurs essais, les individus confiants dans

leur capacité et leurs observations devraient largement privilégier les deux tas avantageux. De temps en temps, ils tenteront peut-être de sélectionner les tas A ou B, qui offrent de plus grands gains, mais ces tentatives devraient rester rares afin d'éviter de perdre les bénéfices accumulés. En revanche, les individus avec une plus faible confiance dans leurs compétences sélectionneront certes majoritairement les tas avantageux, mais ils devraient aussi alterner leurs sélections plus régulièrement que les individus confiants, dans l'hypothèse où ils auraient commis une erreur d'analyse. Dans ces conditions, les modifications de la DMC au cours du vieillissement demeurerait invisibles pour le net score (i.e., qui augmenterait), mais se révéleraient en examinant le nombre de changements stratégiques au fur et à mesure de la tâche.

3.2.2 L'effet du vieillissement sur des décisions hypothétiques de la vie quotidienne

Tout comme l'IGT, la tâche de scénarios faisait partie du protocole de l'étude 1 et l'étude 2. D'après nos résultats, les adultes âgés montraient une aversion à l'incertitude plus marquée que les adultes jeunes. Ainsi, ils choisissaient moins volontiers l'option risquée pour les décisions sous risque, tout comme l'option ambiguë pour les décisions sous ambiguïté, comparativement aux adultes jeunes. Dans la condition sous risque, un effet de cadrage influençait toutefois la prise de décision, quel que soit l'âge des participants. En effet, en contexte de gain (i.e., cadre positif) les participants tendaient à éviter le risque (i.e., choisissaient le gain sûr), alors qu'à l'inverse, en situation de perte (i.e., cadre négatif), les participants préféraient généralement prendre le risque (i.e., essayaient d'éviter la perte sûre). Cet effet de cadrage est souvent décrit dans la littérature, et se définit à la fois par une aversion au risque dans le domaine des gains et un appétit pour le risque dans le domaine des pertes. Décrit pour la première fois en 1979 par Kahneman et Tversky dans leur théorie des

perspectives, cet effet prouvait que des informations contextuelles non liées aux probabilités pouvaient renverser une préférence, suivant que le cadre soit positif ou négatif (Gollier et al., 2003). De façon intéressante, il pourrait toutefois évoluer en fonction de l'âge. Dans nos deux études, bien qu'adultes jeunes et âgés se montraient sensibles au cadre, les adultes jeunes tendaient toutefois à prendre plus de risques, et plus particulièrement en contexte de gain. La SST (i.e., *Socioemotional Selectivity Theory*) pourrait apporter un éclairage à cette tendance. Puisque d'après cette théorie les objectifs de vie seraient orientés par la perspective de temps, les adultes âgés rechercheraient à optimiser leur bien-être quand les adultes jeunes rechercheraient à accumuler de nouvelles connaissances, ainsi qu'à optimiser leurs chances de survie (Cartensen et al., 1999). En condition de perte, choisir l'option risquée (i.e., l'option avec un pourcentage de chance de subir une perte inférieure à 100 %) reviendrait à la fois à optimiser le bien-être, en évitant potentiellement une perte, et à satisfaire la curiosité, puisque seule option potentiellement vectrice d'apprentissage. En revanche, en condition de gain, les différents objectifs orienteraient vers des choix différents. Optimiser le bien-être, tout comme optimiser les chances de survie, dirigeraient le décideur vers l'option non risquée, puisqu'elle assure un gain. A l'inverse, la recherche de nouvelles connaissances guiderait plutôt le choix du décideur vers l'option risquée, la seule pouvant engendrer un résultat inconnu et donc permettre un apprentissage. Dans ces conditions, alors que les adultes âgés devraient sans hésitation privilégier l'option non risquée, les adultes jeunes se retrouveraient pris en étau entre leurs deux objectifs de vie menant ici vers des choix contradictoires. Aussi, l'optimisation de la survie apparaissant comme la plus primitive des deux, il semble raisonnable de penser que les jeunes adultes soient en premier lieu guidés par cet objectif. Cela expliquerait alors qu'ils choisissent effectivement plus souvent l'option non risquée que risquée en contexte de gain. Toutefois, leur deuxième objectif serait probablement toujours actif, même si relégué au deuxième plan. Ainsi, quand la situation mettrait peu en péril les

chances de survie, les jeunes adultes s'autoriseraient davantage à prendre des risques comparativement aux adultes âgés. Dans leur étude, Ebner et al. (2006) ont demandé à des adultes jeunes et âgés d'auto-déclarer l'orientation de leurs objectifs de vie. Leurs résultats mettent en évidence que les adultes jeunes montrent une sensibilité accrue à tout ce qui permet de gagner en compétence, alors que les adultes âgés se montrent davantage sensibles à tout ce qui leur permet de maintenir leurs compétences, voire de prévenir leurs pertes. De façon intéressante, l'orientation des objectifs était corrélée au bien-être de façon différente en fonction de l'âge. Alors que le bien-être des adultes âgés semblait profiter du simple maintien des performances, celui des adultes jeunes se voyait détériorer par la prévention des pertes. En accord avec la SST, les auteurs ont stipulé qu'à l'aurore de la vie adulte, les individus souhaitent d'une part étendre leur savoir et décupler leur potentiel, et n'ont d'autre part pas accumulé suffisamment de connaissances ou développé suffisamment de compétences nécessitant d'être protégées. Aussi, tenter de maintenir les ressources déjà acquises comme tenter d'éviter d'en perdre paraîtrait inadapté, signifiant prendre le risque de manquer une opportunité pour maximiser ces ressources. A l'inverse, les adultes âgés sont à la fois forts d'une longue expérience qui leur confère un certain nombre de ressources, et sujets au déclin de leurs compétences dû au phénomène naturel de sénescence. Dans cette mesure, ils ont moins à apprendre et plus à perdre, et donc à protéger. La prévention des pertes, et plus encore le maintien des ressources, se présentent alors comme deux objectifs en adéquation avec leur niveau de développement. Les résultats issus des travaux menés dans le cadre de cette thèse, suggèrent donc que les adultes jeunes ont probablement pris plus de risques que les adultes âgés, principalement dans le domaine des gains, afin de maximiser leurs chances d'étendre leurs connaissances.

Afin d'analyser avec plus de finesse les stratégies décisionnelles en fonction de l'âge, le nombre de choix risqués et ambigus effectué en fonction du pourcentage de certitude

proposé a également été analysé. Aussi bien dans l'étude 1 que dans l'étude 2, sous risque, et en contexte de gain, plus le pourcentage de certitude de l'option risquée était élevé, plus les adultes âgés prenaient de risques. En contexte de perte, ils manifestaient le comportement inverse : moins le pourcentage de certitude de l'option non risquée était élevé, plus les adultes âgés prenaient de risques. En d'autres termes, leurs réactions face aux pourcentages de certitudes restaient cohérentes avec la SST, et la volonté de maximiser leur bien-être. En contexte de gain, plus le pourcentage de certitude est élevé, moins il y a de chances que la sélection de l'option risquée ne soit pas associée à un gain. A l'inverse, en contexte de perte, plus le pourcentage de certitude est élevé, plus il y a de chances de subir une perte en sélectionnant l'option risquée. En d'autres termes, les adultes âgés ont à la fois pris en compte le cadre (i.e., positif vs négatif) et les informations concernant le niveau de certitude afin d'optimiser leurs chances d'obtenir un gain ou d'éviter une perte. Ainsi, même lorsqu'il y avait une prise de risque, elle était toujours mesurée. Étonnamment, chez les jeunes adultes, un pattern de réponses assez inattendu a été révélé lors de l'analyse. En contexte de gain, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre le pourcentage de certitude de l'option risquée et le nombre de risques pris. Dans l'étude 1 comme l'étude 2, les adultes jeunes sélectionnaient significativement plus l'option risquée que les adultes âgés pour 2 et 60 % de certitude, voire pour 90 % de certitude dans l'étude 2. En contexte de perte, une corrélation positive liait les deux (i.e., plus le pourcentage de certitude était élevé, plus ils prenaient de risque). Si cette tendance va dans le sens de la recherche de nouveauté, elle va aussi à l'encontre de l'optimisation des chances de survie. Cette corrélation mise en évidence dans les deux études reste toutefois à considérer avec une certaine retenue. En effet, les adultes jeunes avaient pris significativement moins de risques (i.e., aucun) pour 2 % de certitude comparativement à tous les autres pourcentages de certitude. Aussi, la corrélation pourrait provenir de cette absence de prise de risque pour le plus faible pourcentage de certitude

proposé. Quoi qu'il en soit, les adultes jeunes ne prenaient aucun risque quand le risque de perdre était le plus bas (i.e., 2 % de certitude de perdre), mais choisissaient majoritairement l'option risquée pour tous les autres pourcentages de certitude. Ces observations laissent finalement à penser que les choix des adultes jeunes étaient moins influencés par les informations concernant le niveau de certitude que ceux des adultes âgés. Bien qu'inattendue, cette hypothèse semble néanmoins converger vers certains résultats obtenus par Mikels et al. (2010). Proposant des scénarios dans le domaine de la santé, ils avaient provoqué une induction stratégique en demandant aux sujets de se focaliser sur les émotions que les situations décisionnelles déclenchaient (i.e., induction de la stratégie intuitive, heuristique), sur le détail des informations délivrées de façon factuelle (i.e., induction analytique) ou sans donner de consigne spécifique (i.e., absence d'induction). Alors que les adultes jeunes prenaient des décisions plus avantageuses après induction analytique, les adultes âgés prenaient des décisions plus avantageuses après induction intuitive ou neutre. Ces résultats laissent à penser que naturellement, les adultes jeunes et âgés s'appuyaient pour cette tâche sur des processus plutôt émotionnels, mais que ces derniers n'étaient favorables à la décision que chez les adultes âgés. Cela confirmerait nos observations en ce qui concerne les adultes jeunes : quand ils ne s'appuient pas sur des données objectives (i.e., quand ils négligent les pourcentages de certitude), donc sur un processus analytique, la qualité de leurs décisions se voit dégradée. Si ces résultats confirment les nôtres, ils ne fournissent cependant pas une explication sur l'indifférence manifestée par les adultes jeunes face aux pourcentages de certitudes. Au moins deux hypothèses pourraient être formulées. La première s'appuie sur la SST, et sur le conflit d'objectifs que notre tâche pourrait engendrer. En effet, dans le champ de la prise de décision, la recherche de nouveauté et la volonté de survivre peuvent se percevoir comme deux objectifs antagonistes. Alors que prendre un risque peut enrichir l'expérience et les connaissances d'un individu, ce comportement le met également en

position de vulnérabilité, situation néfaste pour sa survie. Dans ces conditions, soit l'un des objectifs prend le pas sur l'autre, soit le décideur se trouve en position de tiraillement perpétuel. Dans ce deuxième cas, pour chaque pourcentage de risque mettant en péril sa survie, et donc opposant les deux objectifs, le jeune décideur pourrait se trouver en situation d'indécision profonde, le poussant finalement à sélectionner l'option de réponse aléatoirement. La deuxième hypothèse s'appuierait, quant à elle, sur le phénomène de l'auto-perception d'invulnérabilité. Ce dernier, comme indiqué par son nom, décrit la propension d'un individu à se considérer invulnérable. D'après Millstein et Halpern–Felsher (2002), ce phénomène évoluerait au cours de la vie, étant notamment plus marqué chez les adolescents que les adultes jeunes. Il serait envisageable de penser que ce sentiment s'amenuise au cours de la vie, avec l'accumulation d'expérience. Si tel est le cas, les jeunes adultes devraient présenter une auto-perception d'invulnérabilité plus haute que les adultes âgés. Cela pourrait alors expliquer pourquoi ils prennent une majorité de risques en contexte de gain, pour un pourcentage de certitude de 2 %.

Concernant les adultes âgés, Mikels et al. (2010) ont montré que les décisions des adultes âgés bénéficient davantage du recours aux stratégies intuitives qu'analytiques. Pourtant, les résultats de nos études suggèrent que les sujets âgés ont pris en compte les informations chiffrées délivrées dans les scénarios, informations dépendantes de processus analytiques. De façon intéressante, Hess (2014) argue que le facteur motivationnel jouerait un rôle prépondérant chez les adultes âgés dans l'engagement des ressources cognitives pour réaliser une tâche. D'après le chercheur, puisque le coût cognitif augmente avec l'âge, les adultes âgés s'appliqueraient à conserver autant que possible leurs ressources, et donc à s'appuyer sur des stratégies simples. Cette propension leur permettrait notamment d'économiser leurs ressources pour des tâches qui susciteraient leur intérêt car pertinentes d'un point de vue personnel. Dans ces conditions, nous pourrions supposer que l'utilisation de

scénarios de vie quotidienne éveillerait un certain attrait pour la tâche, leur proximité avec la vie réelle permettant aux participants de mieux se projeter. Si tel est le cas, cet accroissement motivationnel a pu enclencher l'utilisation de ressources cognitives, et ainsi, permettre aux sujets âgés de considérer les pourcentages de certitude.

La tâche de scénarios proposait également une condition sous ambiguïté, dont toutes les situations se déroulaient en contexte de gain. Dans l'étude 1 et l'étude 2, les adultes âgés réduisaient le nombre de choix ambigus avec l'augmentation du pourcentage de certitude de l'option non ambiguë. Encore une fois, leur stratégie reste cohérente avec l'orientation présumée de leur objectif de vie, à savoir, favoriser leur bien-être. En ce qui concerne les jeunes adultes, ils sélectionnaient plus souvent l'option ambiguë que les adultes âgés, excepté pour 2 % de certitude dans l'étude 2, et de 2 à 40 % de certitude dans l'étude 1. Par ailleurs, alors que dans l'étude 2 ils adoptaient la même stratégie que les adultes âgés, c'est-à-dire diminuer le nombre de choix ambigus avec l'augmentation du pourcentage de certitude, dans l'étude 1, ils manifestaient plutôt le comportement inverse. Bien que le coefficient de corrélation ait été relativement faible, ils tendaient à augmenter le nombre de choix ambigus avec l'accroissement du pourcentage de certitude. Il semble donc assez ardu de tirer des conclusions sur le comportement des jeunes adultes concernant les prises de décisions sous ambiguïté, sachant qu'ils avaient un âge (respectivement 26.3 et 24.4 ans) et un niveau d'étude (respectivement 4.98 et 4.90) similaires. Contrairement aux adultes âgés, les jeunes adultes ont réalisé la tâche depuis leur ordinateur personnel et via internet. Ceux inclus dans l'étude 1 ont pour la plupart réalisé la tâche pendant une période de confinement, alors que ceux inclus dans l'étude 2 ont été recrutés à la rentrée scolaire 2022, soit après les trois phases de confinement. Ce contexte particulier a pu influencer l'état d'esprit des participants, se répercutant sur les stratégies de décision. Puisque les situations de vie quotidienne proposées ne débouchaient pas sur des décisions aux conséquences graves, mais plutôt sur des décisions

assez banales de la vie de tous les jours, nous pouvons supposer qu'être enfermé chez soi afin de se protéger d'un virus potentiellement mortel a fait relativiser la prise de risque.

Ainsi, les études 1 et 2 de ce travail de thèse ont montré que l'IGT mettait en évidence des différences de performances en fonction de l'âge, les adultes âgés présentant notamment plus de difficultés pour suivre une stratégie décisionnelle stable. Cette tendance pourrait résulter d'une diminution de la confiance qu'ils accordent dans leurs propres capacités cognitives, les poussant à davantage vérifier les options qui leur semblent pourtant, et à juste titre, désavantageuses. Dans la tâche de scénarios, les adultes jeunes montraient plus d'appétence pour l'incertitude, à la fois en termes de risque, spécifiquement en contexte de gain, et d'ambiguïté. La SST pourrait fournir une explication à ces comportements, les adultes âgés cherchant à optimiser leur bien-être et les adultes jeunes à enrichir leurs connaissances. L'objectif des études 1 et 2 était également de chercher des relations de cause à effet entre la DMC et les fonctions cognitives. La prochaine section sera justement dédiée aux liens qu'elles entretiennent.

3.3 Les liens entre fonctions cognitives et capacité à prendre des décisions

D'après les deux études menées dans le cadre de cette première partie de thèse, deux processus intervenant sur la DMC ont été particulièrement mis en lumière : l'inhibition et le sentiment de familiarité.

3.3.1 Le rôle des processus inhibiteurs dans la prise de décision

D'après les résultats de l'étude 1, qui s'intéressait aux fonctions exécutives, la capacité à inhiber les informations non pertinentes de l'environnement (mesurée avec la tâche de Stroop) expliquerait, du moins en partie, les résultats aux différentes tâches décisionnelles (i.e., l'IGT, et la tâche de scénarios sous risque et sous ambiguïté) et ceci indépendamment de l'âge. Par ailleurs, une fois l'échantillon divisé en haut (i.e., 25 adultes jeunes et 25 adultes âgés avec la plus haute moyenne de scores composites) et bas performeurs (i.e., 25 adultes jeunes et 25 adultes âgés avec la plus basse moyenne de scores composites), l'inhibition de réponse motrice, expliquait en partie les résultats des bas performeurs.

Dans la littérature, peu d'études se sont appliquées à chercher systématiquement des liens entre des fonctions cognitives telles que les fonctions exécutives ou la mémoire de travail, et la DMC. Nguyen et al. (2013) a tout de même mis en évidence un lien entre personnalité impulsive, évaluée avec un questionnaire (i.e., *Iowa Scale of Personality Change*), et performances à l'IGT. Wood et al. (2005), quant à eux, ont montré qu'adultes jeunes et âgés utilisaient des stratégies dissemblables pour effectuer cette même tâche, faisant appel à des processus inhibiteurs différents. Les jeunes adultes étayaient plutôt leurs sélections de cartes sur une stratégie à long terme : après une phase d'apprentissage implicite des règles, ils inhibaient les tas globalement jugés désavantageux. Les adultes âgés, à l'inverse, s'appuyaient sur une stratégie à court terme, adaptant leur jeu essai après essai, inhibant les tas ayant engendré des pertes les quelques coups précédents. De façon intéressante, entraîner l'attention sélective à l'aide de tâches mobilisant les processus inhibiteurs permettrait aux adultes âgés d'améliorer leurs performances à l'IGT, contrairement à des entraînements ciblant la mémoire à court terme. En d'autres termes, si aucune étude n'a

précisément recherché des liens de causalité entre l'inhibition et les performances à l'IGT, de nombreux indices convergent vers une telle relation.

D'après l'inhibitory theory, les éléments connus de l'environnement activeraient automatiquement leurs représentations stockées en mémoire à long terme. Pour ne pas surcharger la mémoire de travail, un processus de contrôle cognitif interviendrait afin de limiter cette activation, inhibant alors les éléments non pertinents pour la tâche en cours (Campbell et al., 2020). Cette hypothèse d'une activation des traces épisodiques au cours d'une action entre en résonance avec un autre modèle théorique, focalisé sur la prise de décision : celui de Brand et al. (2006). D'après ces auteurs, la situation décisionnelle serait comparée en MT à d'autres situations vécues antérieurement et mémorisées à long terme, afin de pouvoir en déduire la meilleure option de réponse possible. Par ailleurs, s'ils ne parlent pas explicitement d'inhibition, ils considèrent les fonctions exécutives comme un élément majeur de la DMC, dirigeant la stratégie à mettre en place, notamment durant la phase de sélection de l'information. Pour sélectionner, il semble nécessaire de prioriser, et donc, d'inhiber ce qui n'apparaît pas comme prioritaire. En ce sens, nos résultats semblent cohérents avec la littérature. De façon intéressante, lorsque l'ensemble des participants se trouve partagé entre haut et bas performeurs, des corrélations ne subsistent qu'avec le groupe de bas performeurs. Aussi, comme de nombreuses études l'ont déjà stipulé (Brand & Markowitsch, 2010; Brand & Schiebener, 2013; Delazer et al., 2013; Hess et al., 2012; Pertl et al., 2017), l'effet de l'âge sur la DMC serait médié par l'état de préservation des fonctions cognitives. L'âge se présenterait donc plutôt comme un facteur de risque de dégradation cognitive (e.g., des fonctions exécutives et de la mémoire travail), étroitement liée à l'intégrité des réserves cérébrale et cognitive. En ce sens, les performances décisionnelles seraient alors influencées par le niveau cognitif, élément extrêmement hétérogène d'un individu âgé à l'autre.

Ainsi, l'étude 1 de cette thèse semble révéler une implication particulière des processus inhibiteurs dans la DMC. Ces processus permettraient d'ignorer les éléments non pertinents de l'environnement direct, tout comme ceux provenant des souvenirs épisodiques, par rapport à la situation décisionnelle. L'étude 2 questionnait, quant à elle, plutôt le lien entre la mémoire épisodique et la DMC. Ses résultats sont discutés dans la section suivante.

3.3.2 Le rôle du sentiment de familiarité dans la prise de décision

Dans l'étude 2, contrairement à la recollection, le sentiment de familiarité expliquait partiellement tous les indicateurs de performances aux différentes tâches évaluant la prise de décision. Des travaux récents ont effectivement mis en évidence que la mémoire épisodique et la DMC exerçaient l'une sur l'autre une influence réciproque (Murty et al., 2019; Zhang et al., 2021). Chez le singe, la récupération de souvenirs épisodiques saillants accélérerait par exemple le temps de prise de décision (Zhang et al., 2021). Chez l'homme, Murty et al. (2019) ont démontré que les prises de décisions actives amélioreraient l'encodage chez les jeunes adultes, ce qui facilitait en retour la prise de décision dans des situations similaires futures. Toutefois, à notre connaissance, aucuns travaux n'a utilisé le paradigme Remember/Know dans l'objectif de questionner l'influence de la recollection et du sentiment de familiarité sur la DMC. Malgré cela, deux études semblent tout de même avoir tenté de faire émerger l'impact de souvenirs précis, pouvant s'apparenter à de la recollection, sur la prise de décision (Kadwe et al., 2022; St-Amand et al., 2018).

Kadwe et al. (2022) ont exploré la relation entre le souvenir de détails spécifiques et les décisions d'approche ou d'évitement social. Leurs résultats révèlent que, quand les adultes jeunes rappellent des détails positifs d'un item cible, ils tendent à approcher cet item. A l'inverse, ils évitent les items cibles associés à des détails négatifs. St-Amand et al. (2018),

quant à eux, ont eu recours à une technique d'induction de processus mnésique. Elle consistait à induire un souvenir épisodique spécifique ou une impression générale. Ils ont alors observé, chez de jeunes adultes, que moins de risques étaient pris après l'induction générale comparativement à celle d'un souvenir épisodique précis. Quand aucune induction n'était proposée, donc en condition contrôle, les performances des participants se rapprochaient davantage de celles suivant l'induction épisodique. Les résultats de ces deux études semblent alors suggérer que la recollection serait impliquée dans la DMC. Si cette conclusion s'oppose aux résultats mis en évidence dans notre étude, révélant plutôt des liens entre sentiment de familiarité et DMC, les trois protocoles demeurent difficiles à comparer. Kadwe et al. (2022) n'ont questionné que le lien entre le processus de recollection et la DMC, quant à St-Amand et al. (2018), aucune preuve ne permet d'affirmer que le processus de recollection a bien été déclenché par l'induction épisodique. En effet, d'autres fonctions cognitives, telles que la mémoire de travail ou encore le contrôle inhibiteur, pouvaient également être induites et ainsi influencer le nombre de risques pris. De plus, dans les deux conditions, les participants visionnaient au préalable de courtes vidéos pour répondre ensuite à un ensemble de questions (i.e., relatives à des détails ou des impressions générales). Ce que les auteurs considèrent comme une impression générale pourrait simplement faire référence au processus de familiarité. Puisque après une telle induction, le nombre de risques diminue, il semble possible d'interpréter ce résultat comme un effet positif de la familiarité sur la DMC. Par ailleurs, si la recollection s'apparente à un processus lent et coûteux, et le sentiment de familiarité à un processus rapide et automatique (Prull et al., 2006), ce deuxième système de récupération en mémoire semble posséder certains avantages. Effectivement, le fonctionnement cognitif chercherait à maintenir un certain niveau de stabilité (Park & Reuter-Lorenz, 2009). Pour cela, il va déployer des processus combinant le meilleur équilibre entre la plus grande efficacité pour le plus faible coût. Puisque la familiarité est un processus moins

coûteux en ressources cognitives, elle pourrait être plus intéressante à convoquer dans certains cas, notamment dans le cadre de tâches déjà complexes telles que la prise de décision. Fort de cette économie énergétique, le processus de familiarité serait de plus davantage généralisable que la recollection. Alors qu'un souvenir précis apporterait un appui pour un nombre finalement très réduit de situations, puisqu'il paraît assez peu probable de vivre plusieurs fois deux situations décisionnelles similaires, la convocation d'une impression plus large devrait guider une plus grande quantité de décisions. Cette idée rejoint celle de Dijksterhuis (2004) qui avait démontré que les pensées inconscientes précédant un choix complexe menaient à de meilleures décisions que les pensées conscientes. L'auteur ajoute que les pensées inconscientes permettaient de développer des représentations plus claires et plus intégrées que lorsqu'un raisonnement conscient entrainait en jeu. Cette observation semble d'autant plus pertinente pour les adultes âgés qui, dû à un déclin des processus délibératifs, auraient plutôt tendance à s'appuyer sur des processus top-down que bottom-up, centrés sur l'élaboration d'une tactique (Drolet et al., 2019). Par ailleurs, dans les études en neuromarketing, il a été démontré que des éléments évoquant des souvenirs influençaient les choix des consommateurs. L'amorçage d'une odeur permettait notamment à l'individu l'ayant respirée d'identifier plus rapidement la marque du produit congruent (De Luca & Botelho, 2020). Ces différentes études semblent également indiquer une implication plus marquée des processus mnésiques généraux, tels que le sentiment de familiarité.

Puisque la littérature décrit de façon plutôt consensuelle une dégradation de la recollection au cours du vieillissement, ainsi que des modifications dans la DMC, nous supposons que ce processus mnésique serait davantage impliqué dans les processus décisionnels que le sentiment de familiarité. Toutefois, dans la présente étude, l'encodage était profond, fournissant à tous les participants une stratégie pour mémoriser les items. Aussi, la recollection n'a pas été identifiée ici comme un processus déficitaire. En fonction de

l'époque de l'encodage, comme de son contexte, les traces mnésiques épisodiques d'un individu ne partagent probablement pas toutes la même profondeur. Dans ces circonstances, le processus mnésique guidant la prise de décision pourrait également dépendre de la situation décisionnelle, du type d'éléments disponibles en mémoire et de l'interaction entre les deux. Des études futures utilisant un protocole similaire mais avec un encodage superficiel pourraient apporter des éléments complémentaires sur ce dernier point.

Partie II

Les modifications de la prise de
décision au stade léger de la maladie
d'Alzheimer

Chapitre I.

Maladie d'Alzheimer et prise de décision : ancrage théorique

1 La maladie d'Alzheimer

Le premier chapitre s'est appliqué à décrire les modifications de la prise de décision au cours du vieillissement dit « normal ». Les deux études menées, respectivement sur le lien qu'entretient ce processus avec les fonctions exécutives et la mémoire de travail, ainsi qu'avec la mémoire épisodique, ont notamment montré une implication de l'inhibition et de la familiarité dans la capacité à prendre des décisions (*decision-making competence*, DMC). Si toutefois de tels liens s'observent chez des adultes âgés sans trouble neurologique, qu'en est-il des adultes âgés développant des pathologies neurodégénératives ?

Le cas précis de la maladie d'Alzheimer (MA) nous a semblé particulièrement intéressant à étudier, au moins pour deux raisons. Tout d'abord, d'après l'OMS, elle s'illustrerait toujours comme le plus courant des troubles neurocognitifs dégénératifs, représentant ainsi 60 à 70 % des cas. Dans ces conditions, il paraît urgent d'augmenter et d'approfondir les connaissances lui étant relatives afin d'accompagner au mieux les patients et leur entourage tout au long de son développement. Enfin, dès le début de son évolution, les trois fonctions cognitives ciblées dans le Chapitre 1 (i.e., fonctions exécutives, mémoire de travail, mémoire épisodique) déclinent plus drastiquement qu'au cours du vieillissement normal. Si la modification de ces fonctions cognitives exerce une influence sur la DMC des

adultes âgés au vieillissement normal, comme montré dans la Partie 1 de cette thèse, il est fort probable que ce soit également le cas et de manière plus prononcée chez des patients atteints de la MA. De plus, si tel est le cas, les conséquences sur leur autonomie et leur quotidien pourraient s'avérer délétères, risquant par ailleurs d'entraîner une augmentation du stress et de la fatigue chez les aidants. Avant de dresser un état des lieux des connaissances sur la DMC dans la MA, ce premier sous-chapitre décrira les causes et les spécificités de cette maladie.

1.1 Étiologie de la maladie d'Alzheimer

Le diagnostic de la MA repose sur deux indicateurs essentiels : 1) un déclin progressif cognitif dont mnésique, observé subjectivement et objectivement, et 2) la présence de marqueurs biologiques (i.e., biomarqueurs) caractéristiques (Dubois et al., 2010, 2021). Pendant longtemps, les preuves neurobiologiques ne pouvaient s'obtenir qu'après le décès du patient, à l'aide d'une autopsie cérébrale. Le diagnostic posé du vivant de l'individu portait alors l'appellation de « MA probable ». Par ailleurs, cette terminologie s'utilisait auprès de patients ayant déjà atteint le stade dit démentiel, autrement dit, un niveau de sévérité très élevé de la maladie. Aujourd'hui, les innovations techniques et technologiques permettent d'identifier de façon de plus en plus fiable les biomarqueurs typiques de la MA. Ces types de marqueurs se partagent en deux familles : les marqueurs pathologiques, ainsi que les marqueurs topologiques (Dubois et al., 2010). Suivant cette division, cette section s'appliquera à décrire la particularité des lésions cérébrales caractéristiques de la MA.

1.1.1 Les marqueurs pathologiques de la MA

La MA, comme la plupart des troubles neurocognitifs dégénératifs, appartient à la catégorie des protéinopathies. Ce terme désigne l'accumulation et l'agrégation anormales de protéines dans les tissus de certaines régions cérébrales (Quadrio et al., 2021). Les peptides (i.e., éléments basiques des protéines) amyloïdes ainsi que la protéine Tau constituent les deux éléments neurochimiques à la base des lésions observées chez les patients atteints de la MA (Dubois et al., 2010; Quadrio et al., 2021). Alors que les peptides amyloïdes se rendraient responsables de dégradations extracellulaires, appelées plaques amyloïdes (ou séniles), la protéine Tau endommagerait l'espace intracellulaire par l'intermédiaire d'enchevêtrements (ou dégénérescences) neurofibrillaires (Dubois et al., 2010).

Les plaques amyloïdes : des lésions extracellulaires

La protéine précurseur de l'amyloïde (*amyloid precursor protein*, APP) traverse la membrane des cellules, avec une partie extracellulaire plus longue que la partie intracellulaire. Bien que se trouvant dans tout le corps, sa densité est particulièrement marquée dans les neurones. Elle serait impliquée dans de nombreuses fonctions, dont le transport axonal, l'adhésion cellulaire, le métabolisme du cholestérol ou encore la transcription de gènes (Turner et al., 2003). Par ailleurs, l'APP va naturellement subir des clivages, causés par différentes enzymes, dites protéases, dont le rôle vise spécifiquement à couper les liaisons peptidiques des protéines. Cette découpe de l'APP peut se faire suivant deux voies distinctes : la voie non amyloïde et la voie amyloïde (voir Figure 33). Alors que la première demeure bénigne pour l'organisme, la seconde se montrerait à l'inverse toxique (Herrup, 2015; Querfurth & LaFerla, 2010).

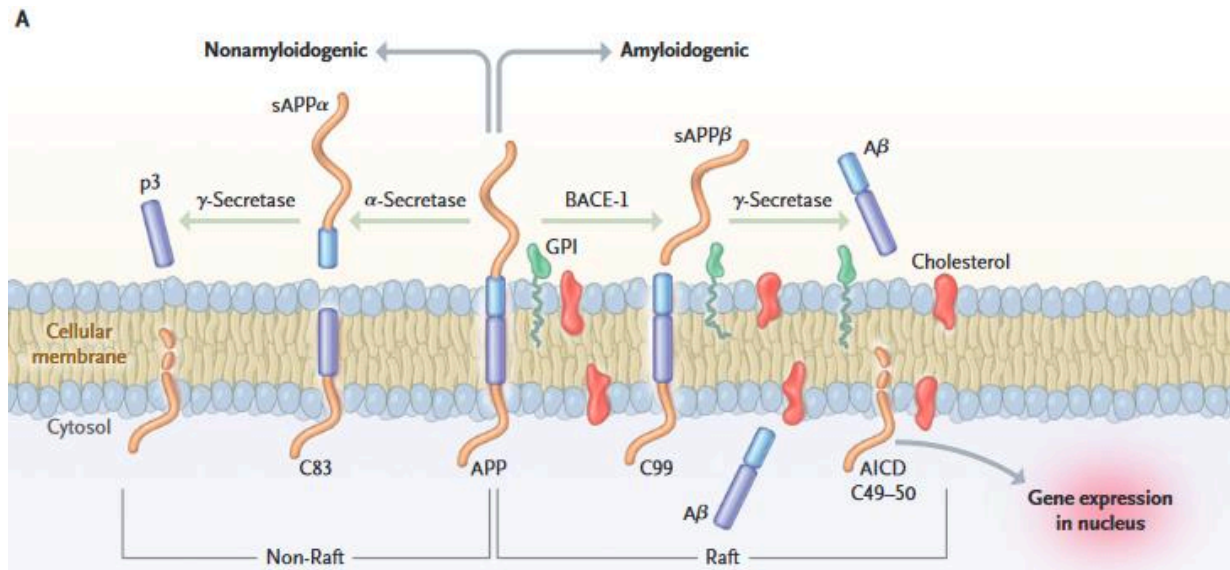


Figure 33. Schéma des voies amyloïdes et non-amyloïdes, tiré de Querfurth et LaFerla, (2010)

La voie non-amyloïde entraîne deux clivages successifs. Le premier, proche de la membrane, opéré par une enzyme portant le nom de α -sécrétase. Il libère dans l'espace extracellulaire un fragment d'APP nommé sAPP α , qui connaît la particularité d'être soluble. La portion de l'APP restant dans la membrane cellulaire va subir une seconde découpe, cette fois par une enzyme nommée γ -sécrétase. Un morceau restera dans le domaine intracellulaire (i.e., le peptide AICD) et un petit résidu peptidique sortira dans le domaine extracellulaire (i.e., le peptide P3). La voie amyloïde, donc pathogène, entraîne également deux clivages, mais dont le premier diffère de la voie non pathologique. Cette fois, il ne s'agit pas de α -sécrétase mais de β -sécrétase. L'enzyme répondant au nom de BACE-1 coupe l'APP plus loin de la membrane que celle de la voie non-amyloïde. Une fois cette première découpe effectuée, la γ -sécrétase intervient. Le résidu extracellulaire suivant ces deux clivages correspond au peptide amyloïde- β (i.e., A β), souvent composé de 40 ou 42 acides aminés (i.e., A β ₄₀ et A β ₄₂). Ce fragment, non soluble, va s'agglomérer pour former dans un premier temps de petites plaques, appelées oligomères. Ces dernières vont alors s'étendre et constituer les plaques séniles, premier type de lésions caractéristiques de la MA (Herrup, 2015; Querfurth &

LaFerla, 2010). Le prélèvement du liquide céphalorachidien (LCR) par ponction lombaire permet l'analyse de la quantité de peptides A β , et notamment A β 42. Une réduction de leur nombre constitue un élément plaidant en faveur du diagnostic de MA, puisque agglomérés en plaques, le nombre de peptides A β circulant dans le LCR se réduit (de Souza & Sarazin, 2015; Lewczuk et al., 2010).

Les enchevêtrements neurofibrillaires : des lésions intracellulaires

Ce deuxième type de lésion spécifique à la MA se développe, quant à lui, dans l'espace intracellulaire (i.e., à l'intérieur des neurones). Les enchevêtrements neurofibrillaires trouvent leur origine dans l'accumulation de protéines Tau anormalement phosphorylées (i.e., qui ont subi des ajouts de groupements phosphates). Ainsi modifiée, cette protéine initialement soluble ne l'est plus et va donc s'accumuler dans le domaine intracellulaire. Alors que normalement phosphorylées elles assurent la stabilité des microtubules (i.e., éléments constitutifs du cytosquelette) et le transport des vésicules, une fois hyperphosphorylées elles perdent la capacité de s'associer aux microtubules, se liant alors entre elles à la place, et formant des filaments hélicoïdaux. Accumulés dans les neurones, les filaments deviennent cytotoxiques, entraînant donc progressivement la mort des cellules affectées (voir Figure 34). La protéine Tau étant présente et détectable dans le LCR, elle peut être mesurée grâce à la ponction lombaire. Dans le cadre du diagnostic de la MA, les médecins vont rechercher une augmentation du taux de cette protéine (Querfurth & LaFerla, 2010).

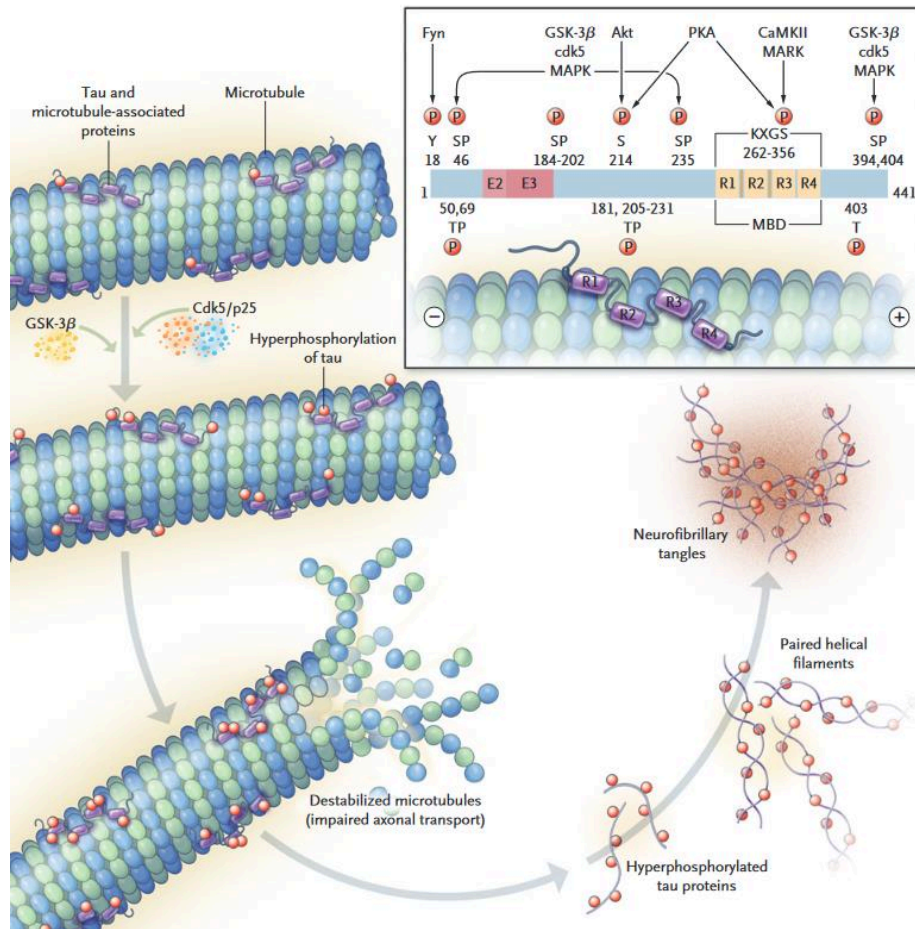


Figure 34. Schéma de la formation des enchevêtrements neurofibrillaires, tiré de Querfurth et LaFerla, (2010)

Contrairement aux plaques amyloïdes, le développement des enchevêtrements neurofibrillaires coïnciderait avec l'évolution des symptômes (Quadrio et al., 2021). Par ailleurs, leur apparition suivant plus tardivement celle très précoce des plaques amyloïdes (Braak & Braak, 1991), certaines théories ont tenté de mettre en lien les deux types de lésions, la plus connue étant certainement celle de la cascade amyloïde de Hardy et Higgins (1992). Elle suppose que l'accumulation des peptides A β à l'extérieur des neurones serait à l'origine de l'apparition des enchevêtrements neurofibrillaires. Les plaques engendreraient une augmentation de la concentration calcique à l'intérieur des neurones, qui engendrerait elle-même une phosphorylation inadéquate de la protéine Tau. Malgré quelques détracteurs de cette hypothèse en cascade, assurant que le quart, voire le tiers, des individus possédant des plaques

amyloïdes sans développer de symptôme la remettent en question (Herrup, 2015), d'autres éléments semblent plaider en faveur de cette théorie. Tout d'abord, les formes génétiques de la maladie sont souvent associées à des mutations sur les gènes APP (i.e., codant pour le peptide précurseur de l'amyloïde), PSEN1 ou PSEN2 (i.e., codant pour γ -sécrétase). Les peptides et enzymes pour lesquels ils codent sont directement liés à la formation de plaques amyloïdes, laissant à penser que la protéine A β serait indispensable au développement de la MA. De plus, la prise de traitements visant à empêcher la formation de plaques amyloïdes (i.e., anticorps monoclonaux amyloïdes) se verrait accompagnée d'une réduction des symptômes (Krolak-Salmon, 2020). Le débat reste donc ouvert sur l'existence et la nature du lien unissant les deux lésions.

Ainsi, la MA serait caractérisée par la présence de deux types de lésions neuronales : une affectant le domaine extracellulaire, appelée plaques amyloïdes, et une affectant le domaine intracellulaire, appelée enchevêtrements neurofibrillaires. Alors que le déploiement de la première semble non-relié à l'apparition des symptômes, celui de la deuxième paraît coïncider avec leur évolution. De façon intéressante, leurs développements ne s'opèreraient effectivement pas dans le même ordre, chaque lésion ayant une évolution spécifique en stades. La prochaine section s'attardera sur leurs caractéristiques topologiques.

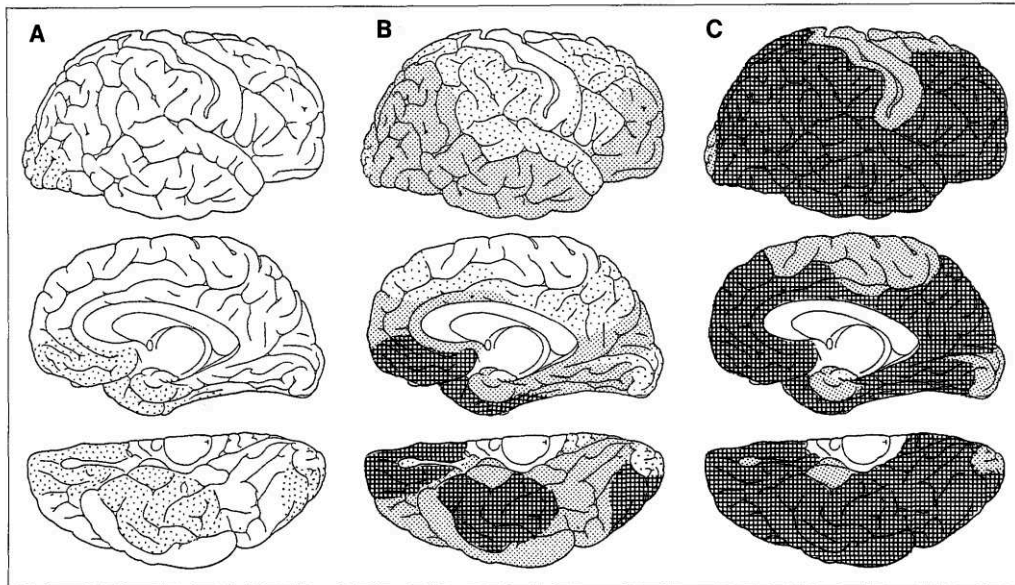
1.1.2 Les marqueurs topologiques de la MA

Les plaques amyloïdes, tout comme les enchevêtrements neurofibrillaires, affecteraient donc les neurones des patients atteints de la MA. Toutefois, leur déploiement dans le cerveau s'effectue de façon dissimilaire et hétérogène.

En 1991, Braak et Braak ont proposé pour chacun des deux marqueurs biologiques décrits plus tôt (i.e., plaques amyloïdes et enchevêtrements neurofibrillaires) différents stades d'atteinte, reflétant la progression des lésions. Bien que le début de la maladie se veuille insidieux, ils insistent sur la présence d'une progression continue et dépendante de facteurs interindividuels.

Concernant les dépôts amyloïdes, Braak et Braak (1991) dépeignent 3 stades, nommés A, B et C (voir Figure 35). Le néocortex (i.e., couche externe des hémisphères cérébraux) serait le principal siège de ces dépôts au cours du premier stade. Leur densité resterait faible et se limiterait principalement aux portions basales des cortex frontaux, temporaux et occipitaux. L'hippocampe, quant à lui, en serait encore dépourvu. Lors du stade B, la densité des dépôts augmenterait dans les aires déjà affectées. De plus, toutes les aires associatives du néocortex se verraient aussi envahies par les plaques. L'hippocampe commencerait également à subir leur présence, et plus particulièrement dans la couche pyramidale du subiculum et dans le secteur CA1 de la corne d'Ammon. A cette étape du développement, les aires sensorielles et motrices primaires demeureraient vierges de plaques amyloïdes. Finalement, lors du stade C, tout le néocortex, y compris les régions primaires, serait sévèrement atteint. Le nombre de plaques dans l'hippocampe resterait toutefois stable comparativement au stade précédent. Les dépôts s'étendraient progressivement aux régions sous-corticales, et notamment au striatum.

Malgré cette description séquentielle du déploiement amyloïde, la quantité et la localisation des dépôts seraient sujettes à des différences interindividuelles non négligeables. A l'inverse, les enchevêtrements neurofibrillaires, apparaissant un peu plus tard, montreraient une faible variabilité interindividuelle, constituant un indice pertinent pour évaluer le stade de la maladie.

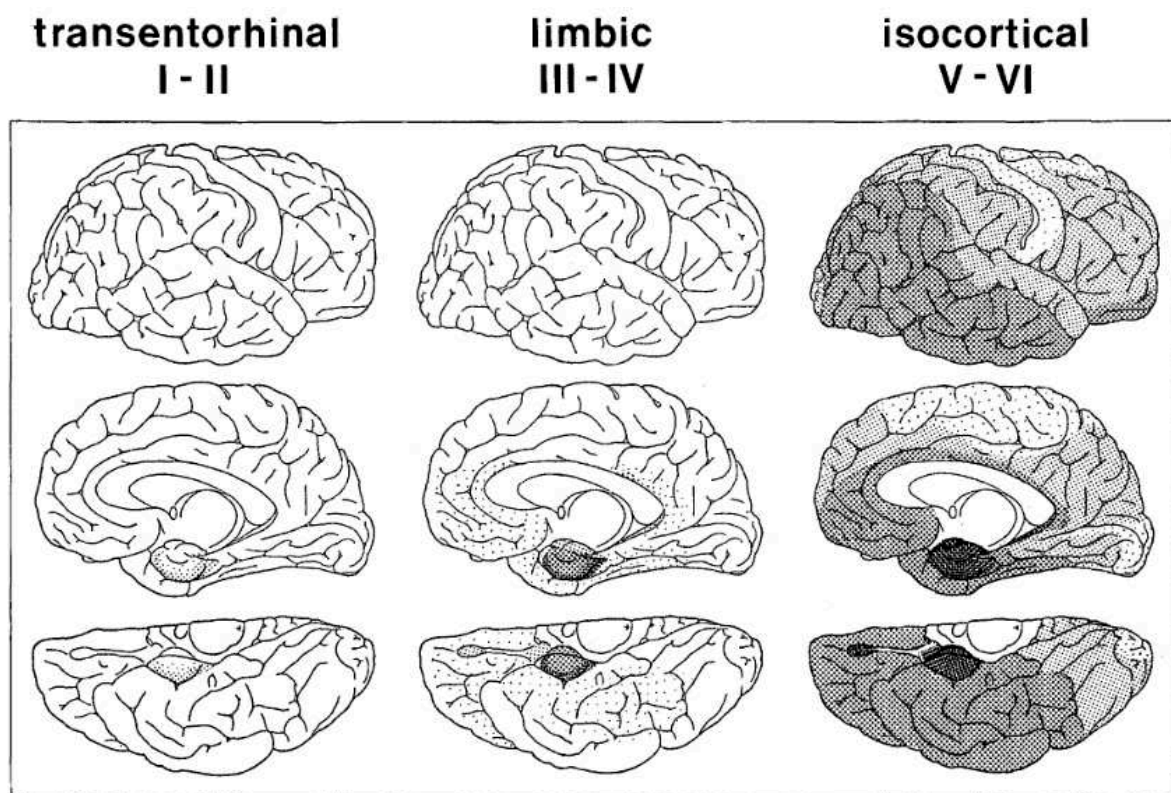


Amyloid

Figure 35. Développement des plaques amyloïdes au cours de la MA selon Braak et Braak (1991). Stade A dépôts initiaux se trouvant dans les portions basales du néocortex. Stade B dépôt amyloïde dans toutes les aires associatives du néocortex, la formation hippocampique est seulement modérément atteinte. Stade C toutes les aires du néocortex sont touchées, y compris les aires motrices et sensorielles. L'intensification de la densité des ombres indique une augmentation de la sévérité du déploiement des dépôts amyloïdes.

Braak et Braak (1991) ont également décrit différents stades spécifiques au développement des enchevêtrements neurofibrillaires, allant de I à VI (voir Figure 36). Contrairement aux plaques amyloïdes, les premières zones cérébrales atteintes par ce deuxième type de lésions correspondent aux régions transentorhinales (i.e., entre les cortex entorhinaux et temporaux), et plus spécifiquement, à leur couche cellulaire superficielle, appelée Pre- α . Cette atteinte se densifie au stade II, avec en plus le développement de quelques enchevêtrements neurofibrillaires au sein du secteur CA1 de l'hippocampe. Le stade III est marqué par une invasion sévère de la couche Pre- α des régions transentorhinales et entorhinales, ainsi que des neurones se projetant sur ces dernières. La couche Pre- β , plus profonde, se voit également progressivement touchée par ces lésions cytotoxiques, tout comme les cellules extrapyramidales du subiculum. La densité des enchevêtrements neurofibrillaires

s'accroît aussi dans le secteur CA1 de l'hippocampe, alors que les secteurs CA2 et CA4 demeurent intacts, de même que le néocortex. Au cours du stade IV, l'atteinte sévère de la couche Pre- α s'étend à Pre- β et au secteur CA1 de l'hippocampe. Progressivement, les enchevêtrements neurofibrillaires atteignent le subiculum et le néocortex. Finalement, aux stades V et VI, une aggravation des lésions s'opère, se généralisant à tout le cerveau, avec notamment une atteinte sévère du néocortex.



Neurofibrillary changes

Figure 36. Développement des enchevêtrements neurofibrillaires au cours de la MA selon Braak et Braak (1991). Six stades (I-VI) peuvent être distingués. Les Stades I-II montrent une altération de la couche superficielle des régions transentorhinales. Les caractéristiques clés des stades III-IV sont le développement sévère dans la couche Pre- α des régions entorhinales et transenthorinales. Les stades V-VI sont marqués par une destruction isocorticale. L'intensification de la densité des ombres indique une augmentation de la sévérité du déploiement des enchevêtrements neurofibrillaires.

Le développement des enchevêtrements neurofibrillaires dans le cerveau correspondant à l'évolution des symptômes de la MA, sont alors recherchées des

modifications neuroanatomiques et/ou neurophysiologiques concordant avec les zones touchées par ce deuxième type de lésions. Ainsi, dans le cadre diagnostique, une atrophie temporale médiale, ou encore une diminution du métabolisme glucidique dans les régions temporo-pariétales, constitueraient des indicateurs en faveur d'une MA (Dubois et al., 2010).

En conclusion, la MA se caractérise par deux types de lésions, affectant les neurones et envahissant le cerveau de différentes manières. Toutefois, avant de rechercher de tels marqueurs, les professionnels de santé doivent pouvoir objectiver la présence d'un phénotype clinique positif à la MA, autrement dit, la présence de symptômes spécifiques (Dubois et al., 2021). La section suivante présentera leur description.

1.2 La symptomatologie de la maladie d'Alzheimer

D'après les dernières recommandations du *International Working Group* (IWG), la pose du diagnostic de la MA repose également sur l'observation de symptômes cliniques particuliers. L'IWG déclare donc que trois ensembles de symptômes sont associés aux trois variants de la MA (i.e., syndrome amnésique hippocampique, atrophie corticale postérieure et variante logopénique de l'aphasie primaire progressive), et que leur présence s'avère nécessaire pour enclencher la recherche de biomarqueurs. En effet, puisque la détection de ces derniers ne permet pas d'anticiper une trajectoire clinique fiable, il n'est pas recommandé de les rechercher chez des sujets asymptomatiques. Ainsi, les modifications cognitives et comportementales restent au centre du parcours diagnostique, considérées comme condition sine qua non du lancement de ce dernier (Dubois et al., 2021). Une plainte subjective ciblant les compétences mnésiques épisodiques ainsi qu'un autre domaine de la cognition doit alors

être émise par le patient lui-même et/ou son entourage proche. Cette plainte subjective doit ensuite être objectivée par des épreuves neuropsychologiques normées (Dubois et al., 2010, 2021).

Parmi les trois variants (i.e., phénotypes cliniques) décrits par l'IWG, sera uniquement décrit dans cette thèse celui correspondant à la MA typique, autrement dit, le syndrome amnésique hippocampique. Le trouble en mémoire épisodique reste le symptôme emblématique de la MA, toutefois, comme déjà énoncé, le déclin d'au moins une autre fonction cognitive demeure nécessaire à l'établissement du diagnostic. Ce deuxième critère étant très ouvert, nous avons choisi ici de ne traiter que des fonctions cognitives ciblées dans la première partie de la thèse, reconnues pour jouer un rôle dans la prise de décision, à savoir : les fonctions exécutives et la mémoire de travail.

1.2.1 Les modifications de la mémoire épisodique

Symptôme primitif et majeur de la MA, le déclin de la mémoire épisodique constituerait le cœur du diagnostic, à la fois permettant de le différencier d'autres troubles neurocognitifs dégénératifs, mais aussi de le différencier d'autres affections pouvant entraver les compétences mnésiques (e.g., la dépression) (Eustache et al., 2006). En effet, si l'atteinte de la mémoire épisodique est caractéristique de la MA, cette atteinte comporte un certain nombre de spécificités.

Tout d'abord, la dégradation toucherait la mémoire épisodique suivant un gradient, allant des souvenirs les plus récents aux plus anciens. D'après Ribot, dont le gradient porte le nom :

« La destruction progressive de la mémoire suit donc une marche logique, une loi. Elle descend progressivement de l'instable au stable. Elle commence par les souvenirs récents qui, mal fixés dans les éléments nerveux, rarement répétés et par conséquent faiblement associés avec les autres, représentent l'organisation à son degré le plus faible. Elle finit par cette mémoire sensorielle, instinctive, qui, fixée dans l'organisme, devenue une partie de lui-même ou plutôt lui-même, représente l'organisation à son degré le plus fort. »

Ce gradient, dans le vieillissement normal comme dans la MA, suggère un effacement des traces mnésiques, et donc une atteinte du stockage. Si cette atteinte se veut amplement plus massive et progressive dans la MA que dans le vieillissement typique, une autre atteinte particulariserait davantage le trouble dégénératif. Greene et al. (1996) ont effectivement formulé l'hypothèse d'un déficit du processus d'encodage. Dans leur étude, ils ont proposé le *Doors and People test* qui se décompose en trois tâches : 1) une tâche de reconnaissance d'images parmi 4, 2) une tâche de reproduction de 4 figures visionnées au préalable et 3) une tâche d'apprentissage de 4 visages-noms. Alors que les adultes âgés contrôles montraient un apprentissage cumulatif au cours des essais, les patients ne progressaient pas entre les essais, n'exprimant ainsi aucun apprentissage. Par ailleurs, les patients atteints de la MA obtenaient des performances significativement inférieures à celles des adultes âgés contrôles. En revanche, les patients avec des atteintes minimales, tout comme les patients avec des atteintes légères, performaient de façon similaire. Les auteurs suggèrent alors que le trouble de la

mémoire épisodique observé dans la MA reflèterait davantage une difficulté d'apprentissage, ou d'encodage, qu'un oubli rapide, et ce, dès les premiers stades de la maladie.

Dans cette perspective, des tests permettant de manipuler, et donc d'évaluer, les procédures d'encodage et de récupération ont été conçus. Le RL/RI-16 de Grober et Buschke semble être l'un des plus utilisés, avec une phase d'apprentissage à laquelle se succèdent une phase de rappel libre et une phase de rappel indicé. Proposant un traitement sémantique à l'encodage, il induit non seulement une trace mnésique plus profonde, mais fournit également un indice étayant la récupération en mémoire dans le cas où l'item ne serait pas rappelé librement. Malgré cet appui, les patients atteints de la MA montrent très précocement dans le développement de la maladie un déficit en rappel indicé, même lorsque ce dernier est immédiat (Ergis & Eusop-Roussel, 2008; Eustache et al., 2006). Puisque même l'indication n'aide pas à la récupération, les résultats des patients laissent entendre que la trace mnésique n'existe simplement pas. Les tâches de rappel seraient alors marquées par la présence de nombreuses intrusions, c'est-à-dire d'items restitués mais non présents dans la liste d'encodage. En rappel indicé, ces intrusions correspondraient à des suppositions basées sur l'indice délivré par le thérapeute ou l'expérimentateur. En rappel libre, les intrusions apparaîtraient comme des items choisis aléatoirement. En tâche de reconnaissance, les patients atteints de la MA adopteraient plutôt une stratégie libérale, reconnaissant les distracteurs comme étant des cibles (Ergis & Eusop-Roussel, 2008). Par ailleurs, la modalité des items à mémoriser influencerait les performances. De manière générale, la reconnaissance des images serait associée à de meilleures performances que la reconnaissance de mots. Si cette observation vaut pour la population générale, elle semble plus particulièrement marquée chez les patients avec un MCI (i.e., *mild cognitive impairment*, ou trouble cognitif léger).

Si la caractéristique principale du déficit épisodique dans la MA correspond à l'inefficacité des processus d'encodage, la capacité à récupérer l'information n'en demeure pas indemne pour autant. Toujours à l'aide du RL/RI-16, certaines études ont notamment montré une inconstance dans le rappel libre d'items. En d'autres termes, au cours des essais successifs, les patients tendaient à rappeler des mots différents. La capacité à rappeler ces mots suggère qu'ils étaient encodés et stockés. Toutefois, l'instabilité de leur restitution laisse à penser que les stratégies de récupération en mémoire épisodique perdent en efficacité au cours de la MA (Ergis & Eusop-Roussel, 2008). Dans la littérature, sont toutefois distinguées la remémoration consciente (i.e., récollection) de la remémoration inconsciente (i.e., familiarité). Dans leur revue de synthèse, Simon et Bastin (2014) affirment que si la question de la récollection semble faire consensus, avec un déficit marqué très précocement, la question de la familiarité animerait toujours les débats. D'après les autrices, l'hétérogénéité des résultats proviendrait de la complexité et de la variété des mécanismes sous-tendant le processus de familiarité. Toujours selon elles, ces différents mécanismes basiques ne subiraient pas l'effet de la MA avec la même force :

« le sentiment subjectif de familiarité et la récupération automatique de l'information en mémoire seraient préservés, alors que les processus de discrimination entre les cibles et les leurres, et la capacité à extraire les informations individuelles au sein d'une association seraient altérés. »

Pour conclure cette section, la mémoire épisodique est affectée dès les prémices de la MA. Cette affection toucherait les trois processus d'encodage, de stockage et de récupération de l'information. Toutefois, l'atteinte des capacités d'encodage serait particulièrement typique de la pathologie, entraînant des intrusions dans les tâches de rappel et des fausses alarmes dans les tâches de reconnaissance. A présent que le trouble de la mémoire épisodique dans la

MA a été précisé, la section suivante s'appliquera à décrire les modifications ayant trait à la MT.

1.2.2 Les modifications de la mémoire de travail

La mémoire de travail (MT), et en particulier son processus de manipulation de l'information, serait précocement impactée par la maladie. Dans une étude de 2003, Belleville et al. avaient proposé à des adultes jeunes, âgés contrôles et âgés atteints de la MA une tâche d'empans verbaux. La restitution de ces empans s'effectuait suivant deux conditions : une condition directe (i.e., restitution des mots dans leur ordre d'apparition) et une condition alphabétique (i.e., restitution des mots par ordre alphabétique). Alors que les patients (i.e., adultes âgés atteints de la MA) performaient aussi bien que les adultes âgés contrôles en condition directe, ils exprimaient de plus grandes difficultés à réaliser la tâche en condition alphabétique. La première condition évaluant la mémoire à court terme passive, équivalent du maintien en MT, cette étude suggèrerait une préservation de ce processus en début de maladie. En revanche, la deuxième condition reflétant les capacités en mémoire à court terme active, ou manipulation en MT, les résultats obtenus suggèreraient cette fois un effet précoce de la MA sur cette compétence. Cette dernière observation corrobore les résultats obtenus par Toepper et al. (2008) révélant chez des patients atteints de la MA un déficit dans des tâches d'empans verbaux et spatiaux envers, nécessitant donc une manipulation de l'information.

Dans une étude un peu plus récente, la même équipe de chercheurs a trouvé de nouveaux résultats pondérant légèrement les premiers (Gagnon & Belleville, 2011). Ils ont comparé cette fois les performances d'adultes âgés contrôles à une tâche d'empans de phrases avec celles de patients ayant un trouble cognitif léger (*mild cognitive impairment*, MCI), et celles de patients avec une MA. Dans cette tâche, les participants devaient compléter par un

dernier mot évident des phrases inachevées (e.g., « brosser tes dents évite les... »), retenir ces mots, puis les restituer dans l'ordre. La longueur des empan variait de 2 à 6 phrases, soit de 2 à 6 mots. Trois longueurs de phrases étaient proposées (i.e., longues, moyennes et courtes) permettant la mise en place de deux conditions : délai de rétention long et délai de rétention court. Pour le délai de rétention long, la première phrase était courte (4-5 mots) et la dernière longue (10-12 mots). Pour le délai de rétention court, l'ordre était inversé. Quelle que soit la condition, les phrases intermédiaires étaient de longueur moyenne (7-8 mots). Les patients atteints de la MA avaient non seulement des scores significativement plus bas que les deux autres groupes, mais en plus, ils présentaient une réduction de l'effet de primauté. Cet effet, correspondant à une meilleure rétention des premiers items vus ou entendus (i.e., dans cette étude, uniquement au premier mot de l'empan), serait dû à la répétition subvocale prolongée favorisant l'encodage. Les auteurs ont suggéré que les patients atteints de la MA connaîtraient de grandes difficultés pour maintenir des informations en mémoire dans le cas où une tâche de manipulation devrait s'effectuer en parallèle. Le rafraîchissement des premiers mots serait entravé par l'interférence causée par la seconde consigne, supprimant alors l'effet de primauté. Ces résultats corroborent encore une fois les travaux de Toepper et al. (2008) qui avaient montré un déficit disproportionné des performances en MT pour une tâche complexe, comparativement à celui observé dans des tâches d'empan envers simples. Cette tâche, appelée *Block Suppression Test* (BST), demandait de maintenir la localisation de carrés successifs afin de pouvoir reproduire la série tout en inhibant des stimuli non pertinents pour la tâche. Les auteurs ont suggéré que l'abaissement des performances en MT pourrait s'expliquer par un déficit touchant plus spécifiquement la suppression d'interférence.

Dans l'étude de Gagnon et Belleville (2011), un effet du délai de rétention a également été mis en évidence, avec de meilleurs scores obtenus quand le laps de temps séparant le premier du dernier item était le plus court. Bien que cet effet ait été observé pour les trois

groupes, il était plus particulièrement marqué chez les patients atteints de la MA. Les traces en MT, du moins du point de vue du modèle TBRS, seraient effectivement vulnérables à l'effet du temps (Barrouillet et al., 2004). Le fait que les trois groupes obtiennent de meilleurs scores lors d'un délai de rétention court semble confirmer cette suggestion. Le fait que les patients atteints de la MA y soient plus sensibles que les autres laisse à penser, par ailleurs, que la maladie entraverait le maintien en MT.

Les résultats de ces différentes études laissent alors à penser que le maintien comme la manipulation de l'information seraient précocement déficitaires dans la MA. La dégradation du maintien dépendrait toutefois de la complexité de la tâche, et notamment de la présence d'une tâche interférente. Les capacités de maintien des patients seraient ainsi plus sensibles à la surcharge cognitive, ainsi qu'à l'effet du temps. Néanmoins, certains résultats suggèrent une implication du déficit des processus inhibiteurs dans le déclin de la MT. La prochaine section décrira les modifications exécutives, dont inhibitrices, engendrées par le développement de la MA.

1.2.3 Les modifications des fonctions exécutives

Le déclin des capacités en inhibition

Toepper et al. (2008) supposent ainsi que le déficit en MT des patients atteints de la MA pourrait s'expliquer, du moins en partie, par un amenuisement des capacités d'inhibition. Des modifications affectant ces dernières ont en effet été décrites au cours de la MA. Toutefois, elles sembleraient toucher différemment la suppression d'interférence et l'inhibition de réponse motrice. Alors que la seconde paraît préservée en début de maladie, la

première subirait précocement une dégradation (Amieva et al., 2002, 2004; Bondi et al., 2002; Spieler et al., 1996). Les processus inhibiteurs reposant sur des réponses contrôlées et volontaires seraient, à l'évidence, plus vulnérables à la MA que ceux reposant sur des réponses automatiques.

Concernant la suppression d'interférence, Amieva et al. (2002) ont notamment montré chez des patients une latence ainsi qu'un nombre d'erreurs plus important pour la planche interférente du Stroop test. Pourtant, pour la planche témoin (i.e., ronds de couleurs), ils performaient de façon similaire aux adultes âgés contrôles. En d'autres termes, les patients atteints de la MA se montraient plus vulnérables à l'effet d'interférence, dit Stroop, que des adultes âgés sans atteinte neurologique. Leurs résultats corroborent ceux de Bondi et al. (2002), qui trouvaient même une corrélation entre le niveau d'atteinte de la MA et les performances à la tâche. Les auteurs s'appuyaient sur l'hypothèse de l'existence d'une compétition sémantique à l'origine de l'effet Stroop pour interpréter leurs résultats. Cette hypothèse suppose que pour réussir correctement la tâche, l'activation des représentations lexicales et sémantiques de la couleur de l'ancre est tout aussi nécessaire que l'inhibition des représentations véhiculées par le mot écrit. Si l'inhibition faillit, l'activation des représentations liées au mot écrit prend le dessus, et le mot est lu. Ainsi, les auteurs proposent que la dégradation de la vitesse de traitement et des connaissances sémantiques pourrait contribuer à l'abaissement des performances chez les patients atteints de la MA. De façon intéressante, Amieva et al. (2002) ont recouru à un deuxième paradigme, moins couramment utilisé, et ont mis en évidence une nouvelle preuve d'un déficit inhibiteur dans la MA. Cette tâche, appelée *Identity NP Task*, se base sur le principe d'amorçage. Une première figure, constituée de deux dessins superposés, apparaît. L'un des dessins est rouge et correspond à la cible, l'autre dessin est vert et correspond au distracteur. La figure complète correspond à l'amorce. Après un masque, une deuxième figure du même genre apparaît. Il s'agit cette fois

du test. Les participants reçoivent la consigne de dénommer, pour l’amorce et le test, le dessin tracé en rouge. Trois conditions étaient alors proposées : 1) l’amorçage négatif, pour lequel le distracteur de l’amorce correspondait à la cible du test, 2) l’amorçage positif, pour lequel la cible de l’amorce et celle du test étaient semblables, et 3) l’amorçage neutre, pour lequel aucun dessin ne correspondait entre l’amorce et le test. Lorsque le distracteur de l’amorce est inhibé activement, un résidu de cette inhibition est toujours opérant lors du test. Aussi, si le distracteur de l’amorce est identique à la cible du test (i.e., condition d’amorçage négatif), le temps de réponse subissait un allongement lors du traitement de la cible du test. Chez les patients atteints de la MA, cet effet d’amorçage négatif n’a toutefois pas été observé, ce qui reflèterait, d’après les auteurs, une fragilité des processus d’inhibition.

Concernant à présent l’inhibition de réponse motrice, Amieva et al. (2002) ont utilisé, en plus du *Stroop Test* et de l’*Identity NP Task*, une tâche de Stop Signal ainsi qu’une tâche de Go/No go. Dans ces dernières, le nombre de fausses alarmes a été comptabilisé et le temps de réaction mesuré. Alors que patients et adultes âgés contrôles obtenaient des scores similaires, le temps de latence était supérieur chez les patients. Toutefois, lorsque les ratios des temps de réponse entre les phases d’apprentissage et les phases test étaient calculés, la différence entre les groupes disparaissait. Autrement dit, la deuxième phase de la tâche, requérant l’inhibition de certaines réponses, ne mettait pas les patients plus en difficulté que les adultes contrôles. Toutefois, la proportion de participants ayant effectué des fausses alarmes dans la tâche de Stop Signal était plus importante chez les patients que chez les adultes âgés contrôles. Dans une étude plus récente, Rahman et al. (2021) ont également proposé une telle tâche à des adultes âgés contrôles, des patients atteints de la MA et des patients atteints de la maladie de Parkinson. Ayant comparé cette fois leur SSRT (i.e., *stop reaction time*) afin d’évaluer leur niveau d’impulsivité relatif, ils ont montré que seuls les patients atteints de la maladie de Parkinson présentaient une impulsivité plus marquée que le groupe contrôle, indiquée par un

SSRT plus élevé. En revanche, les patients atteints de la MA présentaient un SSRT similaire à celui des adultes âgés sans trouble neurodégénératif.

Le déclin des capacités en flexibilité mentale

Contrairement au déclin des capacités d'inhibition, celui affectant la flexibilité mentale au cours de la MA a peu suscité l'intérêt des chercheurs, son investigation s'étant principalement limitée à celle des FE en général, et à l'aide d'épreuves cliniques telles que le TMT (i.e., *Trail Making Test*) (Bherer et al., 2004). Amieva et al. (1998) ont notamment montré un ralentissement des performances chez les patients atteints de la MA, à la fois pour la partie A et pour la partie B du test. Selon les auteurs, un défaut d'inhibition serait à l'origine de ce ralentissement. Pour la partie B du test, qui demande donc d'alterner des consignes (i.e., relier des chiffres dans l'ordre croissant et des lettres dans l'ordre alphabétique en alternant les chiffres et les lettres systématiquement), les patients commettaient plus d'erreurs que les adultes âgés contrôles. Deux types d'erreurs prédominaient, à savoir, 1) relier la lettre ou le chiffre à l'item le plus près, et 2) ne pas alterner entre le chiffre et la lettre. D'après les auteurs, le point commun entre ces deux types d'erreurs résiderait dans l'incapacité des patients à supprimer les informations ou opérations non pertinentes à la réalisation de la tâche.

Belleville et al. (2008) ont toutefois mis au point une épreuve expérimentale ciblant la flexibilité mentale. Dans cette tâche, chaque essai correspondait à l'apparition de deux chiffres, situés de part et d'autre d'un point de fixation central. Deux consignes étaient présentées, avec un indice visuel renseignant celle à suivre. Dans la première, il fallait soustraire ou additionner les deux chiffres (i.e., condition conceptuelle), alors que dans la seconde, il fallait dénommer le chiffre à gauche ou à droite du point de fixation (i.e., condition spatiale). A partir de leur tâche, les auteurs ont calculé un indicateur du coût global ainsi

qu'un indicateur du coût local. Le premier donnait une indication sur le coût de maintien en MT de deux informations pertinentes. Le second, quant à lui, renseignait sur la capacité à reconfigurer les informations en temps réel (i.e., *reconfiguration online*). Le coût global de flexibilité, ainsi que le coût local, étaient plus importants chez les patients que chez les adultes âgés contrôles, sachant tout de même que le premier se répercutait sur le nombre d'erreurs et le temps de réponse, alors que le second ne se répercutait que sur le temps de réponse. Par ailleurs, le type d'information à traiter subissait différemment l'effet de la maladie, la condition spatiale apparaissant plus impactée que la condition conceptuelle.

De façon intéressante, à l'aide d'une autre tâche, Huff et al. (2015) ont obtenu des résultats quelque peu différents. Dans leur tâche, les sujets faisaient face à un couple lettre-chiffre qui changeait à chaque essai. Deux instructions étaient possibles : juger de la parité du chiffre (i.e., pair ou impair), ou juger de la nature de la lettre (i.e., consonne ou voyelle). Alors que l'effet de la MA sur le coût de flexibilité n'a pas été démontré sur le nombre d'erreurs, il a été mis en évidence sur le temps de réponse. Étonnamment, ce dernier se montrait plus conséquent chez les adultes âgés contrôles, et encore plus chez les adultes jeunes, comparativement aux patients. Les auteurs ont suggéré que plus les processus attentionnels étaient préservés, plus les participants se montraient réceptifs (i.e., *well-tuned*) à la tâche. En d'autres termes, chez les patients atteints de la MA, le coût serait moindre du fait que les deux consignes seraient toujours relativement actives au cours de la tâche. Finalement, leur moins grande sensibilité à l'alternance des consignes pourrait être le résultat d'un défaut d'inhibition, tout comme le suggéraient Amieva et al. (1998) pour le TMT ou encore Amieva et al. (2002) pour ce qui est des performances en MT. Par ailleurs, le coût de flexibilité calculé ici correspondrait au coût de flexibilité local dépeint par Belleville et al. (2008), et qui était au contraire supérieur chez les patients. Toutefois, alors que la première tâche ne mettait en jeu qu'un seul type de stimuli (i.e., des chiffres), la seconde en proposait de deux types

différents (i.e., des chiffres et des lettres), demandant en plus à traiter aléatoirement l'un ou l'autre. Cette hétérogénéité des stimuli a pu alors augmenter la difficulté de la tâche. Dans ces conditions, nous pourrions supposer que jusqu'à un certain seuil de difficulté, les patients atteints de la MA demeurent capables d'inhiber la consigne non pertinente. Cette opération leur demandant plus de ressources cognitives qu'aux adultes âgés sans trouble cognitif, le coût de flexibilité s'accroît. Néanmoins, une fois le seuil dépassé, l'extinction totale de la seconde consigne ne serait plus possible, réduisant cette fois le coût de flexibilité. La différence de résultats entre les deux études pourrait également s'expliquer par le niveau de sévérité de la MA. Cependant, les deux équipes n'ont pas eu recours à la même échelle (i.e., MMSE vs Clinical Dementia Rating).

Ainsi, les différentes recherches tendent à montrer un déficit de la capacité de flexibilité mentale dès le début de la MA. Tout comme pour la MT, ce déficit pourrait être lié à une dégradation des processus inhibiteurs, et en particulier de suppression d'interférences.

Le déclin des capacités de mise à jour

La plupart des études ayant questionné la capacité à mettre à jour des informations en MT chez des patients atteints de la MA ont montré un déficit de cette compétence (Fraga et al., 2018; Goodman et al., 2018; Lim et al., 2008; Redondo et al., 2016; Waltz et al., 2004). Bien que dans la tâche N-back, fréquemment utilisée pour mesurer la mise à jour, le niveau 1-back semblerait parfois préservé, l'augmentation du coût cognitif (e.g., niveaux 2 et 3-back) engendrerait une chute des compétences plus marquée chez les patients que chez les adultes âgés contrôles (Waltz et al., 2004), au moins concernant le nombre de réponses correctes (Fraga et al., 2018). Ces derniers auteurs, qui avaient quant à eux montré un effet de la MA

sur le temps de réponse et le nombre d'erreurs dans la condition 1-back, ont examiné les activations cérébrales au moyen d'un EEG. Ils ont d'une part montré une réduction de l'onde P450, connue pour son implication dans le processus de mise à jour, dans les aires pariétales et centro-pariétales lors des essais *non-match* (i.e., item cible différent de l'item apparu n coups plus tôt) dans la condition 1-back. D'autre part, ils observeraient également une diminution de la réponse alpha dans les régions frontales et occipitales pour les essais *match*, alors que celle-ci aurait tendance à augmenter avec la difficulté. Ces modifications neurophysiologiques pourraient alors expliquer le déclin des performances dans la condition 1-back. D'ailleurs, plusieurs autres études se sont attachées à examiner les changements d'activations cérébrales induits par la MA dans des tâches de N-back. Lim et al. (2008), qui avaient également mis en lumière une baisse du temps de réaction dans la condition 1-back chez les patients atteints de la MA, avaient par exemple montré à l'IRMf une réduction de l'activation de plusieurs aires cérébrales impliquées dans la MT verbale (i.e., régions frontales gauches, CPFvm, insula gauche et cortex prémoteur droit), ainsi qu'une augmentation de l'activation de plusieurs autres régions (e.g., precuneus gauche). Cette dernière était considérée par les auteurs de compensatrice. Enfin, Goodman et al. (2018) ont analysé la relation entre le couplage thêta-gamma sous-tendant la MT et les performances dans une tâche de N-back. Les patients atteints de la MA obtenaient tout d'abord de moins bonnes performances que les adultes âgés pour les niveaux 1 et 2-back. De plus, ils montraient un couplage thêta-gamma plus faible que les adultes âgés sans MA pour le 2-back. Cet indicateur se présentait d'ailleurs comme le plus fort prédicteur des performances au 2-back.

A notre connaissance, seuls les résultats de Kensinger et al. (2003) n'auraient pas mis en lumière de différences significatives entre les performances de patients atteints de la MA et d'adultes âgés contrôles. Dans cette étude, les autrices ont uniquement proposé un niveau 2-back aux participants, mais en plus, les items proposés étaient des mots et non des lettres. Il

paraît alors possible que les représentations sémantiques véhiculées par les mots aient participé à un meilleur ancrage de leur trace en MT, chez les patients comme les adultes contrôles. Toutefois, les autrices ont souligné que la mémoire sémantique serait précocement atteinte dans la MA, et que sa dégradation pourrait rendre compte du déficit observé dans certaines tâches évaluant la MT, tels que les empans de lecture. Ainsi, deux hypothèses pourraient fournir une explication pour la préservation des capacités des patients dans leur tâche de 2-back. Il est tout d'abord envisageable que seule la récupération en mémoire sémantique soit précocement atteinte par la MA, et que les représentations sémantiques elles-mêmes perdurent un peu plus longtemps, justifiant la baisse de performances en empans de phrases mais pas au 2-back. Ensuite, n'ayant utilisé qu'un niveau 2-back, donc un niveau coûteux cognitivement, il paraît également possible que les adultes âgés contrôles aient aussi manifesté des difficultés pour réaliser la tâche. Peut-être que des différences auraient été mises en évidence avec un niveau 1-back, ce qui a d'ailleurs déjà été décrit dans la littérature avec des temps de réactions plus longs dans la condition 1-back mais identiques dans la condition 2-back (Fraga et al., 2018).

Ce sous-chapitre a permis de rappeler les modifications neurologiques à l'origine de la MA, mais également de décrire les caractéristiques comportementales qui s'observent chez les patients qui en sont atteints. Parmi ces dernières, la dégradation de la mémoire épisodique ou encore celle des fonctions exécutives et de la mémoire de travail semble particulièrement documentée. Puisque ces différents processus cognitifs seraient engagés dans la DMC, le prochain sous-chapitre sera alors dédié à la description des transformations affectant les processus décisionnels au cours du développement de la MA.

2 La prise de décision dans la maladie d'Alzheimer

Article 3 : Gaubert, F., & Chainay, H. (2021). Decision-making competence in patients with Alzheimer's disease: A review of the literature. *Neuropsychology Review*, 31(2), 267-287.

2.1 Préambule

Dans le cadre de ce travail de thèse, une revue systématique de la littérature concernant la DMC chez les patients atteints de la MA a été rédigée. Cet article visait à la fois à décrire les modifications de la DMC spécifiques à ce trouble neurocognitif, sous risque et sous ambiguïté, mais également à montrer l'impact que de telles modifications exerçaient sur la qualité de vie des patients et de leur entourage. Elle se voulait par ailleurs trait d'union entre études fondamentales et cliniques, rarement rassemblées dans des mêmes écrits.

Cette revue de la littérature a été publiée en 2021 dans *Neuropsychology Review*, et sera incluse dans la section suivante. Par ailleurs, elle sera accompagnée d'un autre sous-chapitre de mise à jour de l'état des connaissances.

2.2 Revue systématique de la littérature

Neuropsychology Review
<https://doi.org/10.1007/s11065-020-09472-2>

REVIEW



Decision-Making Competence in Patients with Alzheimer's Disease: A Review of the Literature

Fanny Gaubert¹ · Hanna Chalnay¹

Abstract

Decision-making competence (DMC) appears to be influenced by the congruency between the characteristics of the individual, the task and the context. Indeed, the ability to make decisions seems to be highly sensitive to cognitive changes as observed, in particular, in the healthy elderly. Few studies have investigated these relations in pathological ageing. In this review, we focus on DMC in patients with Alzheimer's disease (AD) and the links its impairment could have with deficits in episodic memory, working memory, and executive functions. Decision-making under risk and under ambiguity appears to be impaired early in the progress of AD, with the deficit being greater during the later stages of the disease. In addition, some studies suggest that the impairment of DMC is exacerbated by deficits in other cognitive functions, in particular working memory and executive functions. This degradation in the ability to make decisions seriously affects the quality of life of patients and their relatives, since they frequently face important decisions, especially concerning healthcare, finance or accommodation. Thus, the growing incapacity to decide for themselves increases patients' and caregivers' stress and burden. The challenge for future studies is to determine how best to help patients and their families in the decisional process.

INTRODUCTION

Decision-making capacity

Decision-making capacity is defined as a set of cognitive and emotional competences and experiences which help the decision-maker to select a response among a list of possible choices in a specific situation (Jacus et al. 2012). In the literature, two types of decision-making are described. Under ambiguity, the possible outcomes are uncertain, as is their probability of occurrence. Under risk, all the possible outcomes remain uncertain, but the decision-maker can estimate their respective probability of occurrence (Brand et al., 2007; Levy et al. 2009). There is currently no consensus as to whether or not these two sorts of decision processes are underpinned by the same cerebral areas. Some authors have reported only similar activations (Levy et al., 2009), while others have revealed both distinct and similar ones. From a general point of view, researchers agree that the orbitofrontal cortex, the prefrontal cortex, the anterior cingulate cortex, the striatum and the amygdala are all involved in decision-making (Gleichgerrcht et al., 2010).

Various models have been proposed to explain the decision-making process, and many of them point to the respective roles of cognitive functions and emotions. These models are gathered together under the designation of dual-processing theories. They suggest the existence of two different systems: one “intuitive”, based on quick, emotional, effortless and automatic process, and another,

so-called “reflective” system, based on slow, rational, effortful, and cognitively controlled processes (Liebherr et al., 2017; Schiebener & Brand, 2015). The intuitive mode is thought to predominate in decisions under ambiguity, while the reflective mode would instead be activated for decisions under risk (McCarrey et al., 2010). Most of the dual-processing theories describe either decision-making under ambiguity or decision-making under risk. Damasio and collaborators have focused primarily on the first type of decision-making situation (Bechara et al., 1994, 1997; Bechara & Damasio, 2005). According to them, decision-making under ambiguity would induce emotions and feelings, described as non-declarative knowledge, which would in turn unconsciously influence the reasoning skills by assisting the rational process involved in decision-making (Bechara et al., 1997). This model is directly linked to the hypothesis of somatic markers, which can be defined as a memory trace which brings together the characteristics of previous situations, the emotions they aroused and the physiological responses they provoked, thereby guiding the present decision-making (Bechara et al., 1994; Bechara & Damasio, 2005). Inspired by these models, Brand et al. (2006) have proposed a theoretical framework that relates only to decisions made in risk situations. From the authors' point of view, the executive functions (EF) are considered to be the most important component in risky decisions and are thought to guide the development and the application of the decision strategy. In a more limited way, feedback would also contribute to this guidance

by means of two systems that co-exist in parallel and influence each other: a reflective one and an impulsive or intuitive one. However, a revised version of Brand's model has suggested that cognition has a greater influence on decision-making than that exerted by EF alone: general cognitive ability, working memory (WM), long term memory and the processing of probabilities are also thought to play an important role (Brand et al., 2014; Jasper et al., 2013; Schiebener & Brand, 2015). Schiebener and Brand (2015) also extended the two parallel systems initially thought to be dedicated to feedback (i.e., reflective and impulsive) to the entire decision process, meaning that both cognition and emotion can modulate decision-making under risk from the very beginning of this process (Schiebener & Brand, 2015). In other words, both systems can be activated at the same time, but one of these is dominant and the other is dominated. The system that acquires the leading role would depend on the situation and on the decision-maker's characteristics, such as age for instance. Indeed, the quality of decision-making would change with ageing, especially in complex situations. The capacity to make decisions would, in fact, be vulnerable to the interaction between age and low cognitive capacity. Whereas the intuitive (i.e., impulsive) mode would be preserved, the deliberative (i.e., reflective) mode would deteriorate. This last update to Brand et al.'s (2006) model is in agreement with other models and theoretical frameworks that have chosen not to distinguish between the two types of decision-making (i.e., under risk and under ambiguity). They define

the decisional capacity as the selection of the best option available to the decision-maker depending on the situation and on the individual's personal characteristics. According to some of these models (e.g., the Appraisal Tendency Framework of Lerner & Keltner, 2000) or the Emotion Imbued Choice model (Lerner et al., 2015), emotions would influence reasoning skills in many different ways during the whole process. Finucane & Lees' (2005) model (the Person-Task Fit framework) focuses, in particular, on the decision-making competence (DMC) in the elderly. The main idea of these authors is that competent decision-making depends on the congruency between the characteristics of the individual, the task and the context. In this way, any modification to an individual's characteristics, such as their cognitive capacities (e.g., processing speed, arithmetic reasoning abilities, working memory), due to normal ageing would influence the congruency between these three factors, and, as a consequence, modify the decision process. Even if they agree on the impact of affective features on the decision process, Finucane and Lees (2005) do not include them in their model.

To sum up, researchers have tried to understand what functions underpin the DMC and have described the process as a whole in the form of theoretical models. However, at the same time, this has also required extensive empirical work aimed at developing tasks suitable for testing the DMC. Thus, to ensure a better understanding of the studies discussed in this review of the literature, we will in the next

section, describe various tasks that have been developed to assess the capacity to make decisions, generally, specialised either in one or in the other decision type.

Decision-making under risk can be evaluated by 1) the Probability-Associated Gambling (PAG) task, which takes the form of a fictitious lottery in which, on each trial, the participants have to decide whether they prefer to lose or win a small amount of money or to bet a large amount of money; 2) the Game of Dice Task (GDT), in which participants attempt to increase their initial capital by making bets on the throws of a dice; and 3) the Cambridge Gambling Task (CGT), in which the participants have to bet on the position of a specific stimulus and then determine the value of their bet depending on the degree of self-confidence they feel (Jacus et al., 2012; Schiebener & Brand, 2015; Sinz et al., 2008; Zamarian et al., 2008).

Concerning the assessment of decision-making under ambiguity, some studies have used Ellsberg's two-colour paradigm: the participants sit opposite two urns, one transparent and the other opaque, each filled with the same total quantity of balls but with different proportions of red and black balls. In each trial, the participants are asked to choose the urn that they think will give them the best chance of pulling out a ball of the target colour (i.e., black or red) (Lauriola & Levin, 2001). Finally, the task that is the most commonly used in the literature is the Iowa Gambling Task (IGT). The participants see four decks of cards (A, B, C and D). Two of them are considered as advantageous (C and D) because they lead to a

long-term profit, and the other two (A and B) are considered as disadvantageous, as they can lead either to large gains or to very large losses. The participants do not know the rules and instead have to learn them as they play. The task was initially designed to evaluate decision-making in ambiguous conditions. However, its suitability for this is still a matter of debate. Indeed, it seems more likely that only the first trials fulfil this objective (i.e., when the participants know nothing about the characteristics of the decks), whereas the last trials (i.e., when the participants have understood that there are good and bad decks) are more likely to assess decision-making under risk. However, the exact moment when a transition appears between the two mechanisms is still unclear. It could be a gradual process that depends not only on the task but also on the participants' characteristics (Bechara & Damasio, 2005; Brand et al., 2006, 2007; Buelow & Suhr, 2009).

Changes in decision-making have been described in many psychiatric and neurological pathologies (i.e., pathological gambling, schizophrenia, attention deficit/hyperactivity, Parkinson's disease etc.) (Buelow & Suhr, 2009), as well as in normal ageing (Mata et al., 2015; Pertl et al., 2017; Zamarian et al., 2008). The results of these latter studies suggest that modifications in the capacity to make decisions could be explained, at least in part, by the diminution of cognitive competences, as well as by changes in motivational and emotional processes. If the decision-making process is vulnerable to normal ageing, it might be even more impacted in pathological ageing, as the

cognitive, emotional and motivational capacities are considerably affected by age-related neurodegenerative disorders such as Alzheimer's disease. In this review of the literature, we will focus on the capacity to make decisions in patients with Alzheimer's disease (AD). Before addressing this subject, we give a general description of the neuropathology of AD and the associated cognitive dysfunctions in the following section in order to permit a better comprehension of DMC in this pathology.

Alzheimer's disease: general cognitive dysfunction

Alzheimer's disease is the most widespread neurodegenerative pathology worldwide. "Neuro" because it affects the brain through the two typical lesions described in AD patients: amyloid deposits surrounding the neurons and neurofibrillary tangles inside the neurons (Braak & Braak, 1991). Then "Degenerative" because of the progressive deterioration that occurs over time, starting from the hippocampus and the transentorhinal regions and reaching the primary areas at the end of the disease (Braak & Braak, 1991). At a neuropsychological level, several deficits are observed in these patients. AD is well known for the degradation of memory it causes. However, other cognitive dysfunctions also appear as the dementia progresses. The different theoretical models introduced above suggest that decision-making competence depends on several cognitive functions and that their degradation will necessarily impact the

capacity to make decisions. To permit a better understanding of the capacity to make decisions in AD patients, we briefly depict the cognitive impairments that occur in AD below, as they could impact the DMC. However, these studies are not part of the review itself because they do not address the question of DMC.

As of the very onset of the disease, patients show episodic memory impairments: as in normal ageing, their information retrieval ability decreases, but unlike the healthy elderly, the encoding phase is also degraded and continues to worsen until patients can no longer create any new memory (Ergis & Eusop-Roussel, 2008). Working memory is also affected early in AD. Indeed, manipulating verbal information seems to be particularly hard for patients, even at the mild stage, thus leading to a loss of items to recall in experimental tasks (Belleville et al., 1996; Lim et al., 2008). It has been proposed that working memory might be closely linked to other cognitive functions, such as executive functions, and could even be the common feature in these processes, given that executive function tasks require the active maintenance of goals and other relevant information in working memory (Miyake et al., 2000). Among the executive functions, the inhibition process has been well documented in patients with AD. Even if not all studies draw the same conclusions, often because they use different tasks, they tend to show that the inhibitory abilities are impaired quite early in the disease and that this deficit impacts all long-term memory processes (i.e., encoding, storage and retrieval) (Bherer et al., 2004; Fournet et

al., 2007). Although fewer studies have investigated flexibility in AD patients, all of them highlight the impairment of the ability to switch from one task to another in both the visuo-spatial and verbal modalities (Bherer et al., 2004). With regard to flexibility, only a few studies have investigated updating processes in AD patients. We were only able to find two such studies (both used an N-back procedure) and these reported contrasting results, one showing a deficit (Waltz et al., 2004), while the other did not (Kensinger et al., 2003). Thus, more studies are necessary to gain a better understanding of the updating process in AD.

All the studies mentioned above show a general impairment of cognitive functions even at the beginning of AD. However, the neuroanatomical and neurophysiological changes observed in AD produce more than only cognitive deteriorations: they also impact the emotional network. Apathy, for example, which refers to “a lack of motivation and diminished feeling or concern”, is commonly described in patients with AD (Bayard et al., 2014; Levy et al., 1998; Ready et al., 2003; Starkstein et al., 2006). This mood disorder may appear before the diagnosis and even before any difficulty in daily life, at a time when patients are still considered as people with an amnesic mild cognitive impairment (aMCI) (Ready et al., 2003). Beyond the lack of motivation, apathy also seems to impact cognitive functioning, and especially the ability to make decisions (Bayard et al., 2014). Other competences related to emotions are degraded early in the pathology. The capacity to

recognize facial expressions is one of them, with the greatest impairment being observed for expressions of sadness, fear and anger (Werheid et al., 2010), while recognition of the expressions of joy and disgust is preserved (Chainay & Gaubert, 2020; Henry et al., 2008; Tonini et al., 2016). In a recent study, Vilarem et al. (2019) showed that the ability to recognise facial expressions, even in a non-conscious way, could impact the decisional behaviour of the observer.

Given that decision-making ability appears to be based on cognitive and emotional processes and that both of these are impacted as of the beginning of AD, the capacity to make decisions should also be degraded in patients with AD.

Objectives and structure of the review

Several studies have investigated the ability to make decisions in patients with Alzheimer’s disease and, according to our search of the literature, 10 reviews have been dedicated to this topic. However, they are split into two domains: those interested in fundamental research (de Siqueira et al., 2017; Gleichgerrcht et al., 2010; Jacus et al., 2012; Kim et al., 2002), and others which have focused on daily life (Davis et al., 2017; Kim et al., 2002; Slyer et al., 2018; Viloría Jiménez et al., 2013). Unless we are mistaken, no review has as yet taken account of both aspects in AD patients. Moreover, the reviews summarizing the fundamental studies do not include the emotional aspect, despite its influence on the

decision process, while those summarizing studies focused on everyday decisions often concentrate on one specific point such as driving (Davis & Ohman, 2016) or healthcare issues and, in particular, the consent to treatment (Karlawish, 2008; van Duinkerken et al., 2018).

This review aims to answer two crucial questions: 1) what are the characteristics of the decision-making deficit in patients with AD? ; and 2) what is the impact of such an impairment on everyday life? We think that to gain a more integrated view, it is important to present, in one and the same review, studies that have examined links between the decision process, cognitive functions and emotions in Alzheimer's disease and studies that have described the consequences of the decision-making deficit for AD patients' everyday life. Indeed, we believe that fundamental research has direct implications for healthcare and that it is necessary to gather the results from both fields in order to provide the best possible support to patients.

METHOD

Search strategy

To conduct the review, we selected articles corresponding to the keywords “decision making” and “Alzheimer's disease” in the following databases: PubMed and the electronic library of Lumière Lyon 2 University (EL). The latter brings together several providers, among which we selected: *PsycArticles*, *PsycTests*, *PsycExtra*, *PsycInfos*, *Psychology Database*, *Complementary Index* and *ScienceDirect*. The search in PubMed did not include restrictions concerning either period or language. The search in EL was restricted to articles written in French or English, and published between January 1st, 2000 and December 31st, 2019.

Selection of publications for inclusion

The initial search yielded 1,826 articles in PubMed and 30,705 articles in the EL. The first selection (i.e., screening based on title and abstract) was made separately in PubMed and in the EL, but followed the same procedure. All the articles containing the words “Alzheimer” AND “decision” in their title and/or in their abstract were kept (583 for PubMed and 312 for the EL). For PubMed, we excluded all the references not written in French or English and not published between 2000 and 2019.

Key words: « decision making » and « Alzheimer's disease »

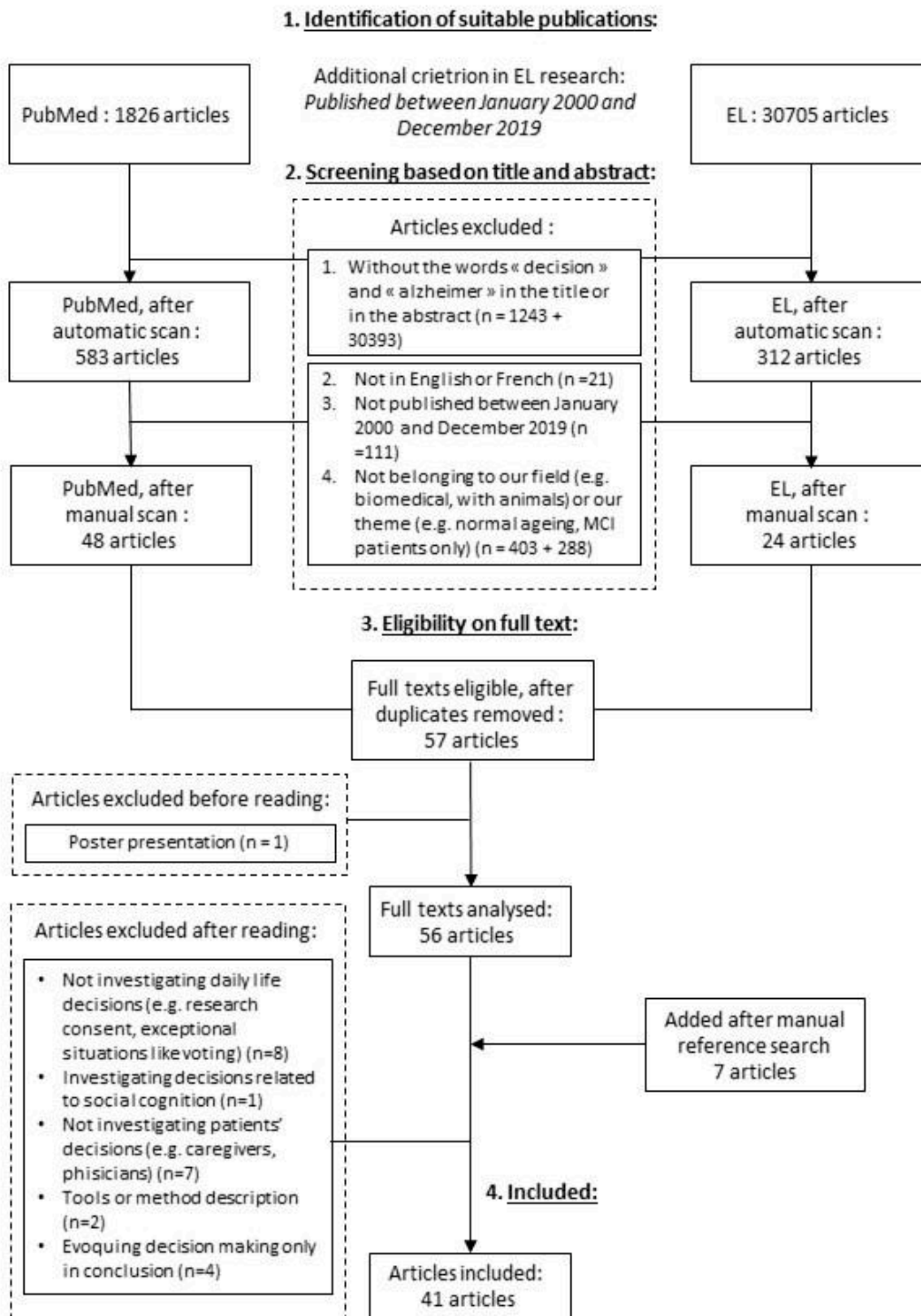


Figure 37. Flow chart

We then manually screened this initial selection and excluded all the articles not belonging to the field (e.g., biomedical research) or not relating to the topic of interest (e.g., the decision regarding the diagnosis of AD, addressed to the physicians) of the present review. After having removed the duplicates from this selection phase, 57 articles were eligible. At this point, we rejected one reference for being a poster presentation, and read the 56 others. This led to a final inclusion phase during which 7 new articles were added, as well as to a final exclusion phase during which 22 references were rejected. The 7 manually included articles were found by examining the bibliographies of the 56 selected articles. They fell within our subject area but were apparently not indexed in the databases we used. Ultimately, 41 references were included in this systematic review (31 empirical studies and 10 reviews). For more details about our method, please refer to the Flow Chart above (Fig 37).

Inclusion criteria

We included any research investigating decision-making competence in patients with AD; researches using gambling or more ecological tasks; assessing the decisional ability *per se*, linked to other cognitive functions or emotion, and/or in everyday life contexts; using neuro-imaging techniques or collecting behavioural data only. Empirical studies and systematic reviews were eligible for inclusion. Main information about the 31 empirical studies included are pooled in the Recap Chart below (Table 7).

Exclusion criteria

Publications were excluded from the present review in the following cases:

- studies not including patients with AD (e.g., MCI patients, individuals “at risk”)
- studies not including a decision-making task or questionnaire
- studies in which the decisions were related to the patients, but not processed by them (e.g., decisions made by caregivers or physicians)
- studies in which decision-making was approached from a social cognition perspective
- studies describing tools or method

DECISION-MAKING DEFICIT IN PATIENTS WITH AD

Several studies have investigated the decision-making competence (DMC) of patients with AD and all of them have shown a deficit in at least one of the decision-making categories: under risk or under ambiguity. Researchers have tried to pool the results of studies focusing on DMC in AD patients but, as we have already mentioned, without simultaneously taking account of both fundamental studies and studies focusing on everyday life. Of the three systematic reviews that have brought together the results of fundamental research, only two present a separate discussion of AD because they also present the results for other

Table 7. Recap Chart of the 31 empirical studies included in the present review, with authors names, date of the publication, type of participants and their number per group, AD stage, tasks used in the study and main results. HE – healthy elderly; AD-- Alzheimer’s Disease; bv-FTD – behavioural variant of fronto-temporal dementia; MCI – mild cognitive impairment; IGT – Iowa Gambling Task, GDT – Game of Dice Task; MacCAT-T – MacArthur Competence Assessment Tool –Treatment; ACED – Assessment of Capacity for Everyday Decision-Making; LIMD – Linguistic instrument for medical decision-making

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Alameda-Bailen et al.	2017	30 AD patients - 30 HE	stages 3 to 5 of GDS (mild cognitive impairment to moderately severe)	IGT (short version)	AD patients make less advantageous decisions than HE. Correct performance to the IGT makes important demands on the declarative memory.
Bayard et al.	2014	20 AD patients - 20 aMCI patients - 20 HE	/	IGT	Amnesic MCI and AD patients made more disadvantageous decisions than HE, and disadvantageous decision-making profile on the IGT was associated with higher level of apathy on the action initiation dimension.
Bayard et al.	2015	20 AD patients - 20 MCI patients - 20 HE	mild to moderate	IGT	MCI and AD patients made more disadvantageous decisions than HE, both groups of patients expressed difficulties in acquiring explicit knowledge.
Bertoux et al.	2015	30 AD patients - 20 bvFTD patients - 20 HE	mild and moderate	ecological delay-discounting	AD patients' delay discounting scores did not differ from those of HE, bvFTD patients showed more impulsivity and lower delay discounting scores.
Carabellese et al.	2018	70 AD patients - 83 HE	mild to severe	MacCAT-T	All levels of neurocognitive impairment from AD were associated with lower rates of capacity to consent in comparison with a non-neurological control group. Mildly impaired patients showed higher scores on reasoning in comparison with moderately impaired patients. All with severe AD were unable to answer (any) questions on the MacCAT-T interview.

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Dawson et al.	2009	40 AD patients - 115 HE	mild	driving standardized 35-mile route in urban and rural settings in an instrumented vehicle	AD patients committed more safety errors, age and composite cognitive score were predictive of errors.
Delazer et al.	2007	19 AD patients - 26 HE	mild	GDT	AD patients expressed difficulties in keeping a stable strategy and were not able to adapt it through the task, correlations between GDT and TMT were found.
Dommes et al.	2015	25 AD patients - 33 HE	mild	streetcrossing task in a simulated environment	AD patients were more likely than the control group to make decisions that led to collisions with approaching cars, especially when the traffic was coming from 2 directions and they were in the far lane.
Fang et al.	2018	12 AD patients - 24 HE	mild	Simulated two-lane, one-way road-crossing situation	Patients with AD were more vulnerable to traffic crash while crossing the road than healthy older adults. Compared with healthy older adults, patients with AD were more severely affected by daylight conditions, faster vehicle speed, and shorter time gap.
Gorrie et al.	2008	22 pedestrians with moderate to high NFT - 30 pedestrians with low NFT	/	crash investigation	Compared to older pedestrians with no, or low NFT, those with moderate to high NFT were more likely to be: at least partially responsible for the incident; injured while in low complexity situations; involved in impacts with reversing vehicles; impacted in near lanes of traffic; and struck by a vehicle off road.
Ha et al.	2012	14 AD patients - 16 HE	mild to moderate	decision-making task under risk (financial decisions)	AD patients chose more risky options under the positive frame than the negative frame, contrary to the control group.

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Hamann et al.	2011	100 AD and aMCI patients - 99 relatives - 93 referring physicians	mild	decision-making subscale of the Autonomy Preference Index + MacCAT-T	AD patients want to participate in healthcare-related decisions, and want their relatives to play a secondary role. Relatives and referring physicians performed poorly in predicting the individuals' participation preferences, and relatives wanted to attribute less decision-making power to patients than the patients did themselves. Patients refrained from participation if they had lower Mini-Mental State Examination scores or were unsure about their decisional capacity. There were deficits in decision-making capacity, which mostly related to understanding of the information presented.
Hirschman et al.	2005	48 AD patients - 48 caregivers	mild to moderate	MacCAT-T	AD patients want to participate in healthcare-related decisions.
Hot et al.	2014	29 AD patients - 32 HE	mild	IGT	Inducing joy before performing the IGT significantly increased AD patients' performance level compared with that of the control subgroups.
Jacus et al.	2018	20 AD patients - 20 MCI patients - 20 HE	mild	IGT	AD and MCI patients made more disadvantageous choices than HE, and their performances were associated with both reduced behavioural competency and poor awareness of limitations.
Karlawish et al.	2005	48 AD patients - 102 family caregivers	mild to moderate	MacCAT-T	Persons with mild to moderate Alzheimer disease (AD) have notable impairments in their ability to make an AD treatment decision, especially persons with moderate AD and persons who lack awareness of symptoms, prognosis, or diagnosis.

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Kloeters et al.	2013	17 AD patients - 18 bvFTD patients - 28 HE	/	IGT (in fMRI)	Patients performed worse than the HE. bvFTD and AD patients did not show the same correlations between their scores and their brain activations. Parietal and temporal atrophy would be involved in decision-making deficit in AD patients.
Lui et al.	2013	90 AD patients - 92 MCI patients - 93 HE	mild	ACED (Chinese version)	53.5% were mentally competent to take every day decision-making in the AD group, compared with 94.6% in the MCI group. Participants with MCI had mild but significant impairment in understanding, appreciating, and reasoning abilities as measured by the ACED. The ACED provided a reliable and clinically applicable structured framework for assessment of mental capacity to make financial decisions.
Lui et al.	2009	33 AD patients - 33 HE	very mild to mild	MacCAT-T	Even patients with very mild dementia can show substantial deficits in decision-making capacity, and improved capacity is not likely to result from repeated disclosure of information.
Lui et al.	2012	95 AD patients - 99 MCI patients - 97 HE	mild	ACED (Chinese version)	Abilities related to decisions on medication management are impaired before the clinical diagnosis of dementia is made.
Marson et al.	2009	128 (97 + 31) AD patients - 58 MCI patients - 75 HE	mild and moderate	Semi-Structured Clinical Interview for Financial Capacity	Financial capacity shows mild impairment in MCI, emerging global impairment in mild AD, and advanced global impairment in moderate AD.
Mueller et al.	2019	14 AD patients - 14 HE	mild	GDT (with and without support)	The findings indicate that supportive information about the riskiness of options can compensate for mAD-related deficits in decision making under risk

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Okonkwo et al.	2008	31 AD patients - 60 MCI patients - 56 HE	mild	Capacity to Consent to Treatment Instrument	In the mild AD group, measures tapping executive function and processing speed were primary predictors of <i>appreciation, reasoning</i> and <i>understanding</i> scores.
Rainville et al.	2001	14 AD patients - 28 HE	early to intermediate (stage 3 to 5 of GDS)	Way-finding task in natural context	There is a deterioration of wayfinding abilities in unfamiliar places for AD patients. Decision-making and information processing were impaired in patients.
Rodgers & Kass	2018	1 AD patient	mild	CURVES process	The assessment of medical decision-making capacity is an essential component of ethical medical practice and should be part of every medical decision to varying degrees, based on the complexity and potential consequences of the decision.
Sinz et al.	2008	22 AD patients - 22 HE	mild	IGT + PAG	For both tasks, patients made more disadvantageous decisions than the HE. At the IGT, they shifted more frequently among the desk, compared to HE. Patients' performance on both tasks correlated with measures of executive functions
Stormoen et al.	2014	20 AD patients - 21 MCI patients - 33 HE	mild	LIMD	Multiple factors are involved in medical decision-making capacity in subjects with cognitive impairment. The component of verbal knowledge was the best predictor of medical making-decision capacity and Reading speed was the most important single cognitive test measurement, which assessed both rapid Reading and understanding of text.

Authors	Year	Participants	AD stage	Decisional Task	Main results
Tallberg et al.	2013	20 AD patients - 22 MCI patients - 37 HE	mild	LIMD (Swedish version)	Groups differed significantly in LIMD with AD patients performing worst and MCI poorer than the control group. The results indicate that a fundamental communicative ability has an impact on the competence for autonomous decisions in cognitive impairment.
Thalén et al.	2017	24 AD patients	mild	LIMD (Swedish version, linguistically adapted)	Adapted vignettes may not improve MDC for individuals with mild AD.
Torralva et al.	2000	25 AD patients - 20 HE	/	Moral Judgment Interview + IGT	AD patients had significantly lower scores in the Moral Judgment Interview and obtained significantly less earnings in the card test when compared to the normal control group. The IGT scores correlated significantly with both the Benton Visual Retention Test and the Buschke Selective Reminding Test.
Uc et al.	2004	32 AD patients - 136 HE	mild	Route-finding task administered on the road in an instrumented vehicle	The drivers with mild AD made significantly more incorrect turns, got lost more often, and made more at-fault safety errors than control subjects, although their basic vehicular control abilities were normal.

neurodegenerative pathologies (Gleichgerrcht et al., 2010; Jacus et al., 2012), while one combines results for both AD and MCI patients (de Siqueira et al., 2017). Moreover, none of them discusses the links that DMC impairments in AD patients share with cognitive impairments in the light of the theoretical models and, furthermore, none of them includes the impact of emotions and affective processes on DMC. In the subsections below, we will present the results concerning 1) decision-making under risk, 2) decision-making under ambiguity and 3) discussion of the results. As the decision-making process is often characterized as a function of its type (i.e., under risk or under ambiguity), we have organized our review to reflect this distinction.

Decision-making under risk

Before focusing on the crucial point of our review, the link between the DMC in AD and the deficits in cognitive functions and emotional processing, we briefly describe the main findings concerning decision-making under risk in AD. Using the PAG, the CGT or even the GDT, different authors have identified a deficit in decision-making under risk in patients with AD (see Table 7). Interestingly, the major difference between patients with AD and the healthy elderly appears to lie in the pattern of responses in the various decision-making tasks. Whereas the control participants adjusted their strategy and made more advantageous decisions at the end of the GDT, the patients did not learn from the first trials

and kept making the same proportion of disadvantageous choices from the start through to the end of the experiment (Delazer, et al., 2007). Because the patients struggled to adapt their behaviour, they made a higher overall proportion of risky choices than the healthy elderly participants. However, their pattern of responses was not comparable to that of gambling-addicted people and therefore did not reflect the behavioural characteristics of impulse control disorder. Indeed, even at a moderate stage of the disease, AD patients demonstrate no impulsiveness in their decision-making, unlike patients with Fronto-Temporal Dementia (FTD). In fact, Bertoux et al. (2015) study showed that the delay discounting score (i.e., the total percentage of impulsive choices: when a less pleasant but immediate reward is chosen instead of a more pleasant but delayed reward) was similar in both AD patients at a mild to moderate stage of the disease and in the healthy elderly, but was significantly different from that of FTD patients, who exhibited more impulsiveness (i.e., had a higher score). The task used by Bertoux et al. (2015) was particularly interesting because it was based on everyday life situations, instead of the gambling situations which are usually used in studies investigating decision-making impairment. The tendency of AD patients to make more risky decisions has also been shown using the PAG task. Sinz et al. (2008) confirmed Delazer et al.'s (2007) results by showing that the main behavioural difference between patients and control participants lays in the ability to adapt one's decisions as the task progressed. In other words, in both the GDT and the PAG, the

patients did not resort to a stable strategy and their decisions seemed to be made randomly. To our knowledge, no studies have investigated the decision-making ability with simpler tasks in patients with AD.

Several studies have investigated the question of whether deficit in decision-making under risk in AD patients might be correlated with deficits in other cognitive functions. Generally speaking, among the different cognitive functions, the executive functions are those that are most frequently reported as being crucially involved in the decisional process under risk (e.g., Liebherr et al., 2017; Del Missier et al., 2012; Brand et al., 2014; Delazer et al., 2007; Sinz et al., 2008). With regard to AD patients, it has been shown that they refer to the difficulties that patients experience in maintaining a stable strategy while performing the GDT and their tendency to switch with no apparent logic from disadvantageous to advantageous choices (Delazer et al., 2007). This unstable behaviour correlates with poor performances on the Trail Making Test (TMT), which assesses mental flexibility. At the same time, it has also been shown that decision-making under risk in AD patients may be influenced by the deficit in inhibition. Sinz et al. (2008) observed a correlation between the inhibitory control subset of the Frontal Assessment Battery (Dubois et al., 2000) and the last block of the IGT, which is thought to evaluate decision in risk situations, since the rules should be understood at this point of the game. The digit span forward, which assesses

passive aspect of working memory, was also found to correlate with the last trials of the IGT. Thus, working memory and inhibitory processes appear to be the decisional tools that play a particularly important role when explicit information is present. Sinz et al. (2008) also observed correlations between executive functions and decision-making under risk using the PAG. They found a negative correlation between the motor programming subset of the FAB and the frequency of bets in low-probability conditions, and a positive one between this subset and the frequency of bets in high-probability conditions. The authors suggested that a lack of inhibition and control may lead to disadvantageous decisions in situations where there is a low probability of winning in patients with mild AD. Surprisingly, Ha et al. (2012) observed that, unlike the healthy elderly, AD patients take more risks in situations implying a gain than in situations implying a loss. According to these authors, an impaired ability to evaluate gains and losses could explain these results.

As described above, there is a growing body of evidence in the literature that internal cognitive factors, such as EF or working memory, have a major impact on decision-making under risk in AD patients. However, these factors are not the only ones that impact the decisional abilities of these patients. Indeed, external factors, such as feedback or even advice, also appear to play an important role in the decisional process. More interestingly, the interaction between internal and external factors would explain more precisely how they affect

decision-making (Mueller et al., 2019). In this study, mild AD patients and healthy elderly subjects performed the GDT: first without any aid to decision-making, then with such an aid and then again unassisted. Although the patients always took more risky decisions than the controls, their DMC improved significantly when assistance was provided, unlike the healthy elderly participants, whose performances remained similar both with and without the aid to decision-making. The authors revealed correlations between DMC and EF in both conditions for the controls but only in the condition without feedback for the patients. EF and working memory appear to be particularly important for selecting pertinent information, evaluating risks and therefore also making decisions. In AD patients, these two functions are disabled, with the result that when another element is provided to help them make their decisions, they seem to rely exclusively on it.

In summary, DMC under risk seems to be impaired very early in the development of AD. However, to our knowledge, no study has investigated the relation between cerebral atrophy observed in AD patients and the impairment of decision-making under risk in this population. It has also been pointed out that the extent of the difficulties in decision-making under risk in AD patients is in some way related to the deficits these patients present in various cognitive functions which are usually involved in making advantageous decisions under risk, such as mental flexibility, the inhibition process, working memory or numerical

abilities. Equally, external factors such as feedback or advice seem to positively influence the decisional process, even if the importance of this influence depends on the internal factors of each patient. In the next section, we present the impact of Alzheimer's disease on the second type of decision-making, namely the making of decisions under ambiguity situations.

Decision-making under ambiguity

As a reminder, decisions under ambiguity correspond to decisional situations in which not only are the possible outcomes uncertain but so too is their probability of occurrence. Several authors have used the IGT to specifically investigate this aspect of DMC in AD patients.

In the same way as for DMC under risk, we first present the main findings concerning decision-making under ambiguity in AD before focusing on the link between DMC and the deficits in cognitive functions and emotional processing. Generally speaking, it has been shown that the ability to make decisions in ambiguous contexts is also reduced very early in Alzheimer's disease. Jacus et al. (2018) reported weakened performances on the IGT in mild AD patients as compared to healthy elderly. It should be noted that Torralva et al. (2000) have also corroborated the hypothesis that AD leads to an early deficit in decision-making under ambiguity, although the authors themselves considered that they were using the IGT to study DMC under risk. In fact, they showed that mild AD patients more often chose

the two disadvantageous decks than the controls did. Throughout the entire task, the patients chose the four decks with equal frequency and they did not adapt their strategy in the light of the feedback. By contrast, from half-way through and on to the end of the game, the healthy elderly participants chose more advantageous than disadvantageous cards. Kloeters et al. (2013), nevertheless, found no significant difference between the IGT performances of AD patients and healthy controls: the number of advantageous decisions improved in both groups with practice. However, the authors reported a high level of variability in the performances of the patients. It is possible that this variability could explain, at least in part, the absence of significance. Interestingly, when the modified net score (comparison of the number of cards chosen from deck D with the number of cards chosen from deck A) was taken into account, the difference between the control group and the group of patients became significant. Thus, this score seems to be a more sensitive measure of impairment. Nevertheless, the task used could in itself be a source of fluctuations in the results between the different studies. Indeed, it would be very sensitive to a number of factors, such as the anxiety level, the emotion felt at the time of the task, or the participant's cognitive abilities (Buelow & Suhr, 2009). It also seems important to keep in mind that, even if the first trials presumably assess decision under ambiguity and the last trials decision under risk, the moment of transition from one mechanism to the other is still unclear. To overcome this difficulty, some authors have split the data into

five blocks and analysed them separately. However, this methodology is not always followed. To our knowledge, the study by Kloeters et al. (2013) is the only one that has directly investigated the links between cerebral atrophy and the IGT performances of AD patients. In addition to AD patients, this study included a group of healthy controls and patients with the behavioural variant of frontotemporal dementia (bvFTD). At the cerebral level, the analyses performed for all the patients taken together showed that performances on the IGT correlated with the atrophy of several regions (the orbitofrontal cortex (OFC), the dorsolateral prefrontal cortex (dlPFC), the frontal cortex, the cingulate cortex, the parietal and temporal cortex, the cerebellum, the putamen, the amygdala and the hippocampus) usually reported as being involved in decision-making. More interestingly, the separate analyses for the two groups of patients showed that the impairment of decision-making under ambiguity in AD patients correlated more with parietal and temporal atrophy, and in bvFTD patients more with frontal, occipital and cerebellar atrophy. The authors concluded that these results suggest different underlying reasons for impaired IGT performance in AD and bvFTD patients. For example, it is possible that one of the reasons that specifically explains the performance of AD patients, but not that of bvFTD patients, could be their episodic memory deficit. Indeed, both the parietal and temporal cortices have been shown to be involved in episodic memory, which is crucial for explicit knowledge of rules

which, in turn, is important for performing the IGT task.

The results presented above mostly suggest that DMC under ambiguity, just like DMC under risk, is impaired in AD patients. However, the question is whether AD affects these two types of DMC to the same extent. Only a few studies have investigated both types of decision-making in the same patients. One of these studies, conducted with mild AD patients by Sinz et al. (2008), found deficits in both types of decision-making: under risk using the PAG (see section II.A.1 for a more detailed description) and under ambiguity using the IGT. However, the deficit was greater for decision-making under ambiguity.

Concerning the question of whether deficit in decision-making under ambiguity in AD patients might be correlated with deficits in other cognitive functions, some authors have found evidence supporting this suggestion. Torralva et al. (2000) found correlations between the number of disadvantageous choices in the IGT and the impairment of verbal and visual anterograde memory. Although the authors proposed no explanation, they supposed that the DMC tested with this decisional task relies on “basic intellectual functions”. To perform the task correctly, it is necessary to remember the consequences of selecting the different decks. If the participants are unable to memorise this information then they will probably be unable to identify or to distinguish between the good and the bad decks. These

results corroborate those of Sinz et al. (2008) in mild AD patients, which describe a difficulty in learning from feedback and then maintaining a stable strategy over time. Indeed, Bayard et al. (2015) demonstrated that only a few patients with AD reported correct explicit knowledge of the task (10 %) as compared to the elderly controls (35 %). Interestingly, in both groups, but more importantly in the AD patients, the ability to acquire full explicit knowledge about the contingences was a determining factor for making advantageous decisions. In fact, all the patients with AD who made advantageous decisions also had full explicit knowledge of the contingences, and no patient without this knowledge made advantageous decisions as compared to 15 % of the elderly controls. For their part, Alameda-Bailen et al. (2017) used a short version of the IGT and showed that disadvantageous decisions in AD patients were due to impairments in declarative memory. To our knowledge, no other study has revealed correlations between DMC under ambiguity and cognitive functions in AD. The question of the involvement of the executive functions is still a matter of debate (Gleichgerricht et al., 2010; Jacus et al., 2012). Indeed, the moment of transition between the assessment of the decision under ambiguity and the decision under risk is still unclear. Some authors have split the trials into 5 blocks and analysed them separately, whereas others have considered them as one big block. The final blocks are thought to evaluate decision-making in situations of risk. As the influence of the executive functions (EF) has been well documented in the DMC in risk situations,

Gleichgerricht et al. (2010) raised the question of whether the correlations between EF and performances in the IGT might be explained by the final blocks. According to Brand et al. (2006), the DMC under ambiguity would mostly be dependent on somatic markers and relatively independent of cognitive functions, whereas the DMC under risk would depend on both somatic markers and cognitive functions.

Concerning the effect of emotions on DMC under ambiguity, only a few studies have examined this relation. Bayard et al. (2014) focused on the influence of apathy. Using the IGT and the Lille Apathy Rating Scale (LARS), they showed that aMCI and AD patients expressed the same level of apathy and that the more apathetic they were, the poorer their scores in the IGT were. More specifically, the action initiation dimension of the LARS was the measure that was most closely related to the number of disadvantageous cards chosen. The authors had recourse to the somatic markers hypothesis, claiming that the lack of physiological and emotional responses deprived the patients of fundamental elements necessary to guide their behaviour. Interestingly, another study investigated the link between emotions and DMC and, more specifically, the role of the emotions in the application of the decisional strategy (Hot et al., 2014). The authors tried to induce happiness before performing the IGT by showing the participants a funny movie versus a neutral one. The happiness condition significantly reduced the uncertainty level in the AD patients, and improved their decisional scores compared to the AD patients who had

seen the neutral video. The induction of happiness even normalized the performances of the AD patients, who developed a response pattern similar to that of the healthy elderly participants. According to the authors, emotions with a positive valence could provoke the emergence of the heuristic decisional strategy (i.e., fast, simple and effortless) as opposed to the analytic one (i.e., slow and systematic). As the IGT is too complex for participants to base their choices on the analytic strategy, the heuristic one would be the most efficient in promoting correct performances in this situation.

To sum up what we know about DMC in AD patients: both types of decisions appear to be impaired very early in the disease, with the deficit being greater for decisions under ambiguity (Sinz et al., 2008). Patients appear to find it difficult to maintain a stable strategy and thus seem to make their decisions randomly (Bayard et al., 2015; Delazer et al., 2007). DMC under risk would appear to be closely linked to other cognitive functions, and more precisely to the executive functions and numerical abilities (Mueller et al., 2019). Although less is known about the functions required for DMC under ambiguity, both anterograde memory and the ability to learn seem to be involved (Bayard et al., 2015; Torralva et al., 2000). Two studies have investigated the role of emotions in IGT performances and have shown a significant impact of the patients' emotional state on the ability to make advantageous choices, at least in

situations of ambiguity (Bayard et al., 2014; Hot et al., 2014).

Discussion

DMC appears to be impaired as of the very first stage of AD. Both dimensions (i.e., under risk and under ambiguity) seem to be damaged and present the same behavioural features, with patients not being able to adapt their strategy to the task (Delazer et al., 2007; Torralva et al., 2000). According to Sinz et al. (2008), decisions under ambiguity appear to be more impacted by this deficit than decisions under risk. Interestingly, this first type of decision-making is also more vulnerable to normal ageing (Zamarian et al., 2008).

As set out in the sections above, the decision-making competence in AD patients seems to be related to their capabilities in terms of cognitive functions. The role of deficits in mental flexibility, inhibition process and working memory has been especially pointed out in connection with the impairment of decision-making under risk (Delazer et al., 2007; Sinz et al., 2008), while long-term memory deficit (episodic memory - Kloeters et al., 2013; verbal and visual anterograde memory - Torralva et al., 2000; declarative memory - Alameda-Bailen et al., 2017) in connection with the impairment of decision-making under ambiguity. The results of the studies reported in this review of literature are compatible with the dual-processing (reflective and impulsive/intuitive mode) models of decision-making such as proposed by Brand

(2006) and revised by Schiebener & Brand (2015). According to this model, the reflective mode would depend on cognitive functions and numerical abilities, while the impulsive mode would be based on emotions, feelings and intuition. In addition, executive functions would occupy a central place in the ability to make decisions under risk, as they would guide the development and the application of the decisional strategy, but would be less involved in decision-making under ambiguity. However, according to the authors, long-term memory would be necessary in any decision-making situation: decision-makers try to retrieve helpful information that they have acquired in previous situations. This information could take the form of explicit knowledge or of emotional traces. Thus, according to this model, AD patients' difficulties in decision-making under risk could be at least partly explained by their difficulties in developing and applying appropriate strategies which, in turn, are disturbed because of the executive function deficits these patients suffer from. Furthermore, in accordance with Brand et al.'s model, working memory and probability processing have also been shown to play an important role in decision-making under risk in AD patients along with the executive functions. The first is involved in maintaining information retrieved from long-term memory in consciousness and in comparing it with elements from the environment (necessary for assisting decision-makers in their choices), while the second is important for the understanding of the decisive elements present in the environment that guide the choice. Although, no study, at least to our knowledge,

has investigated the role of probability processing and more generally numerical abilities in decision-making under risk in AD patients, some evidences coming from studies on MCI patients could suggest, as mild cognitive impairment is frequently considered as a possible pre-dementia stage of AD, that the deficits of these capacities, that are frequently described in AD patients, could be in part responsible of their difficulties in DMC under risk. Indeed, decision-making under risk was found to correlate with capacities in mental calculation, ratio processing and reading comprehension in MCI patients (Pertl et al., 2017).

Concerning decision-making under ambiguity, we can assume that in such situations, when determining elements are scarce in the environment, long-term memory would indeed be the most reliable process to call on. As long-term memory impairment, and especially that of episodic memory, is the first to appear in the development of AD and is the most significant cognitive deficit, it is not surprising that AD patients find it more difficult to take decisions under ambiguity than under risk. This is consistent with Brand's (2006) model.

The results reported by studies included in the present review of the literature can also be explained by Finucane & Lees' (2005) Person–Task Fit (PTF) Framework of Decision-Making Competence, and the last version of Brand's model (Schiebener & Brand, 2015). These models posit that decision-making consists in nothing other than the degree of

congruency between the characteristics of the decision-maker, the task and the situation. In other words, the interaction between internal and external factors would be the most relevant way of explaining precisely how decision-making is affected (Schiebener et al., 2012). According to these models, individuals with poor logical thinking abilities or, more generally, with poor cognitive capacities, such as for example AD patients, would tend to opt for the impulsive mode rather than the reflective one, and would also be more influenced by the presence of feedback (Burgio et al. 2018; Schiebener & Brand, 2015). The results observed by Mueller et al. (2019), who showed an improvement in the GDT performances of AD patients after assistance while no improvement was observed for healthy elderly subjects in the same circumstances, support these suggestions. Interestingly, some studies on MCI patients emphasise the importance of feedback in decision-making under risk in patients with cognitive deficits (Burgio et al., 2018). Because, according to Schiebener & Brand (2015), feedback can be processed both cognitively and emotionally, patients who suffer from cognitive deficits, such as AD patients, but whose emotional processing is still efficient could rely on something other than their impaired cognitive abilities to make decisions in certain situations.

The Emotion Imbued Choice (EIC) model proposed by Lerner et al. (2015), which also takes account of the characteristics of the decision-makers, the task, and the situation, but includes the impact of the emotions at any

given time in the decisional process (i.e., current emotions: integral and incidental; expected emotions etc.), could also explain some of the results obtained with AD patients. For example, the results obtained by Hot et al. (2014), who improved the IGT performances of mild AD patients by inducing the feeling of joy before the task, could fit this model. If this is the case, then incidental emotions (i.e., unrelated to the decision itself) seem to influence the ability to make decisions.

In the current section, we described the particularities of DMC in AD patients and tried to discuss different findings in the frame of theoretical models of decision-making. Since it seems to us that the best way to help patients keep their capacities efficient for as long as possible and thus to stay autonomous is to gain a better understanding of the process, we devote the next section to studies investigating the impact of DMC impairment on patients' everyday lives.

THE IMPACT OF DECISION- MAKING ON PATIENTS' EVERYDAY LIVES

This last section focuses on DMC in daily life and, more precisely, on the impact of DMC impairment on AD patients' quality of life. We think that this point is essential, because we believe that fundamental research makes sense above all when it is used to improve patients' abilities and well-being. We have noted that fundamental and clinical studies

have rarely been addressed in the same review of the literature. This is the reason why the present work attempts to cover both types of research.

Ageing brings with it the need to make many important decisions in multiple domains, such as healthcare, accommodation and financial matters. Etymologically, autonomy is defined as the ability to decide for ourselves (Jacus et al., 2012). In these circumstances, it seems to be vital to preserve DMC in ageing. We have, however, shown its early and general (i.e., under risk and under ambiguity) impairment in AD. What consequences does this disability have for the everyday lives of patients and their caregivers? Six previous systematic reviews have already tried to answer this question. However, some of them focused on very specific everyday events, like driving or consent to treatment (Davis & Ohman, 2016; Karlawish, 2008; van Duinkerken et al., 2018). Davis et al. (2017) included and combined the results of studies investigating DMC in AD and MCI patients. Moreover, they excluded studies on financial and medical decision-making. For their part, Slyer et al. (2018) focused on anticipatory decisions. Viloría Jiménez et al. (2013) included research involving patients affected by any neurodegenerative pathology. The last of these reviews, published in 2002, describes the results of studies written between 1986 and 2001. However, new studies have appeared since then (Kim et al., 2002).

Patients' vulnerability

Being able to make a financial judgement, select the pertinent information while driving, or come to a well-reasoned opinion concerning a medical treatment are essential competences if we are to remain independent (Viloria Jiménez et al., 2013). Alzheimer's disease (AD) disturbs the ability to take decisions and thus threatens the skills underpinning autonomy.

Several studies have investigated the DMC of AD patients in healthcare contexts. They all show that the patients have difficulties in making medical choices (Carabellese et al., 2018; Karlawish et al., 2005; Lui et al., 2012; Rodgers & Kass, 2018; van Duinkerken et al., 2018). Sometimes, the lack of understanding relating to a medical decision can even cause patients to refuse care in situations that are vital for them (Rodgers & Kass, 2018). Karlawish et al. (2005) used a slightly modified version of the MacArthur Competency Assessment Tool for Treatment (MacCAT-T) to assess the abilities to understand (know the meaning of the benefits, risks, and purpose of the treatment), appreciate (recognize how the risks and benefits of a treatment relate to oneself), reason (compare the options of taking vs not taking the treatment and describe the personal consequences of the treatment for oneself), and make a decision (to accept the treatment or not). Their results, as well as the conclusions of Karlawish (2008), indicate that patients at a moderate stage of AD and with a lack of insight are unable to understand, appreciate and reason about a medical treatment. According to

Okonkwo et al. (2008), the abilities to appreciate, reason and express choice would be predicted by executive functions and processing speed in mild AD patients. Age, educational level, and executive functioning are important factors in the ability to understand numbers. According to the authors, as patients' difficulty in processing numbers increases, their confidence in such information decreases. In consequence, they may neglect all numerical data. These results pose a real challenge with regard to the task of adapting the labelling of medicaments in a way that is understandable by any patient with a cognitive impairment. Encouraging the presentation of numbers as absolute frequencies rather than as percentages or fractions, which are supposedly harder to understand, could be a first step. In addition, replacing the numerical data by pictograms or icons could reduce the cognitive load still further. Stormoen et al. (2014) assessed the DMC of AD patients, MCI patients and healthy elderly subjects in medical contexts and tried to identify the cognitive components that predict it. They used the Linguistic Instrument of Medical Decision-making (LIMD), which consists of three hypothetical clinical trial scenarios and questions about these scenarios. Three competences are evaluated with this task 1) the ability to understand the clinical situations, 2) the ability to assess the risks and the benefits, and 3) the ability to clearly express the decision. The results showed a significantly higher LIMD score in the healthy elderly group compared to the two groups of patients, as well as a significantly higher LIMD score in the MCI patients than in the AD patients. Four

cognitive components appear to be linked to medical decision-making: verbal knowledge, episodic memory, cognitive speed and working memory, with the first one being probably the strongest predictor. Using the same task, Tallberg et al. (2013) also described a strong influence of fundamental communicative ability on the capacity to make autonomous decisions. These findings, however, are not supported by the results reported by Thalén et al. (2017) showing that simplifying the language used in the LIMD did not improve the AD patients' understanding of the medical scenarios. The authors hypothesised that modifying the vocabulary and shortening the texts could be more efficient, but this hypothesis has not yet been tested.

Decision-making is impaired in AD patients, and this impairment has major consequences for the medical field. However, this domain is not the only one to be affected or to involve risks for patients' safety. Dommes et al., (2015) investigated the likelihood of AD patients being involved as pedestrians in traffic accidents. A group of mild AD patients and a group of healthy elderly participants had to perform a street-crossing task. An interactive simulator played several situations, with variations in the traffic complexity (i.e., vehicles approaching from 1 or 2 directions), the lane (i.e., near or far side of the street) and the vehicle speed (i.e., 40 or 60 km/h). The participants were instructed to choose the best moment to cross the street, without running or stopping. The results showed that the AD

patients were more likely to be hit by a car than the healthy elderly participants when cars were approaching from both directions. When information came from the two lanes, it was too much for the patients to absorb and the collision usually took place in the far lane. According to the authors, the impairment in processing speed and visual attention explains part of the variance in collisions. Fang et al. (2018) presented the same results and found that AD patients were more severely affected by daylight conditions, faster vehicle speeds, and shorter time intervals than healthy controls. For their part, Gorrie et al. (2008) investigated fatal collisions between cars and elderly pedestrians at risk of developing AD. They showed that elderly people with a moderate to high level of neurofibrillary tangles (NFT) behave more unexpectedly than those with no or only a low level of NFT. First, they are more likely to be at least partly responsible for the collision. They also appear to be more likely to be hit by a car in low-complexity situations or to be hit by a car approaching in the near traffic lane. Finally, they seem to be more vulnerable to being hit by reversing cars. In other words, elderly persons with a moderate to high level of NFT seem to take riskier decisions and to do so more frequently than those with no or only a low level of NFT. The authors hypothesised that the attentional process, the judgement of speed and distance, and the reaction time, which are known to be reduced in AD patients, could be involved in their unexpected behaviour as pedestrians. Impaired DMC also brings about dangers when AD patients are in the driver's seat, even at an early stage of the disease (Davis

et al., 2017). Two studies, one with a simulator and the other using real-life driving conditions, have shown that patients make more errors than healthy elderly people. First, they struggle to memorise the route and therefore tend to take the wrong direction and get lost. They also make more safety-related errors (e.g., lane departure, unsafe behaviour at junctions, driving at an inappropriate speed) (Dawson et al., 2009; Uc et al., 2004). The authors were of the opinion that the cognitive load required by driving skills is increased by the patients' general cognitive deficit, thus explaining the greater number of driving errors. DMC in AD patients has also been investigated in a wayfinding task (Rainville et al., 2001). None of the patients reached the destination without external help. According to the authors, they could not differentiate between pertinent information and non-pertinent information in the environment. Working memory, episodic memory (for the way back), planning competences and language abilities are functions that could interfere with decision-making in a wayfinding task.

The importance of taking account of patients' wishes

The previous section focused on patients' vulnerability and on how the increase in risky decisions can lead to dangerous behaviour. However, while patients are obviously at the heart of the healthcare process, it is important not to forget that their caregivers also play a major part. This role increases as the

disease progresses and gradually reduces the ability of the patients to decide by and for themselves. These new responsibilities, while caregivers are looking after a declining loved one, can become a real burden (Viloria Jiménez et al., 2013). The real challenge for caregivers is not only to make appropriate decisions on behalf of their family member, but also to know when exactly and to what extent they should assume the role of decision-maker. This is a source of increasing stress and sense of guilt among caregivers (Slyer et al., 2018). Indeed, an incorrect assessment of the patient's DMC can lead to two opposite risks. Overestimating patient's abilities can put them in danger because they might make choices that are contrary to their best interests. However, underestimating their DMC can also have serious consequences, in particular for the patients' mental health. A failure to respect their wishes or values would mean not considering or recognising them as human beings (Viloria Jiménez et al., 2013). Sometimes, even if they do not do so deliberately, relatives can confuse the patient's interest with their own, and thus make a decision that is the best for themselves but not for the family member with AD (Smebye et al., 2012). However, it seems vital that the patients continue to play the central role in the decision process (Davis et al., 2017). In other words, caregivers can develop a sense of guilt if they are not sure of having found the right balance between the certainty of protecting their relatives with AD from themselves and the guarantee that the decisions made are in accordance with their relatives' real wishes.

According to Davis et al. (2017), at the moderate stage of the disease, patients can still share their opinions with others. In fact, the ability to decide is more of a continuum than a dichotomous capacity. There are several levels, from the desire to seek preliminary information through to the ability to make autonomous decisions. However, the weaker the capacity to participate grows, the more it is up to the caregivers to take over the decisional process. At the beginning of the illness, the caregivers' role is primarily to support patients' decision-making. Indeed, even if at the early stage of the disease, patients are still able to make their voices heard, external help is frequently necessary in order to guide their behaviour and reduce the number of risky decisions, as it has been suggested by some studies using the GDT (Mueller et al., 2019). As the disease progresses, the caregiver role also evolves in the light of each patient's age, personality, or needs. Moreover, not all decisions require the same level of support or have to be made at the same stage of the disease. For instance, decisions concerning everyday activities can be made autonomously at a more advanced stage of AD than decisions concerning healthcare (Davis et al., 2017).

Davis et al. (2017) reviewed the studies interested in the everyday decisions of mild AD patients and showed that they are very important to them. Even if the consequences are very limited, such choices (e.g., what to wear, what to eat, etc.) still mean a lot to patients and help improve their quality of life. In the healthcare field, it is necessary to enhance

communication between patients and their families and clinicians by giving the patients a central place in the verbal exchanges, asking them questions and encouraging them to verbalise. This sometimes also makes it possible to realise that they prefer to delegate the decision-making responsibility. Karlawish (2008) and Hamann et al. (2011) have suggested that patients who are highly conscious of their disease are more likely to be encouraged to rely on a trustworthy person.

Because medical ethics demand that the patient's ability to decide should be judged correctly, several tools have been developed. Slyer et al. (2018) insist on the fact that the types of decision evolve with the disease: those with the greatest consequences (e.g., institutionalisation) are mostly taken in the last stages, that is to say when the patients are least able to decide. To prevent stress on the part of patients and feelings of guilt among caregivers, the authors propose a strategy for anticipatory decision-making (ACP). This process aims at gaining a better understanding of the patients (i.e., their preferences, their values, and their healthcare objectives) in the early stages of the pathology so that their wishes can be optimally respected in the final stages. The general idea is to support the patients and their families, as well as to prepare them for certain decisions at a time when the AD patients still have the necessary cognitive competences. This approach also provides an opportunity to talk about the fears that the disease can engender and to calm them by developing decisional strategies. The ACP programme helps patients

make the transition between autonomy and dependence, between decisions made in total autonomy and those that completely depend on a caregiver or a clinician. For their part, Rodgers & Kass (2018) describe the CURVES process, which refers to the abilities needed to be able to take a decision. First, the patient has to be able to communicate consistent choices (Choose and Communicate). He or she then needs to understand the risks and benefits of, as well as the possible alternatives to, a decision (Understand). Finally, the decision has to be underpinned by logical reasoning (Reason) and a reflection on the patient's own system of values (Value). The final letters of the acronym correspond to Emergency and Surrogate, and refer to the importance of knowing whether or not the patients have a relative they can rely on. The authors insist on the fact that DMC has to be considered as a continuum so that patients can be optimally involved in making decisions, especially in the healthcare field. The CURVES process permits initial screening for the abilities relevant for decision-making. However, a standardised rating scale also exists: the MacArthur Competence Assessment Tool for Treatment (MacCAT-T). Carabellese et al. (2018) present it as a way of evaluating four prerequisites of DMC: 1) understanding relevant information, 2) appreciating the significance of the information for one's own situation, 3) reasoning by considering alternatives, and 4) expressing the choice. This tool was created by Grisso et al. (1997) to assess the ability of patients to consent to treatments. At a mild stage, more than 80 % of patients appear to be impaired in at least one of

the prerequisites. According to Hamann et al. (2011), the deficit in DMC seems to be explained by the difficulty in understanding the relevant information. Interestingly, the MacCAT score correlated with the relative's confidence in the patient's decision-making (Hamann et al., 2011) and with the MMSE (Lui et al., 2009). Other more specific questionnaires have also been developed, such as the Semi-Structured Clinical Interview for Financial Capacity (SCIFC). This relatively brief tool helps physicians assess the financial capacities of patients. It has been tested with MCI and AD patients (Marson et al., 2009). The results showed that the ability to make financial decisions is already impaired in MCI patients, even if only to a small extent, and that this deficit worsens in mild and moderate AD. This interview, as well as the Assessment of Capacity for Everyday Decision-Making (ACED), tested by Lui et al. (2013), can be valuable tools for helping patients and their families to anticipate how they can organise themselves differently. All these tests and questionnaires are preliminary tools for guiding patients' future decisions. Other adjustments in daily life are also possible and further research is necessary in order to identify how to help patients to remain autonomous for as long as possible.

To summarize, caregivers are cornerstones for the patients as of the time when the diagnosis is made. Their role in the decisional process grows with the development of the disease, and goes from being a helping hand to becoming the lead decision-maker.

However, it is essential to keep in mind that the patient's wishes must always be the priority. AD patients do not want to be relieved of the decisions that concern themselves, either in the medical or the social field. They prefer their helpers to play a supporting role, and the latter seem to understand this desire (Hamann et al., 2011; Hirschman et al., 2005).

CONCLUSION

As of its very onset, Alzheimer's disease (AD) affects cognitive functions, such as executive functioning or working memory. These cognitive impairments have repercussions for more global competences, such as the capacity to make decisions. Indeed, several experimental studies have shown that decisions under risk, and even more under ambiguity, are degraded at an early stage in AD, with an increasing number of disadvantageous choices being made. It has been suggested that the decision-making difficulties of AD patients could be related to the impairment of several cognitive capacities observed in these patients. In particular, with regard to DMC under risk, these take the form of impairments to mental flexibility, inhibition, working memory and numerical abilities and, in the case of DMC under ambiguity, impairments to anterograde memory, learning capacity and emotional processing. Other studies have examined AD patients' capacity to deal with everyday tasks and revealed aspects of their everyday lives at a time when they have to make important decisions concerning their

finances, accommodation or medical treatment, as well as the impacts on simple tasks such as driving or crossing the street. This impairment is often compensated for by caregivers who, little by little, have to take over responsibility for all decisions. This responsibility increases the burden and the sense of guilt caregivers already feel. To provide optimum support for patients and their families, it is first necessary to consider the decision-making competences on a continuum and then to assess patients' values and preferences at a time when they are still able to communicate them. Some adjustments could be made to patients' environments so that their ability to make decisions is preserved for as long as possible. Further studies are needed in order to define the conditions that are best able to preserve this competence and possibly also to propose associated training programs.

Declaration

Conflicts of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Availability of data and material (data transparency): Not applicable

Code availability (software application or custom code): Not applicable

2.3 Mise à jour de la revue de littérature

Depuis la parution de la revue, deux nouvelles études s'intéressant à la DMC dans le cadre de la MA ont été publiées. Ces deux études visent à améliorer la prise en soin des patients, en fournissant les outils adaptés d'aide à la prise de décision, ou encore en identifiant les facteurs influençant les décisions des aidants concernant le suivi médical.

Ho et al. (2021) proposent ainsi une revue systématique de la littérature dont l'objectif était de répertorier les outils à disposition des patients et de leurs aidants pour assister la prise de décision. Les auteurs avaient particulièrement ciblé les décisions concernant les activités de la vie quotidienne et les traitements médicamenteux. Cet article constitue ainsi un document de référence permettant d'améliorer la qualité de vie dégradée des patients et de leur entourage. En référencant ces différents outils, cet article tend non seulement à faciliter la prise en compte des souhaits du patient, mais également à réduire la charge et la culpabilité portées par les aidants.

Kokorelias et al. (2022), quant à eux, ont analysé les prises de décision en lien avec les services de santé et de protection sociale dans le cadre d'une maladie d'Alzheimer. Les auteurs ont alors interrogé les aidants des patients, et ont essayé de déterminer les facteurs influençant leurs prises de décision. Plusieurs de ces facteurs ont ainsi pu être isolés, à savoir : 1) le premier contact avec ces services, 2) le niveau de difficulté de leur accès (e.g., aspects logistiques, disponibilité), et 3) les objectifs des soins proposés. L'intention des auteurs en ciblant les facteurs déterminants pour prendre une décision concernant la santé et la protection sociale, était de pouvoir adapter au mieux les informations et les pratiques des professionnels et ainsi d'orienter le mieux possible les aidants dans le parcours de soin de leur proche atteint de la MA.

Finally, no study attempting to better understand the mechanisms underlying the DMC of patients with MA has been published since the publication of our review of the literature and the writing of this thesis.

Now that the theoretical framework has been set, the particularities and the enjeux of the capacity to make decisions by patients with MA have been stated, the next chapter will describe the last study of this thesis. This one aims to highlight the links that maintain the DMC with the executive functions and the MT in patients with MA at a mild stage. An introduction, followed by the article itself and a summary of its results, will constitute the second chapter of the second part of the thesis.

Chapitre II.

Implication des fonctions exécutives et de la mémoire de travail sur la prise de décision au stade léger de la maladie d'Alzheimer : les apports empiriques

1 Étude 3 - Lien entre DMC, fonctions exécutives et mémoire de travail au stade léger de la MA

Article 4 : Gaubert F., Borg C. and Chainay H. (in press). Decision making in Alzheimer's Disease: the role of working memory and executive functions in Iowa Gambling Task and in daily life situations inspired task. *Journal of Alzheimer's Disease*.

1.1 Préambule

L'étude 3 de ce travail de thèse visait à examiner les liens qu'entretiennent les fonctions exécutives et la MT avec la DMC chez des patients atteints de la MA à un stade léger. Pour réaliser cet objectif, 20 patients atteints de la MA ($M = 72.7$, $ET = 5.8$) ainsi que 20 adultes âgés contrôles ($M = 72.4$, $ET = 4.8$) ont été inclus. Le protocole était similaire à celui utilisé pour l'étude 1. Il se déroulait ainsi sur 3 sessions, permettant d'évaluer les fonctions exécutives, la mémoire de travail puis la prise de décision. Pour rappel, 2 tâches par fonction exécutive permettaient d'évaluer la flexibilité (i.e., deux tâches d'alternance de consignes), l'inhibition (i.e., une tâche de Stroop et une de Stop Signal), et la mise à jour (i.e., empans de mise à jour et N-back). La mémoire de travail était évaluée à l'aide de deux tâches

d'empans simples et de trois tâches d'empans complexes. La DMC, quant à elle, était évaluée à l'aide de l'IGT et d'une tâche comprenant des scénarios basés sur des situations de vie quotidienne, sous risque et sous ambiguïté.

Nous prédisions que les patients atteints de la MA obtiendraient de moins bons résultats aux tâches évaluant les fonctions cognitives ainsi qu'à l'IGT comparativement aux sujets âgés contrôles. Dans la tâche de scénarios sous risque, nous supposions que, contrairement aux adultes âgés contrôles, les patients seraient incapables d'adapter leurs stratégies décisionnelles au cadre (i.e., positif vs. négatif). Dans la tâche de scénarios sous ambiguïté, nous supposions que les patients choisiraient plus d'options ambiguës que les adultes âgés contrôles. Enfin, nous supposions que les déficits des fonctions exécutives et de la MT expliqueraient en partie la DMC, en particulier dans la condition sous risque.

Cette étude fait l'objet d'un article actuellement sous presse pour une publication dans *Journal of Alzheimer's Disease*. La section suivante correspond au contenu de cet article.

1.2 Contenu de l'article 4

Decision-making in Alzheimer's Disease: the role of working memory and executive functions in the Iowa Gambling Task and in tasks inspired by everyday situations

Fanny Gaubert^a, Céline Borg^{a,b,c,d} and Hanna Chainay^a

^a Etude des Mécanismes Cognitifs laboratory, Lyon 2 University, Bron, France

^b University Hospital of Saint-Etienne, Hôpital Nord, Saint-Etienne, France

^c Psychology Faculty, Catholic University of Lyon, France

^d Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, University of Grenoble Alpes, France

Abstract

Background: Alzheimer's Disease (AD) negatively impacts patients' ability to make advantageous decisions, i.e., a core ability contributing to the preservation of autonomy. **Objective:** The present study aims to analyze the changes that occur in the decision-making competence (DMC) in AD patients and to determine if these changes are related to the deterioration of executive functions and working memory. **Method:** To this end, 20 patients with AD and 20 elderly control adults were assessed using executive, working memory and DMC tasks. The latter comprised the Iowa Gambling Task (IGT) and a scenarios task based on situations inspired by everyday life and performed under conditions of risk and ambiguity. **Results:** Results revealed lower performances in AD patients than in elderly control adults for all the tasks assessing cognitive functions. The AD patients also made more strategy changes during the IGT. In the scenarios tasks, the two groups took as many ambiguous or risky decisions, but AD patients tended to take more risks in the context of gain than elderly control adults did. Switching and updating ability, as well as working memory, appeared to be involved in decisions in tasks inspired by everyday life, while inhibition was more related to the IGT performances. **Conclusion:** Working memory and executive functions seem to be involved in decision-making, but in different ways in gambling and daily-life situations.

Key words : Alzheimer's Disease; decision making; executive function; working memory

INTRODUCTION

Cognitive deficits in the early stage of Alzheimer's Disease

Alzheimer's Disease (AD) is a neurodegenerative disease, well known for the episodic memory losses it causes. The symptoms, generally detectable after 65 years of age, have a neurobiological origin that becomes established years before their emergence: amyloid deposits surrounding the neurons and neurofibrillary tangles inside the neurons (Apostolova, 2016; Braak & Braak, 1991). The Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, fifth edition (DSM-5) defines AD in terms of the presence of impairments of episodic memory and another cognitive function. More specifically and importantly for the purposes of the present study, this cognitive decline can affect working memory and executive functions. Both of these are known to be involved in the decision-making process, whose AD-related modifications are studied in the present work. Working memory, and its processing component (i.e., manipulation of information) in particular, is degraded early in AD (Belleville et al., 1996, 2003; Kensinger et al., 2003; Kirova et al., 2015; Lim et al., 2008). For example, using a sentence span task in which participants were asked to memorize and recall in order words used to complete a series of sentences (from 2 to 6 sentences), two researchers showed that the on-line manipulation of information is impaired in MCI (Mild Cognitive Impairment) and AD patients and that the word-retention interval has a

particularly negative effect for patients with AD (Gagnon & Belleville, 2011).

Executive functions also appear to be particularly vulnerable to AD (Guarino et al., 2019; Huang et al., 2017; Ramanan et al., 2017). Following earlier recommendations (Miyake et al., 2000), the present study focused on inhibition, switching and updating abilities. The inhibition process, and more precisely the control of interference (often tested with the Stroop test), is impaired in mild AD patients (Amieva et al., 2002, 2004; Bondi et al., 2002; Guarino et al., 2019; Spieler et al., 1996). Interestingly, not all aspects of the inhibition process appear to be damaged to the same extent in AD. For example, performance on tasks assessing response suppression, such as Go - No Go or Stop Signal tasks, is preserved, at least in mild AD (Amieva et al., 2002, 2004). The few studies that have used experimental tasks to examine the switching ability have highlighted impaired performances in early AD. This is particularly true of spatial switching tasks, which have revealed significantly higher switching costs in AD patients in terms of response times and errors (Belleville et al., 2008). Finally, most studies investigating the updating capacity in mild AD have also revealed impairments (Fraga et al., 2018; Goodman et al., 2018; Redondo et al., 2016; Waltz et al., 2004). Quite recently, an EEG study highlighted reduced P450 amplitude in parietal and centro-parietal areas when AD patients were asked to perform non-match 1-back trials (Fraga et al., 2018).

Thus, as of the very early stages of its development, AD causes deficits in various cognitive functions, such as episodic memory, working memory, the inhibition process or switching ability, that are involved in a number of skills, including decision-making.

Cognitive functions involved in the Decision-Making Competence (DMC)

Many models have attempted to explain DMC. Although they differ in a number of ways, they all have one aspect in common: the intervention of cognitive and/or emotional functions in the decisional process. The dual-processing theories, which currently constitute the dominant models, hold that two decisional systems coexist (Liebherr et al., 2017; Schiebener & Brand, 2015). The first is known as the “intuitive” system and mobilizes quick, emotional and effortless procedures. This intuitive mode is thought to predominate in decision making under ambiguity, when the possible outcomes, and their probability of occurrence, are uncertain. The second is referred to as the “reflective” mode and differs from the first in that it is based on slow, rational, effortful, and cognitively controlled processes. It is thought to predominate in decision making under risk, when all the possible outcomes remain uncertain but the probability of occurrence can be estimated by the decision-maker (Brand et al., 2007; Levy et al., 2010; McCarrey et al., 2010).

Studies based on the dual-processing theories have often investigated only one kind

of decision making (i.e., under risk or under ambiguity). For instance, the somatic markers hypothesis attempts to explain decision making under ambiguity. According to some authors, making a decision under ambiguity induces emotions that influence the rational process (Bechara et al., 1994; Bechara & Damasio, 2005). A malfunction in emotional processing would inevitably lead to disadvantageous choices. Other authors have developed a model focusing on decision making under risk (Brand et al., 2006; Schiebener & Brand, 2015). Within this perspective, executive functions, working memory, long-term memory and probability processing underpin the ability to make decisions (Brand et al., 2014; Jasper et al., 2013; Schiebener & Brand, 2015). In the revised model, emotions are also taken into account and are thought to be involved throughout the entire decisional process. In fact, both the intuitive and reflective modes are thought to be activated, with one or other playing the dominant role depending on the decisional context (i.e., the characteristics of the situation and of the decision-maker) (Schiebener et al., 2013; Schiebener & Brand, 2015).

Concerning the involvement of cognitive functions in the decisional process, some authors (Schiebener & Brand, 2015) consider that executive functions (i.e., inhibition, updating and switching) constitute the cornerstone of DMC, at least under risk conditions. These are thought to play three major roles, namely by: 1) guiding the categorization of information and options; 2)

guiding the development and the application of strategies; and 3) guiding the integration of feedback. Working memory, which is closely linked to the executive functions, also appears to play an important role in the decisional process, especially in the reflective system, because the decision-making process includes a phase during which decision-makers evaluate and compare the different options, meaning that they have to keep them in their minds and switch actively between them. These two actions are performed by working memory. In the intuitive system, executive functions and working memory would have a lesser impact, as decision are then more influenced by emotions and intuition.

Consequently, many factors help determine which mode prevails and these may be internal or external to the decision itself. If the characteristics of the decision-maker can exert an impact, then age or neurological diseases necessarily affect the decisional strategy.

Decision-Making Competence in patients with Alzheimer's disease

As pointed out in the second section of this article, a number of cognitive abilities, and the EF and WM in particular, seem to be involved in DMC. However, and as documented in the first section of this article, these cognitive abilities decrease with AD as of the moment the disease becomes established. Several studies have provided evidence of the impairment of the decisional process in patients

with AD (Gaubert & Chainay, 2021 for a review of the literature), although the relation between this impairment and cognitive impairment has not yet been fully explored in AD.

Most of the studies have evaluated decision making under ambiguity and/or under risk in AD independently of one another. The IGT has been systematically used to assess decision-making under ambiguity. After comparing the number of times advantageous decks were selected in the first and second half of the task, most studies have failed to show any modification in the deck-picking strategy. In general, patients tend to choose advantageous (i.e., good) and disadvantageous (i.e., bad) decks with equal frequency in the first and second parts of the task. By contrast, the strategy used by healthy elderly adults usually evolves through the IGT, with more advantageous decks being selected during the second half of the game (Alameda-Bailén et al., 2017; Bayard et al., 2015; Jacus et al., 2012; Jacus et al., 2018; Sinz et al., 2008; Torralva et al., 2000). Interestingly, some authors have also examined the number of shifts between good and bad decks that occur during the task (Sinz et al., 2008). Both a group effect and a block effect have been observed, with AD patients shifting between the two kinds of decks more often than healthy old adults and both groups of participants shifting more at the beginning of the task (i.e., the two first blocks) than at the end (i.e., the three last blocks). There is a general consensus that patients randomly choose the decks, as they seem unable to fix on

and keep to a stable strategy. Some authors have analyzed the correlation between IGT performances and the results of patients' neuropsychological assessments. In particular, memory has been linked to the IGT, and more specifically verbal and visual anterograde memory (Torralva et al., 2000) as well as declarative memory (Alameda-Bailén et al., 2017; Bayard et al., 2015). The capacity to acquire explicit knowledge about the decks would explain good IGT performances, especially in the patients' group (Bayard et al., 2015). Indeed, patients who explicitly differentiated between good and bad decks performed better than patients who did not. Authors have also conducted studies with amnesic patients (Gupta et al., 2009) and suggested that declarative memory might play a critical role in decision-making under ambiguity.

By contrast, other studies have investigated decisions made under risk. Irrespective of the task, AD patients have always been found to perform significantly worse than healthy old adults (Bertoux et al., 2015; Delazer et al., 2007; Sinz et al., 2008). In the same way as for DMC under ambiguity, they struggle to fix on and keep to a stable strategy. Interestingly, one study compared AD patients' strategy as a function of the framework context (i.e., positive, implying gains, vs negative, implying losses) (Ha et al., 2012). Patients took more risks in order to get gains than healthy old adults did, but took similar risks to avoid losses. Interestingly, although this frame effect was observed in the

control group, with significantly more risks being taken in the negative than in the positive frame, it was not observed in the group of patients. The authors hypothesized that damage to the amygdala could explain the difficulty in evaluating gains and losses and therefore the pattern of responses given by the patients. Other authors have analyzed the correlations between the decisional task (i.e., Game of Dice Task – GDT - and Probability-Associated Gambling - PAG) and neuropsychological tests (Delazer et al., 2007; Sinz et al., 2008). They found positive correlations between poor mental flexibility, assessed with the Trail Making Test (TMT), and the inability to maintain a stable strategy in the GDT; as well as between the total score on the Frontal Assessment Battery at bedside (FAB) and the frequency of high-probability gambles in the PAG. With regard to the correlation between mental flexibility and DMC, these authors argued that both tasks (i.e., TMT and GDT) require the concurrent manipulation of information and set maintenance, which are known to be impaired in AD patients.

To summarize, modifications in the DMC in AD patients have been revealed in laboratory tasks. These modifications concern decisions made under ambiguity and under risk. Because this ability seems to be a cornerstone for the preservation of autonomy, some other studies have investigated DMC in real-life situations.

Impact of DMC deficit on daily life

Etymologically, autonomy refers to the ability to decide for oneself (Jacus et al., 2012). Thus, DMC should play a major role in patients' quality of life. Several studies have investigated the consequences of DMC impairment for daily life, and multiple fields appear to be affected, ranging from driving skills to medical issues (Gaubert & Chainay, 2021 for a review of the literature). Indeed, AD patients are more likely to be involved in car accidents than healthy elderly adults as they tend to misjudge the best moment to cross a street (Dommes et al., 2015). This tendency is observed even in low-complexity situations and increases in high-complexity situations (i.e., the number of vehicles, the vehicle speed, the daylight conditions), as it is harder for patients to manage all the information (Dommes et al., 2015; Fang et al., 2018; Gorrie et al., 2008). While these latter studies only considered AD patients as pedestrians, their behaviors as drivers have also attracted the interest of researchers. It has been shown that they make more wayfinding mistakes and safety-related errors (Dawson et al., 2009; Uc et al., 2004). The inability to make decisions is, however, not restricted to road safety and impacts another important field, namely healthcare. Indeed, AD patients seem to experience difficulties in decision making with regard to medical treatment and the difficulties are further exacerbated for those who are no longer fully conscious of their symptoms (Karlawish et al., 2005). Decisions are frequently based on numerical information, such as the probability

of winning or losing. However, the ability to process numbers seems to be impaired as of the first stages of the disease. For example, this type of impairment was observed in MCI patients in a study in which they had to solve arithmetic problems in healthcare situations (Pertl et al., 2014). Compared to healthy elderlies, MCI patients made more mistakes when converting percentages into frequencies and, in general, they found it harder to understand numerical data, e.g., data giving detailed information concerning the benefits or the risks of medication, which is the most important information that decision makers can rely on. In the long run, this impairment in decision making seriously affects patients' autonomy. The more the disease progresses, the less they are involved in the decisions that concern them. In consequence, this task falls to the caregivers and increases the burden on them (Hirschman et al., 2004).

To conclude, all the above-mentioned studies suggest that the ability to make decisions is impaired as of the very beginning of Alzheimer's disease. The deficit is primarily manifested in the form of difficulties in setting and keeping to stable strategies, regardless of the decision-making condition (i.e., under risk or under ambiguity). The repercussions for daily life are considerable, as the autonomy of patients is directly affected. To our knowledge, no study has specifically investigated, with a study protocol designed and statistical analysis conducted especially for this purpose, the links between DMC and the impairment of cognitive functions in AD, even though some of these

functions are known to be mobilized in DMC. Thus, the aim of the present study was to examine the relations between working memory and executive functions, on the one hand, and DMC, on the other, in patients with early AD. To assess DMC, we used the IGT and a task involving everyday life situations developed in our laboratory (inspired by a number of other studies (Lauriola et al., 2007; Lauriola & Levin, 2001). This second task assessed decision making under ambiguity and under risk. We predicted that DMC would be impaired in AD patients compared to healthy old adults in both decisional conditions (i.e., under ambiguity and under risk). In the risk condition of the scenarios task, we predicted that patients would not adapt their strategy to the frame (i.e., positive vs negative), unlike healthy old adults, who would take more risks in order to avoid losses than to obtain gains. Finally, we predicted that deficits in executive functions and in working memory would explain, at least in part, deficits in DMC, and even more so in the case of decisions made under risk.

METHOD

Participants

Two groups of participants were included in the study: 20 healthy older adults and 20 AD patients. They were all at least 60 years old and native French speakers (see Table 1 for demographic details and neuropsychological assessment). They had no history of psychiatric or neurological disorders (other than AD for the group of patients) and no

gambling addiction (tested with the South Oaks Gambling Screen, SOGS). They actually formed part of a larger study which resulted in a paper interested in decision making in normal aging. The patients were diagnosed with mild AD according to the DSM-V criteria by a trained neurologist based on a clinical examination, neuropsychological assessment and biological markers. For the patients, a score ≥ 23 on the MMSE was an inclusion criterion for the study. The sample size was based on previous studies which had already investigated DMC in MCI or AD patients and found significant results with samples of 14 to 22 patients (Ha et al., 2012; Pertl et al., 2014, 2017; Sinz et al., 2008; Zamarian et al., 2011). The study was approved by the Comité de Protection des Personnes Ile de France XI ethical committee and was assigned no. 19031-57438.

Neuropsychological examination

Both groups underwent a brief neuropsychological examination, which was more extensive for the AD patients than for the healthy controls (see Table 8). They all completed: the Mini Mental State Examination (MMSE) (Folstein et al., 1975); the brief frontal efficiency battery (Batterie Rapide d'Efficiency Frontale) (BREF) (Dubois et al., 2000); the Revised Observed Tasks of Daily Living (OTDL-R) (Diehl et al., 2005) to evaluate the degree of autonomy (to avoid overloading the sessions, only 3 healthcare, 1 communication and 2 finance-related questions were used); the Quality of Life in Alzheimer's Disease (QoL-AD) (Logsdon et al., 1999) assessments

consisting of 13 items (e.g., friendship, physical health, memory ability) for which 4 answers were possible: poor, fair, good and excellent; the South Oaks Gambling Screen (SOGS) (Lesieur & Blume, 1987) to detect potential pathological gamblers; the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) to assess the

participants' level of anxiety on the basis of 14 items that yielded an anxiety score and a depression score (Zigmond & Snaith, 1983); the Brief Mood Introspection Scale (BMIS) (Mayer & Gaschke, 1988) to assess their present time mood based on 16 adjectives.

Table 8. Demographic information and the statistical differences between the groups

	Mean (SD) Old adult controls	Mean (SD) AD patients	Statistic	p
Sex distribution	12 women 8 men	12 women 8 men	$\chi^2(1, 40) = 0$	1.00
Age	72.4 (4.8)	72.7 (5.8)	t(38) = -0.18	0.86
Education level	3.9 (1.1)	4.1 (1.1)	t(38) = -0.57	0.56
MMSE ^{MW}	29.4 (0.9)	25.7 (2.7)	U = 364.5	< .001
BREF ^{MW}	17.4 (0.8)	14.7 (2.8)	U = 328	< .001
reduced OTDL-R ^{MW}	41 (2)	33.7 (7.8)	U = 310.5	< .001
QoL-AD	38.6 (6.3)	36.9 (6.5)	t(38) = 0.91	0.37
HADS – Anxiety ^{MW}	6.8 (2.4)	7.8 (4.4)	U = 175.5	0.51
HADS – Depression ^{MW}	5 (4.7)	6.3 (3.4)	U = 145	0.14

^{MW}: tests for which the Mann Whitney test was conducted

The AD patients underwent four more tests: the Trail Making Test (A & B) to assess processing speed and switching abilities; a brief screening scale to evaluate praxic abilities (Mahieux-Laurent et al., 2009); the Detection Test for Language Impairments in Adults and the Aged (in French, DTLA) (Macoir et al., 2017) and, the 5 words of Dubois (Dubois et al., 2002) to quickly explore verbal episodic memory.

Experimental tasks

First and foremost, it should be noted that the methodology had already been used for another study and is thus described in a previous article that is still under review.

With the exception of the Stroop test, which was printed on sheets of paper, all the tasks were programmed and run with E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools Inc.) on a Dell laptop with azerty keyboard. The numerical tasks all began with written and verbal instructions in French, an example to illustrate them and some practice trials. The participants were asked to explain what they had understood before the start of each test.

Executive function assessment

The EF assessment was based on a classification that considers the executive functions as a system of partially interdependent components (Miyake et al., 2000). Given this perspective, it was necessary to evaluate each function several times with

different tasks. A latent variable analysis was then run for each EF (Miyake & Friedman, 2012). The authors suggest using three tasks per EF. However, as the AD patients were highly susceptible to fatigue, we chose to administer only two tasks. In line with recommendations (Miyake et al., 2000), we focused on the updating, mental set shifting and inhibition functions.

Updating process

Letter memory: participants had to remember the last two consonants of spans consisting of 2 to 5 items (see Figure 38 for an example). There were 3 spans per length, i.e., 12 in total. The responses were given verbally by the participants with no time limit and the experimenters typed them in the answer box.

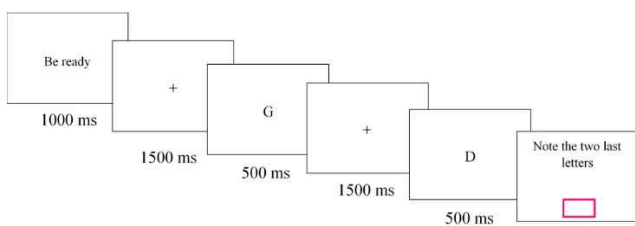


Figure 38. Experimental diagram of letter updating trial

N-back: the participants had to compare the consonant displayed on the screen to the one that had appeared N steps earlier (see Figure 39 for an example). There were 3 levels of difficulty, each consisting of a sequence of 10 letters: 1-back, 2-back and 3-back. Specific instructions were given for each level. After the 2-back level, if the total score (i.e., 1-back + 2-back) was under 75% successful responses, a cut-off criterion stopped the task. A break was permitted between each trial (i.e., between each

sequence of 10 letters): to continue, the participants had to press the spacebar.

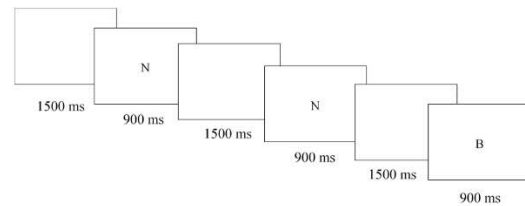


Figure 39. Experimental diagram of N-back trial

Mental shifting

Number-Letter: the participants had to alternate between a parity decision and a vowel/consonant decision. Each trial consisted of 3 elements: a horizontal line, a square appearing above or below the line and a number/letter pair (e.g., 7G) which appeared in the center of the square (see Figure 40).

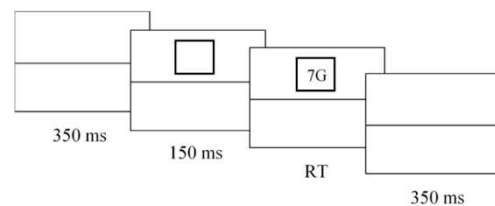


Figure 40. Experimental diagram of Number-Letter trial

There were a total of 3 blocks of 24 trials. The order of the trials was semi-randomized. Depending on the position of the square, the participants were asked to make a parity decision (above the line) or a vowel/consonant decision (below the line). Four colored keys (w, x, b, n) were used to collect the responses, corresponding, respectively, to “even”, “odd”, “consonant” and “vowel”.

Category Switch: the participants had to categorize words. A visual cue indicated a criterion for categorization: “does the object

corresponding to the target word fit into a shoebox?" or "is the object corresponding to the target word made by humans?" (see Figure 41 for example). When the cue was a shoebox, the participants had to decide whether or not the target word (e.g., "giraffe" or "cup") could fit into a shoebox. When the cue was a hand, the participants had to decide whether or not the target word was made by human. The responses were made at the keyboard. There were 3 blocks of 24 trials, presented in semi-randomized order.

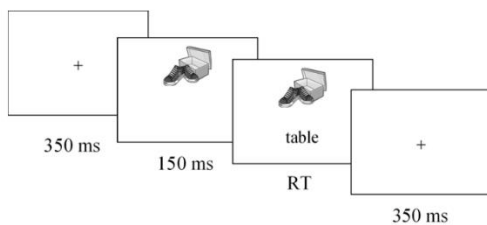


Figure 41. Experimental diagram of Category Switch trial

Inhibition

Stop Signal: During a learning phase, the participants had to indicate the location of a triangle as quickly and accurately as possible by pressing the blue key ("l") if it appeared on the right side or the red key ("s") if it appeared on the left side of the centrally presented fixation cross (see Figure 42.a). There were 30 trials, half presenting the triangle on the right side and the other half on the left side. The order of the trials was counterbalanced. During the test phase, the participants followed the same instructions, except that they were asked to withhold their response if they heard a beep sound (44,1 Hz, 100 ms, see Figure 42.b). There were 3 blocks of 30 counterbalanced

trials, with 8 in each block being followed by the beep sound. The interval between the beep and the presentation of the triangle, referred to as the signal stop delay (SSD), varied during the task depending on the participants' performances: the first SSD corresponded to the mean reaction time calculated in the learning phase, it became 50 ms longer if the participants withheld their response (i.e., if they inhibited the press on the response button), and 50 ms shorter if they were unable to withhold their response. In line with the horse-race model, we calculated the Stop Signal Reaction Time (SSRT), which is the time necessary and sufficient to successfully inhibit the response in 50% of trials.

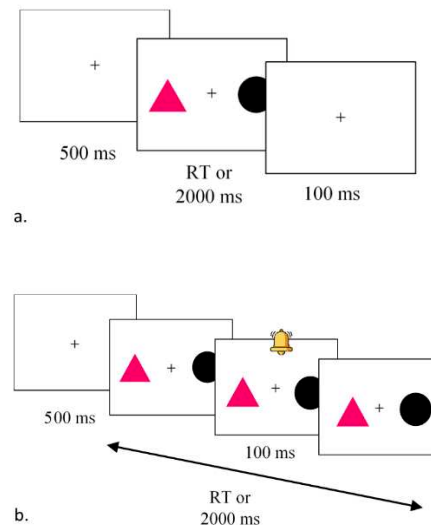


Figure 42. Experimental diagram of two Stop Signal trials: example of the first phase on the left (a.) and example of the second phase on the right (b.)

Victoria Stroop (Bayard et al., 2009): this version of the Stroop test, which involves fewer items, is intended for older adults. The task consisted of three boards, each containing 24 items (i.e., 6 rows of 4): the first one with colored dots, the second one with neutral words

printed in color, and the third one with names of colors printed in non-matching colors (i.e., the interference board). A practice row with 4 items was proposed for each board. For all the boards, the participants had to give the names of the colors in sequence, from left to right, row by row, as quickly and accurately as possible. Self-corrected errors and uncorrected errors were counted separately, as were inhibition errors (i.e., reading the word instead of naming the color, only for the third board), and color errors (i.e., saying the wrong color). There was no time limit.

Working memory tasks

We used the Time-Based Resource Sharing (TBRS) model to evaluate working memory (Camos & Barrouillet, 2014). This model, which employs a functional perspective, assumes that the maintenance and processing components both depend on the same limited resource: attention. According to the model, it is not possible to maintain information in memory and process information at the same time. The attentional focus therefore moves from one to the other quickly and continuously. When the attentional focus is on the processing component, the memory trace of the information to be maintained degrades. To avoid this decay, the information needs to be refreshed by refocusing attention on the information (Kloeters et al., 2013).

On this basis, we designed three complex span tasks (Barrouillet et al., 2004), each of which followed the same structure. The series of to-be-maintained consonants were

presented one by one and separated one from another by a processing phase which was different in each task. In the first complex span task, the participants had to continuously repeat the syllable “ba”; in the second task, they had to read operations (e.g., 8/+1/9/-2/7 ...); and in the final task, they had to perform continuous operations (e.g., 8/+1/response/-2/response...) (see Figure 43 a., b. and c.).

Simple forward and backward digit spans were performed before the complex span tasks. Both consisted of 16 spans, and the forward spans were from 2 to 9 digits in length and the backward spans from 2 to 8 digits in length. The task was stopped after two failures within the same span length.

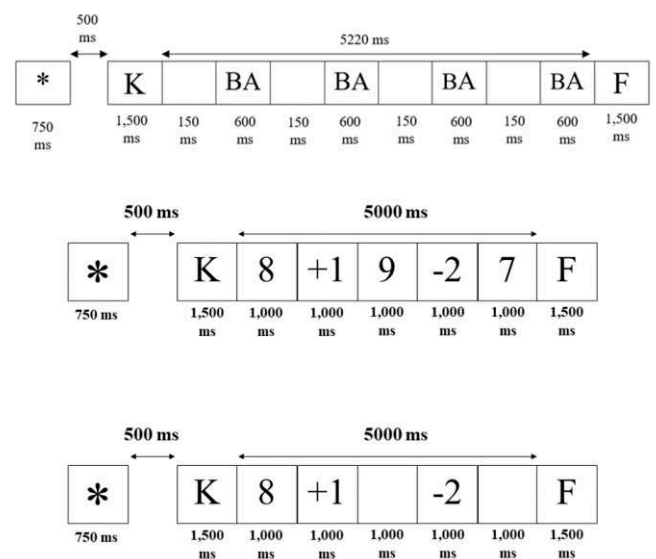


Figure 43. Experimental diagram of (a) baba span, (b) reading operations span and (c) continuous operation span

Decision-making tasks

Iowa Gambling Task (Bechara, 2000)

This task requires participants to maximize an initial amount of money by selecting one of four decks of cards (A, B, C

and D) presented on the screen in each experimental trial. Each selection loses or wins the participant money, with the two decks on the right side of the screen being advantageous and the two decks on the left being disadvantageous. The participants spoke their choice out loud and the experimenter entered their responses at the keyboard. There was no time limit to answer. After each response the gained or lost amount of money appeared on the computer screen. During the task, the participants needed to understand that the two decks on the left (A and B – bad decks) allowed big gains, but even bigger losses, whereas the two on the right (C and D – good decks) allowed small gains and small losses. There were 100 trials in total.

Experimental task based on everyday life situations

The scenarios task comprised two subtasks: one assessing decisions under ambiguity, and one assessing decisions under risk. This task was based on two studies by Lauriola and collaborators (Lauriola et al., 2007; Lauriola & Levin, 2001).

Each subtask included 36 short scenarios based on everyday life situations (see Figure 44 for examples). The context was always briefly described in the top part of the screen. Below it, two boxes labelled 1 (i.e., on the left-hand side) and 2 (i.e., on the right-hand side) presented two options between which the participants had to choose. In the under-risk condition, there was one safe option (100%

likelihood of occurrence) and one risky one (x% likelihood of occurrence).

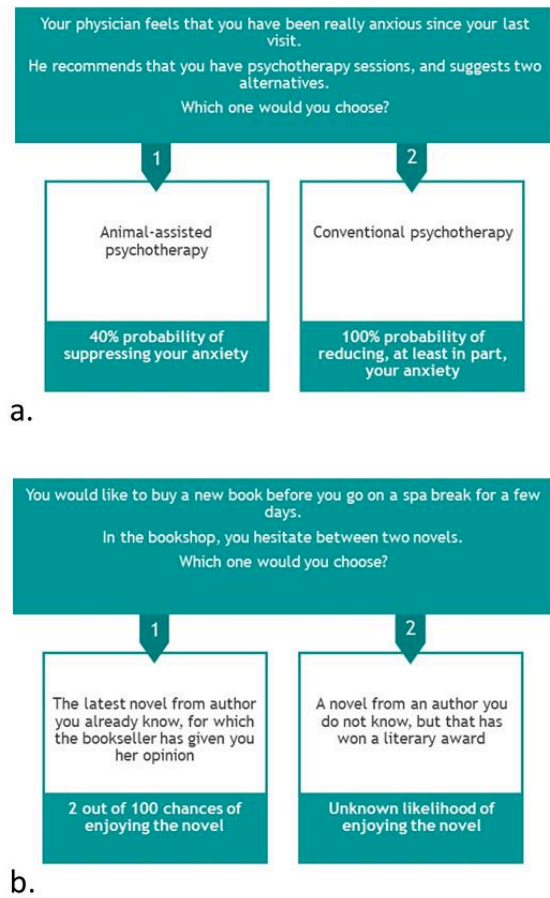


Figure 44. Example of scenario under risk on the left, and under ambiguity on the right

Half of the scenarios proposed a positive frame (i.e., a sure gain vs a bigger but less sure gain), while the other half proposed a negative frame (i.e., a sure loss vs a bigger but less sure loss). In the under-ambiguity condition, the same four scenarios were repeated 9 times but with different probabilities, opposing an unambiguous option (x% likelihood of occurrence) with an ambiguous one (unknown % likelihood of occurrence). In both subtasks, x could take the value of 2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 and 98% likelihood. In half of the under-risk and under-ambiguity scenarios, the numerical information was given

as a percentage (e.g., 2% likelihood of catching up one's delay), and in the other half, it was given as a frequency (2 chances out of 100 of making up one's shortfall). The numerical information format as well as the location of the two options were counterbalanced. For the under-risk condition, the order of the scenarios was randomized. For the under-ambiguity condition, the order of the scenarios was semi-randomized. The participants gave their responses with no time limit, using the keys 1 and 2 on the keyboard.

Procedure

The AD patients were recruited at three university hospitals: 1) the *Centre Mémoire de Ressource et de Recherche* (CMRR) of the north hospital of Saint-Etienne, 2) the CMRR of the Fernand Widal hospital in Paris, and 3) the day hospital of Charpenne in Villeurbanne. Depending on the center, the patients were either contacted by phone by the lead experimenter or were directly informed by their geriatrician during a medical visit. The healthy older adults were mainly contacted by e-mail but could also be contacted by phone if they did not have an email address. We already had the majority of their contact details from another study conducted in the laboratory. Further participants were recruited from pensioners' associations. The participants had as much time as they needed to give their answer. If they were interested in participating, more details were provided about the general organization of the study, questions could be asked and

meetings were scheduled. They were all informed that they could stop their participation at any time and without having to give any justification.

The first participants included were seen either at their hospital, in the case of the patients, or at the laboratory in the case of the healthy older adults. Because the conduct of laboratory and hospital experiments among the over-60s was restricted due to the pandemic, the participants (and the caregivers in the case of the patients) were asked to consent to performing the experiments at home. All necessary COVID-19 precautions were applied. The study consisted of three sessions separated by one-week intervals. The first session was dedicated to the neuropsychological and executive function assessment and lasted approximately two hours, except in the case of those patients who had undergone a neuropsychological evaluation less than 6 months previously. At the beginning of the first session, the aim and organization of the study were described again and the consent form was signed. The patients' caregivers were present during the explanation and the signature of the form when necessary. The neuropsychological examination was then performed, the SOGS and the HADS scale were administered and, finally, the 6 executive tasks were performed in a random order. Breaks of a few minutes were possible between the tasks if necessary. The second session was devoted to the working memory assessment and lasted a maximum of one-and-a-half hours. The tasks were always administered in the same order: the forward and backward spans, the baba span, the

reading operation task, followed by the counting operation span. In the complex span tasks, the participants were able to choose whether to continue or stop after 4 consecutive errors. The purpose of allowing them to stop before the end was to avoid unnecessary effort and fatigue. The third session lasted about one hour and was dedicated to the evaluation of the decision-making competence. It began with the BMIS and was followed by one condition of the scenarios task, the IGT and the second condition of the scenarios task. The order of the two conditions of the scenarios task was counterbalanced. Finally, the OTDL-R was performed.

The lead experimenter was responsible for the majority of the experimental activities, but three other experimenters (i.e., Master 2 students in Neuropsychology) helped during the recruitment and conduct stages.

Transparency and openness

We report how we determined our sample size, all data exclusions, all manipulations, and all measures in the study, and adhere to JARS (Kazak, 2018). The coding of the materials and analyses for this study is available on written request to the first or last author. Data were analyzed using JASP (version 0.14.0.0, JASP Team, 2022) and Statistica 8.0. The study's design and its analysis were not pre-registered.

RESULTS

Statistical analysis

Preliminary analyses were performed to check for normality of the distribution (Shapiro-Wilk), homogeneity of variance (Levene's test) and sphericity (Mauchly's test). A Greenhouse-Geisser correction was applied when sphericity was not respected, and the Mann-Whitney U test was used when Shapiro-Wilk suggested a deviation from normality. Student t tests were conducted to compare the executive function and working memory performances of the two groups. ANOVAs were conducted for IGT and the scenarios task. Finally, correlation and regression analyses were conducted to explore the relation between performance in the cognitive and decision-making tasks.

Executive functions and working memory

Ten of the 20 patients did not perform the continuous operation span, and 12 did not perform the 2-back task, because they said they were too tired to perform these tasks, which they considered too difficult. The AD patients performed significantly less well than the elderly control adults in the updating and working memory tasks, except for the 1-back reaction time, which was similar in the two groups (see Table 9). Concerning inhibition, the z-score in the Stroop interference board ($p = .003$) was significantly worse in AD patients, but both groups had similar SSRT on the Stop-Signal task. Switching cost was also similar in the two groups. However, patients made significantly more switch and non-switch mistakes than the elderly control adults.

Table 9. Results for executive functions and working memory tasks and t-test comparisons for old adults and patients.

	Mean (SD) Controls	Mean (SD) Patients	Statistic	p
Switching ability				
Switching cost on errors (FlexiCat) ^{MW}	0.15 (0.49)	1.45 (3.86)	U = 187	.714
Switching cost on errors (FlexiPaire) ^{MW}	-0.45 (1.00)	-0.65 (2.21)	U = 206.5	.866
Switching cost composite score ^{MW}	-0.01 (0.03)	-0.03 (0.12)	U = 219	.610
Switch type errors (FlexiCat)	0.55 (1.19)	9.85 (9.12)	U = 85	<.001*
Non-switch type errors (FlexiCat)	0.40 (0.94)	8.55 (7.66)	U = 77	<.001*
Switch type errors (FlexiPaire)	0.40 (0.94)	6.65 (7.67)	U = 83.5	<.001*
Non-switch type errors (FlexiPaire)	0.85 (1.46)	7.45 (7.28)	U = 56.5	<.001*
Updating ability				
Letter memory score ^{MW}	11 (1.4)	9.1 (2.9)	U = 287.5	.015*
1-back score ^{MW}	9.9 (3.8)	5.3 (4.7)	U = 277.5	.004*
2-back score ^{MW}	6.3 (4.1)	2.7 (3.7)	U = 282	.003*
MRT 1-back ^{MW}	658.4 (99)	483.6 (294.3)	U = 230.5	.144
MRT 2-back ^{MW}	679.1 (102.9)	296.4 (346)	U = 278	.004*
Updating composite score ^{MW}	1 (0.5)	1.7 (0.7)	U = 185	.001*
Inhibition ability				
SSRT Stop-Signal ^{MW}	215.4 (85.3)	198.3 (168.8)	U = 185	.698
Stroop z-score (interference board)	0.5 (0.7)	-0.4 (1.1)	t(38) = 3.21	.003*
Working Memory ability				
Digit span forward ^{MW}	6.3 (1.6)	5.1 (0.9)	U = 295.5	.003*
Digit span backward	5.1 (1.4)	4.0 (1.0)	t(38) = 2.82	.008*
Complex span – baba ^{MW}	4.8 (1.2)	3.2 (1.3)	U = 320	<.001*
Complex span – reading operation	3.8 (1.5)	2.5 (1.3)	t(38) = 2.94	.006*
Complex span – continuous operation ^{MW}	3.4 (1.3)	1.1 (1.2)	U = 363.5	<.001*
Working memory composite score	0.7 (0.2)	0.4 (0.1)	t(38) = 4.87	<.001*
Mood before decision-making tasks				
BMIS: Pleasant/unpleasant ^{MW}	55.2 (5.6)	49.1 (7.1)	U = 307	.044*
BMIS: Aroused/Calm ^{MW}	26.8 (4.8)	29.6 (3.4)	U = 121	.034*

^{MW}: tests for which a Mann Whitney test was conducted.

For switching scores, the higher the scores, the less flexible the participants were. For the updating scores, the higher the scores, the more efficient the updating skills were. For inhibition ability, the higher the SSRT (Stop Signal Reaction Time), the more impulsive the participants were, and the higher the Stroop z-score, the more efficient the interference suppression skills were. For working memory, the higher the scores, the more efficient the working memory skills were.

Finally, the AD patients were in a less pleasant and calm mood (respectively, $p = .044$ and $p = .034$) than the elderly control adults. As mood can influence performance in decision-making tasks, we performed a correlation analysis between the BMIS scores and the results obtained in the decision-making tasks (i.e., the IGT and the scenarios task). No significant correlation emerged (all $p > .05$), suggesting that the participants' mood did not influence their performances in the decision-making tasks.

Iowa Gambling Task

Two indicators of the IGT performances were taken into account in order to compare the two groups: 1) the net score, obtained by subtracting the number of times bad decks were selected from the number of

times good decks were selected (i.e., (C+D) - (A+B)), and 2) the number of strategy switches, corresponding to the number of times the participant switched between advantageous and disadvantageous choices. These indicators were calculated for the entire test (i.e., 100 trials), for each half-test (i.e., two halves of 50 trials) and for each block (i.e., 5 blocks of 20 trials).

Repeated-measures ANOVAs were performed on the net score and on the number of strategy switches with, firstly, Halves (first vs. second) and, secondly, Blocks (first vs. second vs. third vs. fourth vs. fifth) as within-subject factor and Group (elderly control adults vs. AD patients) as between-subject factor. These analyses were followed by post-hoc comparisons. A violation of sphericity was observed for the net score and for the number of strategy switches per block.

Concerning the net score, when we consider the half-tests, the repeated-measures ANOVA showed neither an effect of the halves ($F(1,38) = 0.77, p = .386, \eta^2 = .003$) nor an effect of the group ($F(1,38) = 1.61, p = .212, \eta^2 = .034$). There was also no group*halves interaction effect ($F(1,38) = 1.66, p = .206, \eta^2 = .007$). When we consider the blocks, the results revealed no significant block effect ($F(1,38) = 1.93, p = .123, \eta^2 = .02$), group effect ($F(1,38) = 1.61, p = .212, \eta^2 = .02$), or group*block interaction effect ($F(1,38) = 1.39, p = .247, \eta^2 = .02$) (see Figure 45.a).

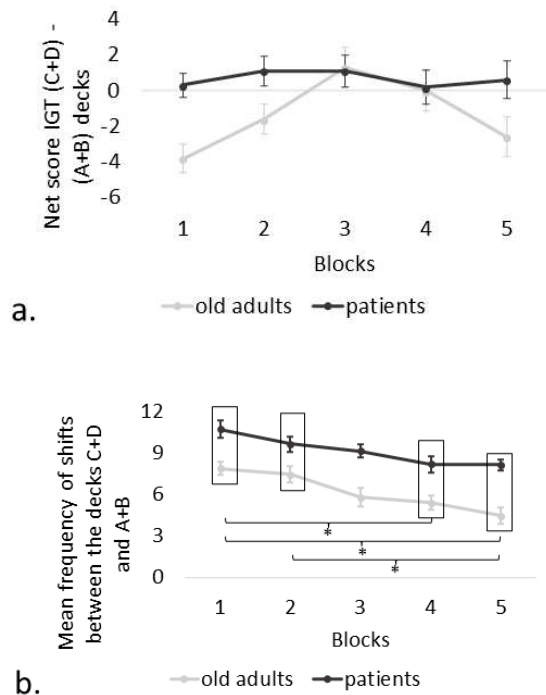


Figure 45. In each block and for the two groups independently: (a) IGT net score, corresponding to $(C+D)-(A+B)$ deck selections; (b) Mean frequency of shifts between advantageous and disadvantageous decks, with the rectangles representing the data of each group. Bars represent standard errors.

Concerning the strategy changes (i.e., shifts between the decks), when the half-tests are considered, the ANOVA showed a significant effect of the halves ($F(1,38) = 19, p < .001, \eta^2 = .06$) and the group ($F(1,38) = 8, p =$

$.007, \eta^2 = .007$) (see Figure 8.b). The AD patients made significantly more strategy changes (mean = 9.18, SD = 0.56) than the elderly control adults (mean = 6.20, SD = 0.53). There were significantly more strategy changes in the 1st half (mean = 21.7, SD = 9.6) than in the 2nd half (mean = 16.9, SD = 9.8). The group*halves interaction effect was not significant ($F(1,38) = 0.67, p = .419, \eta^2 = .002$). When the blocks are considered, the ANOVA showed a significant block effect ($F(1,38) = 11.8, p < .001, \eta^2 = .07$) (see Figure 45.b), but the interaction between blocks and group was not significant ($F(1,38) = .62, p = .578, \eta^2 = .004$). The post hoc analysis showed that, both groups taken together, there were significantly more strategy changes in the 1st block than in the 4th and the 5th, and more in the 2nd than in the 5th.

Scenarios Task

The number of risky and ambiguous decisions (i.e., decisions made under risk and under ambiguity, respectively) were taken into account in the statistical analyses. Repeated-measures ANOVAs were performed separately on the number of risky decisions and on the number of ambiguous decisions with Group (elderly control adults vs. AD patients) as between-subject factor. For the risk condition, first Context (gain vs. loss), then certainty (2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 and 98%) and, finally, numerical presentation (percentage vs. frequency) were taken as the within-subject factor.

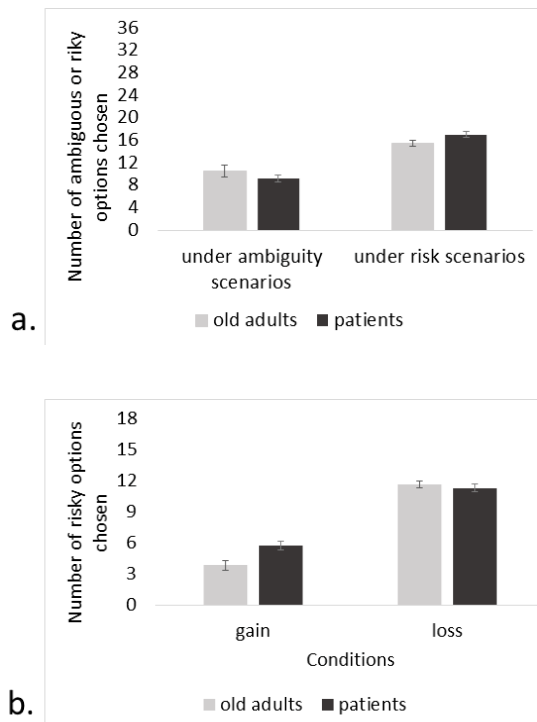


Figure 46. (a) Mean selections of less advantageous choices: ambiguous in under-ambiguity scenarios and risky under-risk scenarios; (b) Mean selections of risky options in under-risk scenario depending on the context: gain or loss. Bars correspond to standard errors.

For the ambiguity condition, first certainty (2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 and 98%) and then numerical presentation (percentage vs. frequency) were taken as the within-subject factor. These analyses were followed by post-hoc comparisons.

For the under-risk condition, the repeated-measures ANOVA showed a significant effect of context ($F(1, 38) = 90.84, p < .001, \eta^2 = .59$), but no significant effect of group ($F(1, 38) = 2.19, p = .147, \eta^2 = 0.008$) or context*group interaction ($F(1, 38) = 2.82, p = .102, \eta^2 = .018$) (see Figure 46.a, and 46.b). Overall, more risks were taken in a loss context (mean = 11.5, SD = 2.4) than a gain context (mean = 4.8, SD = 3.2).

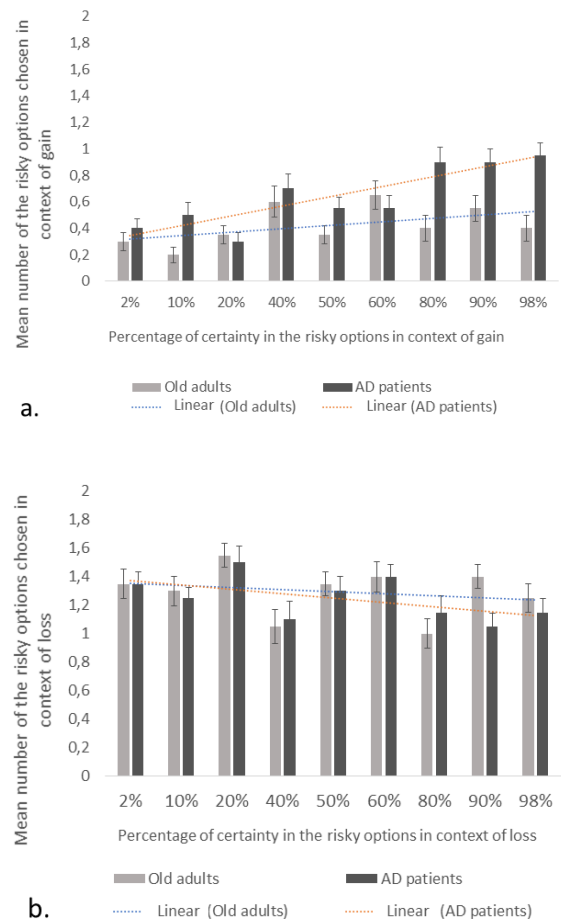
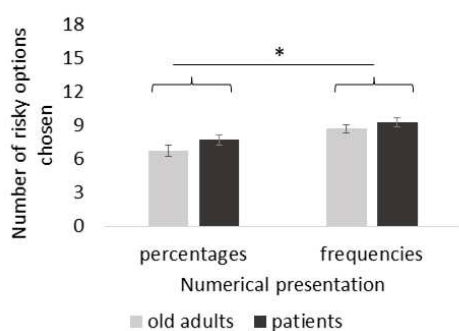


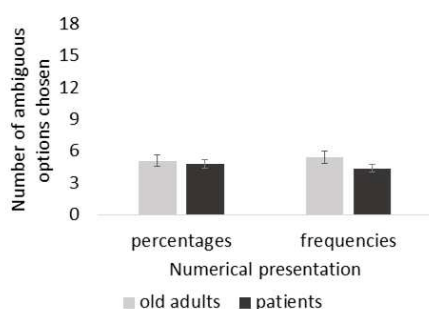
Figure 47. (a) Mean number of risky options selected depending on the percentage of certainty of the risky options in the gain context; (b) Mean number of risky options selected depending on the percentage of certainty of the risky options in the loss context. Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 2.

Concerning the effect of the percentage of certainty on the number of risky choices, a Friedman ANOVA, conducted on both groups and contexts combined, did not show a significant effect of certainty ($\chi^2(8) = 5.1, p = .745$). When the analysis concerned only the scenarios with a loss context, the effect remained non-significant ($\chi^2(8) = 13.9, p = .085$). However, this became significant for the scenarios with a gain context ($\chi^2(8) = 21.3, p = .006$) (see Figure 47). To permit a better understanding of the relation between certainty and the number of risky choices, separate correlation analyses were performed for the

elderly control adults and AD patients. For the elderly control adults, no correlation was found between the percentage of certainty and the number of risky decisions in either the loss ($\rho = -.060$, $p = .421$) or the gain context ($\rho = .088$, $p = .239$). By contrast, although no correlation was found for the AD patients in the loss context ($\rho = -.109$, $p = .145$), a positive correlation was observed in the gain context ($\rho = .276$, $p < .001$). In other words, the greater the certainty was, the more the AD patients preferred the risky option.



a.



b.

Figure 48. (a) Mean selections of risky options depending on the numerical presentation in the under-risk condition ; (b). Mean selections of ambiguous options depending on the numerical presentation in the under-ambiguity condition. In both figures, bars correspond to standard errors, maximum choices of risky and ambiguous options = 18.

The effect of numerical presentation (frequencies, percentages) in the under-risk condition was significant, $F(1, 38) = 4.39$, $p = .043$, $\eta^2 = .076$, with more risks taken when the numerical information was expressed in frequencies (mean = 9, $ES = .62$) than in

percentages (mean = 7.2, $ES = .78$) (see Figure 48.a).

The interaction effect between numerical presentation and group was not significant ($F(1,38) = .043$, $p = .84$, $\eta^2 < .001$).

For the under-ambiguity condition, a Friedman ANOVA showed a significant effect of the percentage of certainty on the number of ambiguous choices, $\chi^2(8) = 85.1$, $p < .001$ (see Figure 49). Conover's Post Hoc Comparisons showed significant differences between 2 % of certainty and 60, 80, 90 and 98; between 10 % of certainty and 90; between 20 % of certainty and 50, 60, 80, 90 and 98; between 40 % of certainty and 90 (all $p < .05$). Correlation analyses between the percentage of certainty and the number of ambiguous selections were significant and negative for the elderly control adults ($\rho = -.412$, $p < .001$) as well as for the patients ($\rho = -.435$, $p < .001$). Overall, the higher the percentage of certainty was, the less often the participants chose the ambiguous option.

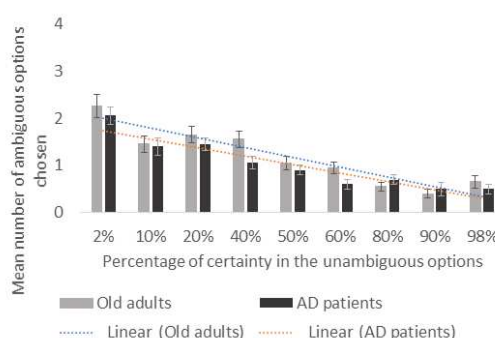


Figure 49. Mean number of ambiguous options selected depending on the percentage of certainty in the unambiguous options. Bars correspond to standard errors, maximum choice of ambiguous options per percentage = 4.

No significant effect of numerical presentation ($F(1, 38) = .024$, $p = 0.88$, $\eta^2 <$

.001) or significant group*numerical presentation interaction ($F(1, 38) = 0.595, p = 0.45, \eta^2 = .003$) were found (see Figure 48.b).

Correlation and regression analyses

The aim of these analyses was to determine whether the results in the decision-making tasks (i.e., net score and number of strategy switches in IGT, total number of risky choices and number of risky choice in gain context and loss context, and total number of ambiguous choices) might be related to the results obtained in the executive function (i.e., the updating composite score, the switching cost composite score, the Stroop score and the SSRT) and working memory tasks (i.e., working memory composite score). First, correlation analyses were performed. Second, a multiple linear regression analysis with a stepwise method was run by entering one of the decision-making scores as the dependent variable and the cognitive scores as predictors.

The correlation and regression analyses were performed for both groups taken together and then for each group each independently.

Correlations

Preliminary analyses were run to check for normality of the distribution (Shapiro-Wilk). Pearson's r coefficient was used unless there was a deviation from normality, in which case, Spearman's ρ was used instead. The correlation analyses are presented in Table 10, with no correction applied. Firstly, no correlations were found between the IGT net score and the cognitive task scores. However, the Stroop z-score ($\rho = -.507, p < .001$) and the working memory composite score ($\rho = -.427, p = .006$) correlated with the total number of strategy changes (see Figures 50. a and b). In the scenarios task, no correlation with the total ambiguous choices was found.

Table 10. Correlations between the results in the decision-making tasks and the results in the executive and working memory tasks for both groups combined

	IGT net score	Strategy switching IGT	Total risky decisions	Total ambiguous decisions	Risky decisions in gain context	Risky decisions in loss context
Switching cost composite score	$\rho = .006$ $p = .970$	$\rho = -.095$ $p = .561$	$\rho = .396$ $p = .011^*$	$\rho = .059$ $p = .716$	$\rho = .046$ $p = .778$	$\rho = .470$ $p = .002^*$
Updating composite score	$\rho = .136$ $p = .402$	$\rho = .215$ $p = .182$	$r = -.238$ $p = .139$	$r = -.137$ $p = .401$	$r = .398$ $p = .011^*$	$r = -.186$ $p = .250$
Stroop score	$\rho = -.074$ $p = .650$	$\rho = -.507$ $p < .001^*$	$r = -.054$ $p = .742$	$r = .011$ $p = .946$	$r = -.215$ $p = .183$	$\rho = .170$ $p = .295$
SSRT	$\rho = .006$ $p = .971$	$\rho = .173$ $p = .286$	$\rho = -.112$ $p = .491$	$\rho = -.174$ $p = .284$	$\rho = -.274$ $p = .087$	$\rho = .123$ $p = .450$
Working memory composite score	$\rho = -.151$ $p = .352$	$r = -.427$ $p = .015^*$	$r = -.190$ $p = .240$	$r = .175$ $p = .280$	$r = -.386$ $p = .014^*$	$r = .239$ $p = .138$

However, total risky decisions correlated with the switching cost composite score, risky decisions in the gain context correlated with the updating composite score and the working memory composite score, and risky decisions in the loss context correlated with the switching cost composite score (see Figure 50. c, d, e f). When the two groups were considered independently, some modifications

in the correlations were observed. For the elderly control adults, the IGT net score correlated with the SSRT ($r = .439, p = .042$), and the risky choices in the loss context correlated with the switching cost composite score ($\rho = .738, p < .001$) (see Figure 51).

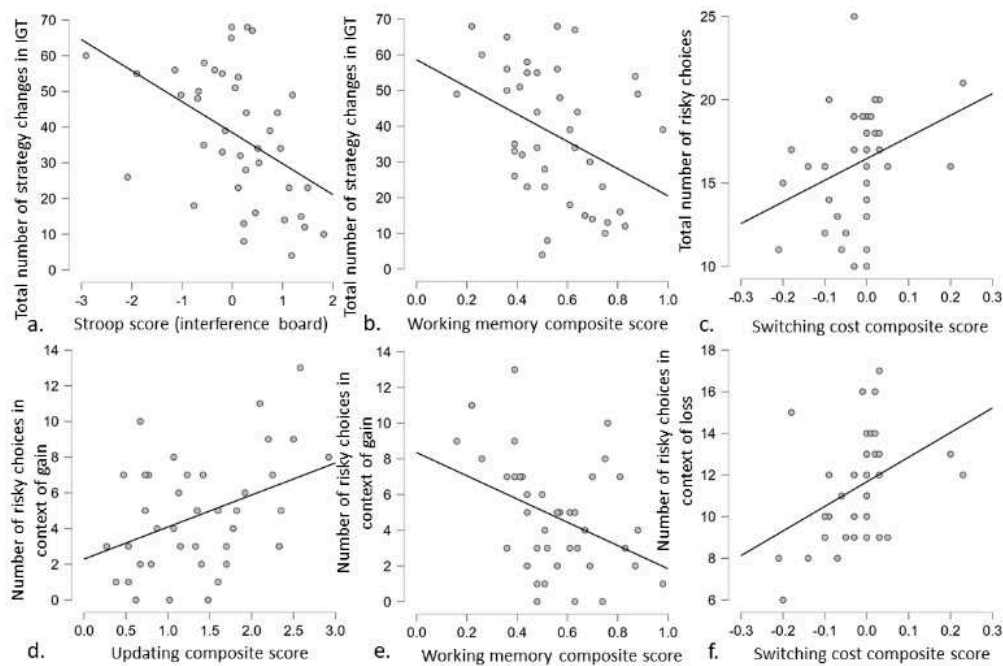


Figure 50. Correlations between the total number of strategy changes in IGT and the Stroop z-score (a), and the working memory composite score (b); between the total number of risky choices and the switching cost composite score (c); between the number of risky choices in the gain context and the updating composite score (d), and the working memory composite score (e); and between the number of risky choices in the loss context and the switching cost composite score (f); all for both groups of participants taken together.

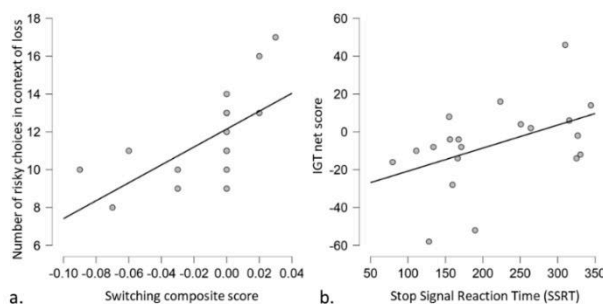


Figure 51. Correlations between the number of risky choices in the loss context and the switching cost composite score in the elderly control adults (a); correlations between the IGT net score and the SSRT in the elderly control adults (b)

For the AD patients, the total risky choices correlated with the switching cost composite score ($r = .472, p = .036$), and the number of risky choices in the gain context correlated with the updating composite score ($r = .560, p = .010$) and with the working memory composite score ($r = -.573, p = .008$). Finally, the IGT total net score correlated with the SSRT ($\rho = -.499, p = .025$) (see Figures 52).

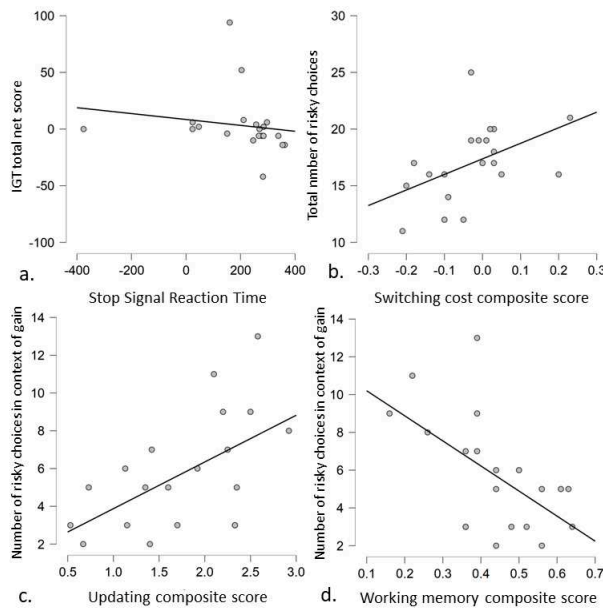


Figure 52. Correlations between the IGT total net score and the Stop Signal Reaction Time (a), correlations between the total number of risky choices and the switching cost composite score (b), and correlations between the number of risky choices in the gain context and the updating composite score (c), and the working memory composite score (d) all four in the AD patients group

Regressions

The regression analyses are presented in Table 11. When the regression analyses were performed on the two groups taken together, the Stroop z-score explained 20 % of the variance in the strategy changes in IGT; the switching cost composite score 8 % of the variance in the total risky choices and 14 % of the variance in the risky choices in the loss context. At the same time, the updating composite score accounted for 14 % of the variance in the number of risky choices in the gain context. When the analyses were run on the elderly control adults only, the switching cost composite score explained 37 % of the variance in the number of risky choices in the loss context, while the SSRT and the Stroop z-score explained 30 % of the variance in the IGT net score. On the other hand, in AD patients, 17 % of the variance in the IGT net score was

explained by the Stroop z-score, 18 % of the variance in the number of risky choices was explained by the switching cost composite score, and 30 % of the variance in the risky choices in the gain context was explained by the working memory composite score.

DISCUSSION

The first aim of the present study was to investigate the DMC in AD patients, compared to elderly control adults, under both risk and ambiguity conditions. To this end, the participants performed the IGT and a new task based on daily life situations. The second aim of this work was to explore how executive functions and working memory influence DMC in AD patients and elderly control adults.

Decision-making competence in normal aging and AD patients

The Iowa Gambling Task

Our results in the IGT showed that patients made more strategy changes than elderly control adults, and that both groups made more strategy changes at the beginning of the task than at the end. However, no significant difference between the two groups was observed in the net score (i.e., good (C+D blocks) minus bad (A+B blocks) choices).

Our results concerning the number of strategy changes confirmed the findings of previous studies (Sinz et al., 2008), even when a different method was used to calculate the indicator (Sun et al., 2020).

Table 11. Multiple linear regressions with the decision-making tasks as criterion and the executive and working memory tasks as factor scores

	β	t	p
BOTH GROUPS COMBINED			
“Strategy changes in IGT”			
Stroop z-score	-.464	-3.23	.003
$R^2_{adj} = .20$, $F(1,38) = 10.42$, $p = .003$			
“Total risky choices”			
Switching cost composite score	.323	2.11	.042
$R^2_{adj} = .08$, $F(1,38) = 4.44$, $p = .042$			
“Risky choices in gain context”			
Updating composite score	.398	2.67	.011
$R^2_{adj} = .14$, $F(1,38) = 7.14$, $p = .011$			
“Risky choices in loss context”			
Switching cost composite score	.405	2.73	.009
$R^2_{adj} = .14$, $F(1,38) = 7.48$, $p = .009$			
ELDERLY CONTROL ADULTS GROUP			
“IGT net score”			
SSRT	.430	2.42	.039
Stroop z-score	-.409	-2.13	.048
$R^2_{adj} = .30$, $F(2,17) = 5.15$, $p = .018$			
“Risky choices in loss context”			
Switching cost composite score	.637	3.51	.003
$R^2_{adj} = .37$, $F(1,18) = 12.32$, $p = .003$			
AD PATIENTS GROUP			
“IGT net score”			
Stroop z-score	.458	2.19	.042
$R^2_{adj} = .17$, $F(1,18) = 4.79$, $p = .42$			
“Total risky choices”			
Switching cost composite score	.472	2.27	.036
$R^2_{adj} = .18$, $F(1,18) = 5.16$, $p = .036$			
“Risky choices in gain context”			
Working memory composite score	-.513	-2.96	.008
$R^2_{adj} = .30$, $F(1,18) = 8.79$, $p = .008$			

Both of these studies assumed that deck selection is guided by chance in AD patients. Our results do not support this hypothesis as there was no Group*Number of switches interaction, with the AD patients being as capable as the elderly control adults of adapting their behavior during the course of the task. We can, however, propose another potential explanation. In the very early stage of AD, patients are conscious of their cognitive deficit

and this may be detrimental to their self-confidence. To our knowledge, no study has investigated the impact of self-confidence on IGT performances. Nevertheless, an explicit understanding of the task would be necessary for AD and MCI patients to perform advantageously (Bayard et al., 2015). If a lack of confidence interferes with the acquisition of explicit understanding, AD patients might always express more doubts than elderly control

adults concerning the good vs bad decks and, consequently, might make more frequent strategy changes. However, more studies are needed to test this hypothesis.

Unlike in the case of the number of shifts, our results did not show a significant difference between the net scores of the two groups, a finding which is inconsistent with the majority of studies, which have reported impaired performances in AD patients on the IGT (de Siqueira et al., 2017; Gaubert & Chainay, 2021; Jacus et al., 2012). Nevertheless, in some of these empirical articles, the recruited AD patients had lower MMSE (respectively 23.4 and 20) than those recruited in the present study (25.7). As the IGT appears to be highly susceptible to general factors (Buelow & Suhr, 2009), the heterogeneous nature of the results could be due to general cognitive integrity results heterogeneity. In line with this hypothesis, a group of MCI patients (with a mean MMSE = 26.6) in another study (Sun et al., 2020) obtained a net score comparable to that of the healthy controls in the same study. Moreover, one of the explanation of the absence of significant difference between AD patients and elderly control adults may be that in the present study the control adults had unusually low scores in the 4th and especially 5th block as compared to other studies (e.g., Denburg et al., 2005, 2007; Fein et al., 2007; Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008, 2011). Indeed, the net score of the old adults improved until the 3rd block, corroborating the literature, but decreased for the 4th and 5th blocks. For

example, in some studies, a decrease is also observed for the 4th block but the net score show a last increase during the last block, contrasting with our findings (Denburg et al., 2005, 2007). The fact that our control adults increased their net score between the 1st and the 3rd block suggest that they did not select randomly the decks. However, for some reasons that we are not able to explain, they seemed to be more risk seeking than seen in the literature.

While there does not seem to be any consensus concerning the IGT net score, all the studies investigating the number of strategy changes have found that the answers given by AD patients are less stable than those given by elderly control adults. If this is the case then we might reasonably assume that strategy changes could constitute a more fine-grained indicator than the IGT net score when it comes to distinguishing being mild AD patients and healthy controls.

The scenarios task

In the present study, AD patients and elderly control adults made a comparable number of ambiguous choices, whatever the percentage of certainty was. The numerical presentation also had no effect on the selected options. The two groups also selected similar numbers of risky options. With regard to the context (i.e., gain vs loss), the two groups made a comparable number of risky choices in the loss context. In the gain context, AD patients took more risks than elderly control adults. Although the p value was only tendential, we thought it would be interesting to discuss this

result. Both patients and controls selected more risky options when the numerical information was expressed in frequencies than in percentages.

To our knowledge, no study has assessed DMC in AD patients on the basis of daily life situations. However, we are aware of one study that has investigated decision making under risk in response to scenarios in MCI patients, and its results corroborate our own (Pertl et al., 2017). The authors proposed 12 situations in a health context and the participants had to select one of the two possible options. Each option was presented in the form of numerical information. The stories had been pretested so that one of the two options could be considered as advantageous, allowing the authors to calculate a score. Their results showed no difference between the scores of MCI patients and elderly control adults and were thus consistent with those of the present study. A further characteristic of these scenarios was that some of them expressed the numerical information in percentages (considered by the authors to be easy items), and the others in frequencies (considered by authors to be difficult items). The authors found that MCI patients made more disadvantageous choices when the information was given in frequencies. Interestingly, the participants in the present study also took more risks in scenarios that used frequencies instead of percentages. The authors argued that numerical abilities are an important component of the DMC, and even more so in patients with cognitive impairments, for whom numerical processing would be more

demanding (Pertl et al., 2017). These results confirm the need to adapt the information given to patients in clinical situations in order to make it easier to understand (Pertl et al., 2014). With regard to the form of numerical presentation (i.e., frequencies vs percentages), it seems that the AD patients in the present study were able to take account of the percentage of certainty when selecting an option. Indeed, they behaved in the same way as the elderly control adults did: taking slightly less risks when the percentage of certainty increased in the loss context, but generally taking more risks when the percentage of certainty increased in the gain context. Another observation made regarding the scenarios task was that although the two groups took the same proportion of risks in the loss context, AD patients tended to take more risks than controls in the gain context. Although the latter result was only tendential, it is nevertheless important to consider it as it casts new light on the findings of one previous study (Ha et al., 2012). In the latter work, monetary dilemmas were presented to elderly control adults and mild to moderate AD patients (mean MMSE = 14.48). The authors described a suppression of the framing effect in the patients group. Indeed, whereas elderly control adults took significantly more risks in the negative (i.e., loss context) than in the positive frame (i.e., gain context), the AD patients took more risks in the positive frame, meaning that there was no longer any significant difference between this number and the number of risks taken in the negative frame. Consequently, the two groups differed only in the number of risks taken in the positive frame, with elderly control

adults being more risk-averse. Given these conditions, these findings suggest that the reduction of the framing effect in AD patients starts at the very onset of the disease and that it continues to decrease until it completely disappears. According to the dual-processing model of decision making, framing effects would be subject to the influence of the heuristic mode (Cassotti et al., 2012; Kahneman & Frederick, 2007). In the general population, gains are considered as attractive and losses as aversive. In consequence, decision-makers would either tend to avoid risk (i.e., in a gain context) or to seek it (i.e., in a loss context) depending on the frame (i.e., context). In AD patients, the heuristic mode might undergo changes very early in the development of the disease, thereby reducing the framing effect. Interestingly and by contrast, we described a preserved ability to use numerical information, and more specifically certainty percentages. Again according to the dual-processing model of decision making, ratio processing seems to be involved in the analytic mode. In other words, we can assume the existence of a dissociation in AD patients between affective and cognitive processes, the first undergoing changes as of the very onset of the disease and the latter no longer being preserved.

Concerning the under-ambiguity condition, we were not able to find a similar task used with AD or MCI patients. As already set out above, earlier studies have used the IGT and described AD patients as decision makers who are unable to keep to a stable strategy and who make their choices randomly (Alameda-

Bailén et al., 2017; Bayard et al., 2015; Jacus et al., 2012; Jacus et al., 2018; Sinz et al., 2008; Torralva et al., 2000). However, it seems that our scenarios task qualifies these interpretations. Indeed, when we consider the percentage of certainty in the unambiguous option, it appears that elderly control adults and AD patients made use of the same strategy: the higher the percentage of certainty was, the less often they chose ambiguity. In consequence, patients were able to take account of numerical information, proving that their decisions were not driven by chance. Our findings could be linked to conclusions revealing that explicit knowledge may be essential for decision-making under ambiguity in AD (Bayard et al., 2015).

The second aim of this work was to examine the relations between working memory and executive functions, on the one hand, and DMC, on the other, in patients with early AD. The results concerning the correlation and regression analyses will be discussed in the next section. We expected more correlations between the cognitive functions and the tasks investigating decision making under risk than under ambiguity, as the former are thought to be more dependent on the reflective mode.

Cognitive implications in the decision-making competence

According to our results, executive functions and working memory would partly explain competences in decision-making tasks. Correlations were found with IGT indicators

(strategy changes and net score) and with the scenarios task in the under-risk condition, but not with the scenarios task in the under-ambiguity condition. No correction have been applied on these analyses of correlations, so the results concerning the correlation and the regression analyses have to be considered with caution.

In both groups combined as well as in each group taken independently, the inhibition process seemed to play a major role in the IGT performances, explaining 17 to 30 % of the results. Interference suppression, which was tested with the Victoria Stroop Test, was the most important factor involved, but motor inhibition also played a part, at least in elderly control adults' performances. Motor inhibition was objectively quantified with the SSRT, a measure for which a high level of variability was observed in patients with AD. Thus, the absence of a correlation for patients and the total sample could be due to this high variability. A previous study has also identified correlations between IGT and inhibition abilities in patients with AD, and more precisely between strategy changes and the inhibitory control tested with the FAB (Sinz et al., 2008). According to studies interested in Parkinson's Disease (PD) and in gambling behavior in patients with PD, impulsivity does indeed seem to be a major trait hindering the development of stable and efficient strategies (Angioletti et al., 2020; Balconi et al., 2018). Interestingly, the opposite deficit in inhibition processes, that is to say a lack of action initiation which is often related to apathic

behavior, would also be disadvantageous for IGT performances (Bayard et al., 2014).

Switching ability, the updating process and working memory were all highly involved in the risk condition of the scenarios task, explaining between 8 and 37 % of the number of risky choices. Previous findings had indeed highlighted links between executive functions, working memory and decision making under risk using gambling and realistic decision-making tasks (Pertl et al., 2015, 2017; Stormoen et al., 2014; Sun et al., 2020). Overall, the executive functions would appear to guide decisions by helping participants analyze options and develop appropriate strategies (Brand et al., 2006; Sun et al., 2020). For example, the ability to remain aware of the possible outcomes of a decision and to compare them before choosing seems essential. Some studies have indeed proven that relieving working memory by providing aids to decision-making helps AD patients improve their GDT performances (Mueller et al., 2019), or have even shown that cognitive training enhances the decision making of MCI patients in the PAG (Burgio et al., 2018). To our knowledge, no study has specifically investigated the links between updating or switching abilities and DMC under risk in patients with AD. However, one experiment has questioned the effect of executive functions on GDT performances in the general population (Schiebener et al., 2014). This found that "general control" had a direct effect on decision making under risk. This so-called "general control" was defined as the ability to direct the attentional focus depending

on the context of the task. It includes the aspects of different executive functions, such as inhibition and switching ability. The other two variables, i.e., concept formation and monitoring (including aspects of switching and updating abilities), also influenced GDT performances, albeit indirectly, with general control acting as mediator. Interestingly, in the present study, when the statistical analyses were performed on each group independently, more correlations between the cognitive functions and the DMC under risk were found in patients with AD than in elderly control adults. Even if the number of risky choices did not differ between the two groups, the differences observed in the correlation analyses suggest that the processes involved in DMC may evolve with the disease. These more numerous correlations could be interpreted as reflecting early alterations of the cognitive function which already exert an effect on decision making, even if this is not yet observable. It would therefore be interesting to use a similar protocol with patients with AD in more advanced stages of the disease to see if this assumption can be verified.

1.3 Limitations

Our results must be considered in the light of the fact that the AD patients in the present study were at the very onset of the disease. Nevertheless, the choice to recruit only patients with an MMSE between 23 and 30 was intentional. Indeed, since the methodology was

quite long (i.e., 3 sessions of 1 to almost 2 hours) and involved cognitively demanding exercises, it was vital that the participants could complete the study under conducive conditions. This factor undoubtedly influenced the results. Finally, our scenarios task was designed to reflect real-life decision making. However, it cannot be considered as ecological, as the participants did not face the situation for real and had only two response options.

CONCLUSION

AD patients showed impaired performances on all the executive and working memory tasks compared to elderly control adults. They also changed strategy more often during the IGT, but made as many ambiguous and risky choices in the scenarios task. Even if the difference did not reach the significance threshold, the AD patients tended to be less good in adapting the risk to the context: taking as many risks as the elderly control adults in the loss context but more in the gain context. Our results suggest that inhibition processes may be solicited in IGT, while switching ability, updating ability and working memory may be involved in decisions under risk, and even more so in AD patients than in normal aging. More studies, with larger samples of patients with AD and with more advanced stages of the disease, will be necessary to confirm and further refine these initial results.

Acknowledgments

We first thank Pr. Claire Paquet from Fernand Widal hospital (Paris, France) and Dr. Marie-Hélène Coste from Charpennes hospital (Villeurbanne, France) for joining our project. Thanks go equally to Dr. Sandrine Indart, Stéphanie Philibert, Sylvie Broyer and the rest of their team for their help in recruiting the patients. We thank Pr. Marco Lauriola and Pr. Gijbert Stoet for their quick and valuable answers concerning the design of the tasks. We thank Chloé Gadille, Marie Guinand and Mathilde Hammani for their help in administering the tasks. We thank Hippolyte Fournier and Théo Héritier for their help with some statistical questions. And last but not least, our thanks go to the participants who volunteered for the present study. We also thank Tim Pownall for correcting the English.

Declaration of interest statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

This work was supported by the University Lyon 2, for the purpose of a PhD thesis.

1.4 Résumé des résultats de l'étude 3

L'étude 3 s'intéressait aux liens qu'entretiennent les fonctions exécutives et la MT avec la DMC chez des patients atteints de la MA à un stade léger.

Comme nous l'avions prédit, les patients atteints de la MA ont obtenu de moins bonnes performances que les adultes âgés contrôles dans la plupart des tâches évaluant les FE et la MT. Seul le coût en flexibilité mentale ne différait pas entre les deux groupes. Cependant, même si cet indice ne permet pas de révéler des différences, les patients commettaient plus d'erreurs que les adultes jeunes dans les essais *switch* et *non switch*.

Alors que patients et sujets âgés contrôles obtenaient des scores similaires à l'IGT, les patients opéraient davantage de changements de stratégies comparativement aux adultes âgés sans trouble neurocognitif, confirmant ainsi notre hypothèse. Toutefois, il paraît intéressant de noter que les deux groupes faisaient évoluer le nombre de changements stratégiques, avec moins de changements en fin de tâche qu'en début. Dans la tâche de scénarios, participants contrôles et patients sélectionnaient autant de fois les options ambiguës. En revanche, en condition de risque objectif, en contexte de gain, les patients atteints de la MA tendaient à prendre plus de risques que les adultes âgés contrôles, bien que la différence ne dépassait pas le seuil de significativité. Les deux groupes s'adaptaient au contexte, avec plus de risques pris en contexte de perte que de gain. En ce qui concerne le pourcentage de certitude, il ne semble pas avoir influencé la prise de décision sous risque des adultes âgés contrôles, quel que soit le contexte (i.e., de gain ou de perte). En revanche, en contexte de gain uniquement, plus le pourcentage de certitude était élevé, plus les patients atteints de la MA prenaient de risques. Quel que soit le groupe, plus de risques étaient pris lorsque l'information numérique était donnée en fréquences, comparativement aux pourcentages. Enfin, concernant la condition

sous ambiguïté, les deux groupes se comportaient de façon similaire : plus le pourcentage de certitude était élevé, moins les participants choisissaient l'option ambiguë.

Les analyses de régressions ont, quant à elles, mis en évidence une influence de la mémoire de travail et de plusieurs fonctions exécutives sur les performances à l'IGT et dans la condition sous risque de la tâche de scénarios. Cette dernière était en partie expliquée par la flexibilité mentale, pour les deux groupes pris ensemble comme séparément. La mémoire de travail intervenait également pour les patients atteints de la MA pris seuls et la mise à jour pour les deux groupes pris ensemble. Les performances à l'IGT, pour les groupes pris ensemble comme pris séparément, étaient en partie expliquées par la suppression d'interférence. L'inhibition de réponse motrice intervenait également pour le groupe d'adultes âgés contrôles pris seul.

Ces résultats ayant déjà été discutés au sein même de l'article, la troisième et dernière partie de ce manuscrit permettra de les confronter à ceux obtenus dans les deux autres études menées dans le cadre de cette thèse, auprès d'adultes âgés sans trouble neurocognitif. Dans cette discussion générale, seront comparées les performances des sujets âgés présentant une maladie d'Alzheimer à un stade léger à ceux dits neurotypiques, évalués au cours des trois études menées pour ce travail de thèse, dans les différentes tâches de prises de décision. Une fois ces comparaisons comportementales établies, l'implication des différentes fonctions cognitives sera abordée.

Partie III

Discussion générale et conclusion

Discussion générale

D'une part, ce travail de thèse avait pour objectif de préciser les modifications affectant la capacité à prendre des décisions dans le vieillissement normal et au stade léger de la maladie d'Alzheimer. D'autre part, il cherchait à mettre en évidence le rôle qu'exercent certaines fonctions cognitives (i.e., fonctions exécutives, mémoire de travail, mémoire épisodique) sur les modifications de cette capacité. La prise de décision a donc été évaluée à l'aide de l'IGT, afin de pouvoir confronter nos résultats à ceux de la littérature, mais également à l'aide d'une tâche de scénarios, afin d'espérer se rapprocher des décisions de la vie quotidienne. Dans ce sous-chapitre, seront alors confrontés les résultats obtenus à partir de nos trois études, en tentant de faire émerger des caractéristiques décisionnelles typiques du vieillissement normal, ou de la MA. En premier lieu sera alors abordée la question des modifications du processus décisionnel d'un point de vue comportemental. En second lieu, seront comparées les implications des fonctions cognitives dans la DMC en fonction de la présence d'une MA ou non.

1 La prise de décision dans le vieillissement normal et dans la MA : les différences comportementales

1.1 Les différences comportementales observées à l'IGT

Pour rappel, les deux premières études ont comparé les performances de jeunes adultes à celles d'adultes âgés. Dans l'étude 1, pour laquelle le niveau d'éducation a été entré en covariant, le comportement à l'IGT des sujets âgés et jeunes ne se distinguait pas de façon significative. Alors que pour l'ensemble des participants le net score ne semblait pas évoluer au cours de la tâche, le nombre de changements de stratégies diminuait. L'ajout en covariant du niveau d'étude a pu cependant diminuer ou abolir certaines différences pourtant réelles. Pour évaluer davantage l'évolution des réponses en fonction de l'âge, des analyses ont été réalisées pour chaque groupe séparément. De façon intéressante, les adultes jeunes sélectionnaient de plus en plus les tas avantageux (i.e., augmentation du net score), mais à l'inverse, aucune évolution ne se manifestait concernant les sélections des adultes âgés. Concernant le nombre de changements stratégiques, adultes jeunes et âgés se comportaient de façon similaire. Dans l'étude 2, les deux groupes d'âge amélioraient leurs net scores au cours de la tâche, en revanche, seuls les jeunes adultes diminuaient le nombre de changements stratégiques. De façon générale, il semblerait donc que les adultes âgés performant moins bien à l'IGT que les adultes jeunes. En ce qui concerne l'étude 3, elle s'appliquait à comparer les performances d'adultes âgés contrôles et de patients atteints de la MA à un stade léger. Ses résultats ont montré que le net score n'était pas statistiquement différent entre ces deux groupes, et qu'il n'évoluait pas au cours de la tâche, et ce, quel que soit le groupe. Concernant les changements stratégiques, patients et adultes âgés contrôles diminuaient leur nombre au

fur et à mesure de la tâche. Toutefois, tout au long de l'IGT les patients atteints de la MA en produisaient significativement plus que les adultes âgés contrôles.

Tout d'abord, si les performances des adultes âgés sans trouble neurocognitif ne se montrent pas identiques d'une étude à l'autre, il paraît important de rappeler que leur niveau d'éducation ne l'était pas non plus (i.e., respectivement 4.2, 4.6 et 3.9/5), de la même façon que la taille des trois groupes variait du simple au double (i.e., respectivement 50, 30 et 20 sujets). Aussi, ces différents facteurs ont pu influencer les effets observés.

A l'issue de la première partie de ce manuscrit, une première discussion avait permis de confronter les résultats des deux premières études, focalisées sur le vieillissement dit normal. Il y était développé l'idée selon laquelle les adultes âgés manifestaient plus de difficultés pour adapter leurs prises de décision, du moins à l'IGT, que les adultes jeunes. Corroborant les résultats d'études antérieures, ce manque d'adaptation pourrait se rendre visible à travers le net score comme le nombre de changements stratégiques au cours de la tâche (Denburg et al., 2007; Fein et al., 2007; Wood et al., 2005; Zamarian et al., 2008). Ce dernier indice semblait particulièrement intéressant, car bien que moins souvent utilisé, il pourrait se présenter comme une alternative plus fine de mesure que celle que constitue le net score. Nous avons notamment émis l'hypothèse que la fragilisation de la confiance en soi due à la conscience des modifications cognitives caractérisant le vieillissement normal (Gamble et al., 2015) pourrait engendrer un processus de vérification plus régulier chez les adultes âgés (i.e., vérifier les conséquences des tas A et B en les sélectionnant régulièrement) que celui observé chez les adultes jeunes. En effet, alors que les jeunes adultes pourraient occasionnellement se risquer à sélectionner un tas désavantageux, tentant d'obtenir un gain plus important, les adultes âgés s'y risqueraient plus régulièrement, par peur d'avoir mal identifié les deux tas avantageux. En d'autres termes, adultes jeunes et âgés seraient en mesure de discriminer, avec l'expérience, les tas avantageux et désavantageux de l'IGT. Cette

compétence permettrait autant aux uns qu'aux autres d'améliorer leur net score au fil de la tâche. Toutefois, les adultes âgés connaissant une diminution de leurs capacités cognitives, et en étant généralement conscients (e.g., plainte mnésique récurrente), pourraient perdre confiance en leur jugement. Afin de pallier ce manque de confiance, ils mettraient en place des stratégies de vérification régulière. Dans l'IGT, cela se traduirait par un aller-retour relativement fréquent entre les tas avantageux et désavantageux. Les jeunes adultes, à l'inverse, ne subissant pas encore l'effet de l'âge sur leurs capacités cognitives, se montreraient plus confiants en leur jugement. A l'IGT, une fois les tas avantageux repérés, ils sélectionneraient bien moins souvent les tas désavantageux. Aussi, interroger uniquement le net score pourrait occulter certaines caractéristiques comportementales du vieillissement normal, révélées au contraire avec le calcul du nombre de changements stratégiques. Nous rappelons toutefois que la confiance en soi n'a pas été évaluée dans nos études, et que nous formulons ici une simple hypothèse explicative. Concernant les modèle de la prise de décision, nos résultats confortent notamment l'hypothèse majeure du *Person-Task-Fit Framework* de (Finucane & Lees, 2005), suggérant que la DMC dépendrait avant tout du degré de congruence entre les caractéristiques du décideur, de la tâche et de la situation. De façon intéressante, les autrices considèrent parmi les caractéristiques du décideur à la fois les dimensions affectivo-émotionnelles et cognitives. En ce sens, la confiance en soi, dépendante de la dimension affectivo-émotionnelle, pourrait effectivement influencer la prise de décision. En se référant au modèle EIC (*Emotion-Imbued Choice*), le niveau de confiance en soi exercerait une influence incidente sur la décision. Bien que non lié spécifiquement à la situation décisionnelle, il mettrait le décideur dans certaines prédispositions impactant plus ou moins directement l'évaluation de cette situation. Dans le cas de l'IGT, le niveau de confiance en soi impacterait donc l'évaluation de la nature des tas (i.e., avantageux vs désavantageux) à sélectionner. De façon intéressante, l'influence de facteurs affectivo-émotionnels, telle que la

confiance en soi, sur les performances à l'IGT ne semble pas si surprenante puisque (Bechara et al., 1994) avaient justement développé cette tâche pour prouver que les prises de décisions sous ambiguïté dépendaient de l'intégrité des processus émotionnels. Les résultats obtenus auprès de patients lésés au CPFvm leur avaient notamment permis d'appuyer leur Hypothèse des Marqueurs Somatiques.

Finalement, les observations et hypothèses découlant de ces deux études sur le vieillissement normal pourraient s'étendre au vieillissement pathologique, plus précisément, celui marqué par le développement de la MA. Alors que dans la plupart des études, le net score était abaissé chez les patients par rapport aux participants contrôles (Sinz et al., 2008) (de Siqueira et al., 2017; Gaubert & Chainay, 2021; Jacus et al., 2012; Jacus et al., 2018), notre étude 3 a au contraire révélé un net score similaire pour les deux groupes. Dans cette étude, les patients atteints de la MA avaient un score moyen au MMSE de 25.7, soit plus important que dans la plupart des études antérieures (Jacus et al., 2018; Sinz et al., 2008; Sun et al., 2020). En revanche, nos résultats confirmaient ceux d'études ayant évalué des individus avec un trouble cognitif léger (Sun et al., 2020). En d'autres termes, le net score ne serait pas une mesure de la prise de décision sensible au déficit cognitif léger, et n'apparaîtrait donc pas pertinent pour différencier les performances de sujets âgés contrôles et celles de patients atteints de la MA à un stade léger. En revanche, dans notre étude 3, les patients atteints de la MA opéraient plus de changements stratégiques que les adultes âgés sans trouble neurocognitif. Bien que la plupart des études précédentes supposaient que les patients sélectionnaient les tas de cartes au hasard, les résultats de la présente étude apporte des preuves du contraire. En effet, même si les patients changeaient plus régulièrement de stratégies que les adultes âgés contrôles, l'évolution du nombre de changements au cours de la tâche suivait la même tendance pour les deux groupes : il diminuait. Autrement dit, à un stade léger de la maladie, les patients demeurent capables d'identifier les tas avantageux, et ajustent

leurs sélections en fonction. Comment expliquer alors qu'ils opèrent toutefois plus de changements stratégiques que les adultes âgés contrôles ? Tout comme pour le vieillissement normal, le niveau de confiance en ses propres capacités pourrait fournir une explication. Bien que le phénomène d'anosognosie (i.e., non conscience des symptômes) soit souvent reporté dans la MA, ce dernier, lié aux régions frontales, s'accroîtrait avec le développement des atteintes neurologiques ainsi que des atteintes cognitives (Hanseeuw et al., 2020; Morris & Mograbi, 2013; Starkstein et al., 2006b; Turró-Garriga et al., 2014). Si certains auteurs rapportent une absence d'anosognosie au stade léger de la maladie comparativement aux stades plus avancés (Zanetti et al., 1999), d'autres décrivent chez des patients avec une atteinte légère de la MA une sous-estimation de leurs déficits cognitifs comparativement à des patients présentant un MCI (Kalbe et al., 2005). Quoiqu'il en soit, même si déjà présent, ce trouble de la conscience des symptômes demeurerait léger en tout début de maladie. De façon intéressante, certaines études montrent un lien entre le déficit cognitif et la qualité de vie évaluée par les patients eux-mêmes (Barbe et al., 2017; Stites et al., 2018). Parmi les items évaluant la qualité de vie, se retrouve souvent l'estime de soi, regroupant la confiance en soi, le sentiment d'accomplissement, ou encore le sentiment de pouvoir prendre des décisions pour soi-même (Barbe et al., 2017). En ce sens, si les patients atteints de la MA à un stade léger demeurent conscients de leurs déficits cognitifs et de leurs limitations au quotidien, cela pourrait impacter la confiance qu'ils portent à leurs compétences, ainsi que leur estime de soi. Par ricochet, cette perte de confiance et d'estime pourraient se répercuter sur leurs performances dans des tâches, notamment cognitives. Avant de détailler plus précisément cette hypothèse, il paraît nécessaire de définir la notion d'estime de soi, qui d'après nos recherches bibliographiques, serait plus utilisée que celle de confiance en soi. Il s'agirait en fait du produit de l'image qu'un individu a de lui-même et de l'image qu'il pense donner aux autres (Pinard et al., 2021). De façon intéressante, Brandtstädter et Greve (1994) ont décrit

l'estime de soi, et plus généralement le soi, comme un processus dynamique évoluant au cours de la vie. Selon ces deux auteurs, les modifications marquant le vieillissement normal, tels que la dégradation de la santé ou encore le déclin cognitif, pourraient alors impacter négativement l'estime de soi. Corroborant ce postulat, la méta-analyse d'Orth et al. (2018) a montré que cette dernière augmenterait jusqu'à l'âge de 60 ans environ, pour rester stable encore 10 ans et finalement décliner jusqu'à l'âge de 94 ans. Partant d'observations similaires (i.e., une corrélation négative entre le vieillissement et l'estime de soi), Pinard et al. (2021) ont questionné l'impact de l'estime de soi sur la mémoire épisodique. Ils ont mis en évidence, qu'avec l'âge, l'estime de soi aurait un impact de plus en plus direct sur les performances en mémoire. En conséquence, puisqu'elle module les performances mnésiques des adultes âgés sans trouble neurocognitif, il paraît probable que l'estime de soi influence également les performances des patients atteints de la MA dans des tâches cognitives. Ainsi, les patients manifestant un déclin cognitif et en étant conscients pourraient également voir leur estime en soi et leur confiance en eux décroître. Bien qu'ayant identifié correctement les tas avantageux à l'IGT, ce manque de confiance pourrait les amener à douter, et en conséquence, à vérifier plus régulièrement que les adultes âgés contrôles la teneur des tas de cartes qu'ils avaient, pourtant justement, jugé désavantageux. Cette hypothèse irait dans le sens des résultats obtenus par Bayard et al. (2015), affirmant que la compréhension explicite de la tâche serait nécessaire aux patients avec un MCI ou une MA à un stade léger pour performer avantageusement. Une étude, cette fois auprès d'étudiants, avait montré que la confiance en soi était motrice dans les apprentissages car elle réduisait le niveau d'anxiété ou encore engendrait des comportements de recherche active (Akbari & Sahibzada, 2020). Un manque de confiance pourrait donc interférer avec l'apprentissage implicite des règles organisant l'IGT, et donc avec l'acquisition d'une connaissance explicite de ces règles. En d'autres termes, si les patients ont effectivement moins confiance en eux, ils devraient adopter une

recherche moins active, leur permettant plus difficilement de déduire les règles implicites de la tâche, et donc entravant la construction des connaissances explicites nécessaires à la réussite de la tâche. Cette interférence du manque de confiance sur l'apprentissage pourrait induire une certitude plus fragile quant à la catégorisation des tas, et se refléter alors dans des changements de stratégies plus fréquents. De la même façon que pour le vieillissement normal, les caractéristiques d'ordre affectivo-émotionnel telles que l'estime de soi et la confiance en soi impacteraient donc les performances de patients atteints de la MA à l'IGT, corroborant plusieurs modèles de la prise de décision comme ceux de Finucane et Lees (2005), de Lerner et al. (2015) ou encore de Bechara et al. (1994).

Pour résumer, à l'IGT, les patients changeraient plus fréquemment de stratégies que les adultes âgés contrôles, changeant eux-mêmes plus souvent de stratégies que les adultes jeunes. Pour les sujets âgés sans trouble neurocognitif comme pour les patients atteints de la MA à un stade léger, le net score de l'IGT semblerait ne pas être un indicateur fiable de modifications légères dans la DMC. En revanche, le nombre de changements de stratégies semblerait constituer un indicateur intéressant, car plus fin, et permettant de mettre en évidence des modifications dans la prise de décision à la fois dans le vieillissement normal et pathologique. A présent que nous avons confronté les résultats à l'IGT de nos trois études, nous allons discuter des résultats obtenus à la tâche de scénarios.

1.2 Les différences comportementales observées à la tâche de scénarios

1.2.1 Les scénarios sous ambiguïté

La tâche de scénarios proposées dans les trois études mettait en scène de courtes histoires inspirées du quotidien débouchant sur un choix parmi deux options. Elle se composait de deux conditions : sous risque et sous ambiguïté. Dans cette section, seront abordées les décisions prises pour la condition sous ambiguïté.

Pour rappel, cette condition opposait une option dite ambiguë, dont le % de chance qu'une conséquence advienne était inconnu, et une option dite non ambiguë, dont le % de chance qu'une conséquence advienne était connu. Neuf pourcentages de chances étaient alors proposés : 2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90 et 98 %. Quatre histoires, toutes formulées avec un cadre positif (i.e., en contexte de gain) se répétaient 9 fois, soit une fois par pourcentage de certitude. Les participants se voyaient donc effectuer 36 décisions sous ambiguïté. Par ailleurs, l'emplacement des options (i.e., gauche et droite) ainsi que le format numérique (i.e., pourcentage ou fréquence) étaient contrebalancés.

Dans les études 1 et 2, portant sur le vieillissement normal, les adultes âgés montraient une aversion à l'ambiguïté plus grande que les adultes jeunes. En d'autres termes, les adultes âgés sélectionnaient moins souvent l'option ambiguë que les adultes jeunes. De façon surprenante, ces résultats ne semblent pas coïncider avec ceux retrouvés dans la littérature. Alors que Sproten et al. (2010) ont révélé une aversion à l'ambiguïté moins prononcée chez les adultes âgés que jeunes, Kurnianingsih et al. (2015) ont affirmé que l'attitude envers l'ambiguïté dépend du cadre de l'énoncé, autrement dit du contexte de perte (i.e., cadre négatif) ou du contexte de gain (i.e., cadre positif). Dans le premier cas, les adultes âgés seraient plus aversifs à l'ambiguïté que les adultes jeunes, dans le second cas, aucune

différence ne distinguerait les performances des deux groupes. Notre étude qui s'intéressait uniquement au contexte de gain pour la prise de décision sous ambiguïté ne confirme pas la proposition de Kurnianingshi et al. (2015) concernant ce contexte. Par ailleurs, la présence de feedback influencerait également l'attitude des adultes âgés, du moins en contexte de gain. Avec feedback, leur aversion à l'ambiguïté serait plus marquée que chez les adultes jeunes, sans feedback, leur comportement serait similaire à celui des adultes jeunes (Sproten et al., 2018). Nos résultats vont à l'encontre de cette dernière proposition. En effet, nous avons observé une aversion plus grande chez les adultes âgés que jeunes alors qu'aucun feedback n'était donné aux participants. Toutefois, une différence majeure entre nos études et les trois autres citées précédemment réside dans la nature du matériel d'évaluation. Alors que nos résultats ont été obtenus avec une tâche de scénarios inspirés de situations de vie quotidienne, les protocoles des trois autres études se basaient sur des tâches mettant en jeu la sélection de tas de cartes avec pour objectif de gagner de l'argent. En effet, les scénarios ont été conçus afin de refléter des situations familières qu'adultes jeunes ou âgés pourraient ou auraient pu déjà rencontrer dans la vie réelle. Ces courtes histoires avaient d'ailleurs été prétestées pour s'assurer de leur vraisemblabilité. Nous pouvons alors supposer que cette tâche sollicitait davantage la mémoire épisodique, ou encore les processus émotionnels spécifiques, comparativement à une tâche s'apparentant à un jeu de paris monétaires, dont les pertes comme les gains demeuraient fictifs. Comme mentionné précédemment, selon le *Person-Task-Fit Framework* de Finucane et Lees (2005), les décisions reflèteraient le degré de congruence entre trois caractéristiques : celles du décideur, celles de la tâche et celles de la situation. Pour ce qui est des caractéristiques de la situation, le niveau de familiarité se présenterait comme l'un des facteurs influençant. Par exemple, un faible niveau de familiarité pourrait notamment générer du stress lors de la prise de décision chez les adultes âgés, exacerbant alors leurs difficultés décisionnelles réelles. Dans le cas de notre étude les

scénarios présentaient des situations familières, ainsi ils ne devaient pas être générateur d'un stress particulier. La tâche d'IGT, à l'inverse, ne s'apparentait probablement pas à une situation familière, et pouvait alors se montrer plus stressante. Le niveau de stress engendré a pu d'ailleurs accentuer le besoin d'alterner les stratégies pour vérifier la nature des tas. Toutefois, un autre type de tâche au croisement entre la tâche de scénarios à deux options de réponse et les tâches sans lien direct avec la vie quotidienne permettrait également d'évaluer la prise de décision sous ambiguïté. Dans leur étude de 2007, Lauriola et al. avaient, en effet, déterminé des profils d'attitude face à l'ambiguïté chez des étudiants à l'aide d'une tâche similaire à celle d'Ellsberg. Plus précisément, une urne transparente et une urne opaque contenant des balles de deux couleurs (i.e., rouges vs bleues) leur étaient présentées. Ils devaient sélectionner l'urne qui, selon eux, offrait le plus de chance de tirer une boule de la couleur demandée (e.g., rouge). Bien qu'une tendance générale à l'évitement de l'urne ambiguë (i.e., opaque) se dessinait, trois profils ont pu être décrits : les appétifs à l'ambiguïté, les neutres face à l'ambiguïté et les aversifs à l'ambiguïté. Dans un deuxième temps, l'équipe de chercheurs a proposé une tâche de scénarios basée sur des situations de vie quotidienne. Cette seconde épreuve visait à mettre en évidence une possible prédiction de l'attitude envers l'ambiguïté déterminée lors de la tâche de loterie sur les décisions mimant la vie réelle. Si effectivement le profil dégagé dans la première partie de l'expérience exerçait une influence sur les réponses des participants à la tâche de scénarios, certains aspects inhérents aux scénarios pouvaient toutefois également orienter leurs choix. Les auteurs expliquent alors que les représentations que se forment les décideurs à propos des chances que l'option ambiguë a de se produire peuvent les orienter vers cette option, ou au contraire, vers l'option non ambiguë. Pour donner un exemple tiré de notre propre protocole, le participant, que le médecin incite hypothétiquement à suivre une thérapie pour réduire son anxiété, doit choisir entre une thérapie classique avec 60 % de chance de réduire l'anxiété et une thérapie basée

sur le contact avec les animaux avec un pourcentage inconnu de chance de faire complètement disparaître l'anxiété. La décision du sujet dépendra certes de son attitude générale face à l'ambiguïté, mais probablement aussi de son rapport aux animaux. Par exemple, une personne allergique aux poils de chiens ou de chats, ou bien phobique d'une certaine catégorie d'animaux, choisirait probablement rarement l'option ambiguë, quand bien même les chances de réduire l'anxiété avec l'option non-ambiguë étaient minimales. A l'inverse, une personne passionnée par les animaux, ou bien ayant visionné un reportage sur les effets bénéfiques de la thérapie animale, serait probablement plus encline à sélectionner l'option ambiguë, même si les chances de réduire son anxiété par le biais d'une thérapie classique étaient relativement élevées. De même, les antécédents anxieux de la personne, et les solutions tentées dans sa vie réelle pour y remédier, pourraient tout autant orienter son choix. Encore une fois, cette explication paraît cohérente avec le modèle de Finucane et Lees (2005), affirmant que les caractéristiques du décideur (e.g., son rapport aux animaux) interviennent dans le processus décisionnel au même titre que les caractéristiques de la tâche et de la situation. Aussi, les situations de vie quotidienne draineraient davantage de facteurs influents, ces derniers complexifiant les mécanismes sous-jacent à la prise de décision. Cette complexification pourrait apporter une explication aux divergences observées entre nos résultats et ceux de Kurnianingsih et al., (2015), Sproten et al. (2010) ou encore de Sproten et al. (2018). Pour des situations décisionnelles complexes, les adultes âgés éviteraient donc davantage les options ambiguës comparativement aux adultes jeunes. En revanche, pour des situations décisionnelles plus simples, soit le pattern inverse de réponses pourrait être observé, soit aucune différence en fonction de l'âge ne serait décelée. Autrement dit, ces observations suggèreraient que plus la situation décisionnelle est complexe, plus les adultes âgés suivraient une stratégie conservatrice, sécuritaire.

Pour pouvoir analyser plus finement les réponses des adultes âgés dans la tâche de scénarios, un autre paramètre semble également essentiel à prendre en compte : le pourcentage de certitude de l'option non-ambiguë. Dans nos trois études, les adultes âgés sans trouble neurocognitif manifestaient le même comportement : plus le pourcentage de certitude était élevé, moins ils sélectionnaient l'option ambiguë. En d'autres termes, plus la chance d'obtenir un gain dans l'option non-ambiguë augmentait, moins les adultes âgés choisissaient l'option dont le pourcentage de chance demeurait inconnu. Encore une fois, les adultes âgés paraissent alors adopter une stratégie sécuritaire, les préservant au plus possible de pertes probables. Cette tendance à essayer d'éviter les résultats fâcheux, plus que les jeunes adultes en tout cas, évoque fortement la *Socioemotional Selectivity Theory* (SST). D'après cette dernière, la perspective de temps des adultes âgés étant limitée, ils dirigeraient leurs objectifs de vie vers l'optimisation de leur bien-être. Aussi, ils tenteraient autant que possible d'éviter les situations dont le résultat irait à l'encontre de cet objectif. Puisque cette hypothèse a déjà été détaillée dans les articles et dans la discussion confrontant les résultats des deux études sur le vieillissement normal, nous ne développerons pas davantage cette idée ici. En revanche, nos résultats contredisent quelque peu le modèle proposé par Schiebener et Brand (2015), suggérant que sous ambiguïté, seule la voie intuitive de traitement serait sollicitée, contrairement aux prises de décision sous risque s'appuyant à la fois sur les voies intuitives et analytiques. En effet, le fait que les adultes âgés ajustent leurs décisions aux pourcentages de certitudes suggèrent qu'ils font appel à leur capacité à traiter les ratios pour sélectionner l'option de réponse. Or, cette capacité est normalement sollicitée lors d'un traitement analytique, et non intuitif. Ainsi, nos résultats nuanceraient les propos de Schiebener et Brand (2015) : si les décisions sous risque impliquent l'activation des deux modes de traitement (i.e., intuitif et analytique), il semble possible qu'il en soit de même avec les décisions sous ambiguïté. Les modèles théoriques plus globaux de la prise de décision, tel que l'EIC de

Lerner et al. (2015), se présentent alors comme une alternative intéressante. Pour rappel, l'EIC suggère que la décision relève d'une évaluation des différentes options de réponse. Cette évaluation serait évidemment dépendante des caractéristiques des options, mais également de caractéristiques relatives au décideur (e.g., aversion ou appétit pour l'ambiguïté). Par ailleurs, cette évaluation serait modulée par des facteurs affectivo-émotionnels, pouvant intervenir à différents moments du processus décisionnel. Ainsi, dans le cas de notre tâche de scénarios, le pourcentage de certitude pourrait être analysé par les adultes âgés dans le but d'évaluer la pertinence des options. Toutefois, cette évaluation cognitive pourrait engendrer des émotions chez le décideur, renforçant ou inversant les préférences. Par exemple, toujours avec le scénario concernant la thérapie contre l'anxiété, si l'option non-ambiguë (i.e., thérapie psychologique classique) propose des pourcentages de certitudes extrêmes (i.e., 2-10 % de certitude ou 90-98 % de certitude), il y a de grandes chances que l'émotion induite par le pourcentage renforce les préférences établies par le raisonnement. En effet, s'il n'y a que 2 % de certitude que cette thérapie fonctionne, il y a rationnellement peu d'intérêt à la sélectionner. De plus, le choix de cette option pourrait générer un stress pour quiconque souhaitant réduire son anxiété, puisqu'elle possède peu de chance d'atteindre cet objectif. Ce stress viendrait alors renforcer la tendance première, c'est-à-dire, éviter cette option et choisir l'option ambiguë (i.e., la thérapie animale avec un pourcentage inconnu de certitude). En revanche, dans le cas où le pourcentage de certitude serait moyen (i.e., 40-60 % de certitude), la préférence dépendrait majoritairement de caractéristiques intrinsèques au décideur. En effet, d'un point de vue strictement mathématique, 60 % de certitude offre plus d'une chance sur deux de réduire l'anxiété, et puisque la majorité des individus manifestent plutôt une aversion à l'ambiguïté (Ellsberg, 1961), la logique voudrait qu'ils choisissent plutôt cette option que l'option ambiguë. Toutefois, en la choisissant, les individus s'exposent aussi à un peu moins d'une chance sur

deux de ne pas réduire leur anxiété, ce qui ne paraît pas négligeable. Aussi, les caractéristiques du décideur, tels que son rapport aux animaux ou ses expériences passées avec des thérapies psychologiques, pourraient plus fortement impacter le choix que les % de certitude. Un individu affectionnant particulièrement les animaux pourrait ainsi sélectionner l'option ambiguë malgré un pourcentage de certitude de l'option non-ambiguë à 60 % (i.e., donc avec plus de chance de réduire l'anxiété que de risque de ne pas la réduire). En d'autres termes, les caractéristiques du décideur, notamment affectivo-émotionnelle (e.g., aimer ou pas les animaux), viendraient directement impacter l'évaluation des options, et ainsi, la décision finale.

En ce qui concerne les patients atteints de la MA, ils se comportaient de la même façon que les adultes âgés contrôles. Autrement dit, ils sélectionnaient autant de choix ambigus que leurs pairs sans trouble neurocognitif. Comme nous le précisons dans l'article issu de l'étude 3, nos résultats semblent ardues à comparer avec les données de la littérature puisque à notre connaissance, aucune autre étude n'a utilisé des scénarios de vie quotidienne pour évaluer la prise de décision sous ambiguïté chez des patients atteints de la MA. Toutefois, cette adaptation des décisions en fonction du pourcentage de certitude vient confirmer les résultats de l'IGT suggérant, qu'à un stade léger de la maladie, les patients ne s'en remettent pas au hasard pour prendre leurs décisions. Ces données nuanceraient alors les hypothèses formulées par plusieurs travaux antérieurs basés sur les performances à l'IGT (Alameda-Bailén et al., 2017; Bayard et al., 2015; Jacus et al., 2012; Jacus et al., 2018; Sinz et al., 2008; Torralva et al., 2000). Les résultats des patients viennent conforter les résultats des adultes âgés sans trouble neurocognitif, et ainsi nuancer le modèle de Schiebener et Brand (2015) postulant que la voie de traitement analytique n'entrerait pas en jeu dans les prises de décisions sous ambiguïté. En revanche, ils soutiendraient plutôt la vision défendue par Lerner et al. (2015) dans le modèle EIC, suggérant que la décision dépend de l'évaluation des

différentes options de réponse, basée sur des critères rationnels/objectifs mais subissant également l'influence de facteurs émotionnels/subjectifs.

1.2.2 Les scénarios sous risque

La tâche de scénarios se composait d'une deuxième condition, dite sous risque. Chaque situation décisionnelle opposait une option non risquée, dont le pourcentage de certitude équivalait 100 %, et une option risquée, dont le pourcentage de certitude pouvait prendre 9 valeurs (i.e., 2, 10, 20, 40, 50, 60, 80, 90, et 98 %). Trente-six histoires différentes étaient proposées, dont la moitié présentée avec un cadre positif (i.e., contexte de gain) et l'autre moitié avec un cadre négatif (i.e., contexte de perte). De même, la moitié des histoires exprimaient le degré de chance d'obtenir un gain ou une perte en pourcentage, et l'autre moitié en fréquence.

Les résultats des deux études sur le vieillissement normal ont montré, au total, une plus grande aversion au risque chez les adultes âgés que jeunes. En revanche, les uns comme les autres s'adaptaient au cadre, signifiant qu'ils étaient davantage appétitifs au risque dans le domaine des pertes mais davantage aversifs au risque dans le domaine des gains. Nos résultats confirment la théorie des perspectives de Kahneman et Tversky (1979), qui a été la première à décrire l'existence d'un effet de cadre. Cet effet reflète l'influence de la présentation du contexte décisionnel (i.e., positif ou négatif) sur la prise de décision, menant parfois jusqu'à des choix diamétralement opposés pour des problèmes pourtant mathématiquement équivalents. La révélation de son existence avait permis aux théories de la prise de décision de franchir une étape majeure, celle de montrer l'influence d'éléments non liés aux probabilités sur le choix d'un individu. Comme déjà expliqué dans la discussion de notre première partie, cet effet de cadre a, depuis, souvent été décrit dans la littérature (Gollier et al., 2003). Sa

présence manifesterait une volonté de limiter l'apparition de conséquences désagréables, soit en assurant un gain sûr, soit en tentant d'éviter une perte. Dans l'étude 3, portant donc sur la MA, les patients répondaient également positivement à l'effet de cadre, évitant le risque dans le domaine des gains mais le cherchant dans le domaine des pertes. Même si la différence demeurait uniquement tendancielle, ils prenaient toutefois plus de risques en situation de gain que les participants contrôles. Selon Ha et al. (2012), cette tendance pourrait refléter un premier pas vers la suppression de l'effet de cadre. Dans leur étude, les patients atteints de la MA prenaient autant de risque en contexte de gain qu'en contexte de perte, et cette constatation provenait d'une augmentation du nombre de risques pris en contexte de gain. Cette augmentation pourrait signifier que les patients atteints de la MA adoptaient des stratégies décisionnelles moins sécuritaires, et ce, spécifiquement dans le domaine des gains. Cette influence du cadre sur la prise de décision dépendrait, d'après les modèles décisionnels à double-voie de traitement, du mode heuristique : les gains étant émotionnellement engageants, le cadre positif appellerait l'option certaine, et les pertes étant émotionnellement repoussantes, le cadre négatif appellerait l'option risquée. Selon le modèle de Schiebener et Brand (2015), la prise de décisions sous ambiguïté dépendrait exclusivement de la voie intuitive (ou heuristique) (i.e., rapide, automatique, émotionnelle), alors que la prise de décision sous risque pourrait emprunter à la fois la voie intuitive et la voie analytique (i.e., lente, coûteuse cognitivement). Ces deux voies ne seraient pas tout à fait hermétiques, et pourraient donc s'influencer l'une l'autre. Ainsi, en fonction du cadre (i.e., positif ou négatif), la voie intuitive viendrait teinter le raisonnement dépendant de la voie analytique, engendrant alors des décisions parfois opposées pour des problèmes équivalents d'un point de vue purement statistique. D'après nos résultats, l'influence de la voie intuitive sur la voie analytique semblerait perdre en force avec le développement de la MA.

De façon très intéressante, les patients ajustaient en revanche leurs prises de risque aux pourcentages de certitude, en sachant que d'après le modèle de Brand et al. (2006), le traitement des ratios interviendrait avec un mode de traitement analytique. Ces observations laisseraient donc à penser que le mode de traitement heuristique de l'information subirait des modifications précocement dans la MA, contrairement au mode analytique, qui resterait efficace au stade léger de la maladie. En effet, en contexte de gain (mais pas de perte), les patients atteints de la maladie d'Alzheimer adaptaient leurs prises de décisions en fonction du pourcentage de certitude de l'option risquée : plus le pourcentage était élevé, plus ils se risquaient à sélectionner cette option. Ce phénomène est celui que nous avons également observé chez les adultes âgés sans trouble neurocognitif de nos études 1 et 2, suggérant que leur prise de risque se voudraient toujours mesurée : ils ne prennent le risque de passer à côté d'un gain sûr (100 %) que lorsque la probabilité d'obtenir un gain moins sûr est forte. Cependant, contrairement aux patients atteints de la MA, les adultes âgés de nos deux premières études ajustaient également le nombre de risques en fonction du pourcentage de certitude en contexte de perte. Cet ajustement consistait à réduire le nombre de choix risqués avec l'augmentation du pourcentage. Plus la plus grosse perte se rapprochait de 100 % de certitude, moins ils choisissaient l'option risquée. Le comportement des adultes âgés, en contexte de gain comme de perte, paraissait donc toujours cohérent avec la SST et la recherche d'optimisation du bien-être (Carstensen et al., 2003). Leur comportement semblait également conforter le modèle de Brand et al. (2006), suggérant que contrairement à la prise de décision sous ambiguïté, la prise de décision sous risque dépendrait de la voie analytique, notamment basée sur la capacité à traiter des ratios. Toutefois, chez les patients, cette capacité à adapter les réponses au pourcentage de certitude ne concernait que le contexte de gain. Il se pourrait alors que, chez des adultes âgés subissant un déclin cognitif, le biais de positivité se voie renforcé. Ainsi, en contexte de gain, la situation stimulerait les processus attentionnels,

mettant les patients dans de bonnes dispositions pour porter attention aux différentes informations, dont les pourcentages de certitude. En revanche, en contexte de perte, les caractéristiques négatives de la situation ne susciteraient pas l'activation des processus attentionnels, aussi les patients ne considèreraient probablement pas les informations chiffrées. Cette hypothèse d'un renforcement du biais de positivité avec le déclin cognitif corrobore les résultats de Werheid et al. (2011) qui décrivaient une augmentation de l'effet de positivité à partir de la reconnaissance de visages exprimant la joie chez des patients atteints de la MA comparativement à des adultes âgés contrôles. Labouvie-Vief et al. (2007) suggèrent même que traiter des stimuli positifs demanderait moins de ressources cognitives que traiter des stimuli négatifs, et qu'en conséquence, l'effet de positivité serait augmenté chez des adultes âgés avec un trouble cognitif, disposant donc de ressources cognitives plus réduites. Cette hypothèse renforcerait l'idée développée par Lerner et al. (2015) dans le modèle EIC, postulant que l'interaction entre l'évaluation cognitive, donc la préservation des capacités cognitives sous-jacentes à cette évaluation, et le traitement émotionnel déterminerait le choix final du décideur. Étonnamment, dans notre étude 3, les adultes âgés contrôles n'adaptèrent pas leurs réponses aux pourcentages de certitude, ni en contexte de gain ni en contexte de perte. Il s'avère que le niveau d'éducation était inférieur à celui des adultes âgés des deux autres études. Cette caractéristique étant corrélée à la capacité des individus à traiter des ratios (Pertl et al., 2014), peut-être les participants âgés contrôles se trouvaient-ils en difficulté pour comprendre, et donc prendre en compte, les informations chiffrées.

1.3 Les différences cognitives : les fonctions engagées dans la prise de décision

Le deuxième objectif de ce travail de thèse visait à questionner l'implication de la MT, des fonctions exécutives et de la mémoire à long terme dans la prise de décision au cours du

vieillessement normal, mais également au cours du vieillissement marqué par le développement de la MA. Nous supposons tout d'abord que l'ensemble de ces fonctions cognitives expliqueraient davantage les performances dans les tâches de prise de décision sous risque que sous ambiguïté, puisque d'après Schiebener et Brand (2015), seul ce contexte décisionnel (i.e., sous risque) solliciterait la voie de traitement analytique, reposant justement sur l'intégrité des fonctions cognitives. Par ailleurs, les processus inhibiteurs semblent particulièrement vulnérables au vieillissement normal, et plus encore à la MA, nous supposons qu'ils seraient également les plus impliqués dans la DMC des adultes âgés et des patients atteints de la MA. En ce qui concerne la mémoire à long terme, puisque le défaut de recollection fait davantage consensus dans le vieillissement normal que celui touchant le sentiment de familiarité, nous supposons que la DMC des adultes âgés serait plus dépendante de ce premier processus que de celui de familiarité.

Dans les études 1 et 2, traitant du vieillissement dit normal, des analyses de régressions ont été faites sur l'ensemble des participants (i.e., adultes jeunes et âgés). Deux processus semblaient particulièrement impliqués dans la DMC : l'inhibition et le sentiment de familiarité. D'après le modèle de Brand et al. (2006), l'inhibition permettrait à la fois d'étayer la sélection des éléments de l'environnement, ainsi que celle des éléments stockées en mémoire à long terme, pertinents à la prise de décision. Ainsi, nos résultats semblent conforter ce modèle à double-voie de la prise de décision. Même si aucune étude ne semble avoir cherché, et donc montré, de lien de causalité entre les performances en inhibition et la DMC dans le vieillissement normal, un ensemble de travaux montrent des résultats cohérents avec nos résultats. Par exemple, la personnalité impulsive influencerait les performances à l'IGT (Nguyen et al., 2013), ou encore, un entraînement mobilisant les processus inhibiteurs permettraient d'améliorer les performances de adultes âgés à l'IGT (Schmicker et al., 2019). En ce qui concerne le sentiment de familiarité, des travaux sur la mémoire épisodique ont

également mis en avant son implication dans le processus décisionnel (Murty et al., 2019; Zhang et al., 2021). Si aucune étude ne semble avoir eu recours à un paradigme de type Remember/Know pour questionner les liens entre la mémoire épisodique et la prise de décision au cours du vieillissement, Dijksterhuis (2004) semble toutefois présenter des résultats cohérents avec les nôtres. D'après lui, les pensées inconscientes seraient plus pertinentes que les pensées conscientes pour prendre une décision complexe. Alors que la familiarité se définit comme un mécanisme rapide et automatique, la recollection fait plutôt référence à un processus lent et coûteux (Prull et al., 2006). En ce sens, les pensées inconscientes décrites par Dijksterhuis pourraient englober ce sentiment de familiarité, tandis que les pensées conscientes engloberaient plutôt la recollection. Selon ce même auteur, les pensées inconscientes seraient particulièrement favorables aux représentations claires et intégrées. Comme nous le développons dans la discussion de la première partie de thèse, l'avantage du sentiment de familiarité par rapport à la recollection pour la prise de décision nous paraît double. Tout d'abord, puisque automatique, il serait moins demandeur en ressources cognitives. De plus, moins précis, il serait plus généralisable et donc utilisables pour un plus grand nombre de situations.

En ce qui concerne l'étude 3, focalisée donc sur la DMC de patients atteints de la MA, chaque tâche appelait des processus cognitifs différents. Pour l'IGT, les processus inhibiteurs étaient particulièrement impliqués chez les patients atteints de la MA comme les adultes âgés contrôles, et surtout pour les patients en ce qui concerne la suppression d'interférence. Ces résultats corroborent ceux de Sinz et al. (2008) qui avaient également mis en évidence, également chez des patients atteints de la MA, une corrélation entre le nombre de changements stratégiques et le subtest évaluant le contrôle inhibiteur de la Batterie Rapide d'Efficiences Frontales (BREF). De façon intéressante, cette corrélation apparaissait uniquement pour le dernier bloc de l'IGT, soit le moment où les participants ont probablement

déduit les règles par l'expérience, et où la tâche a probablement déjà basculé vers un processus décisionnel sous risque. Toutefois, les auteurs ne proposent pas d'explications quant à l'implication particulière de la suppression d'interférence. Puisque les tas A et B entraînent de grands gains, ils pourraient dans un premier temps paraître alléchants. Une fois qu'ils ont engendré des pertes, plus grandes encore que les gains, il serait donc nécessaire d'inhiber ces tas et les potentiels larges gains qu'ils offrent afin d'éviter un mauvais tirage et de perdre de plus grandes sommes encore. Plus précisément, puisqu'ils peuvent générer des gains importants, les tas A et B vont capter une part de l'attention. La capacité à supprimer l'interférence que leur présence crée avec l'objectif de maximiser les gains à long terme va permettre aux participants de les négliger pour privilégier la sélection des tas C et D. Ces derniers, bien que procurant de plus faibles gains, sont plus avantageux à long terme. Leurs sélections favorisent alors l'atteinte de l'objectif fixée au début de l'IGT : avoir une cagnotte plus importante à la fin qu'au démarrage de la tâche. Toutefois, la suppression d'interférence ne pourra se mettre en place qu'une fois la nature des tas établie, soit après plusieurs essais qui auront permis aux participants de déduire cette nature (i.e., tas avantageux vs désavantageux). Encore une fois, ces résultats appuient le modèle de Brand et al. (2006) décrivant une implication des processus cognitifs, et notamment des processus inhibiteurs, dans la prise de décision sous risque.

Toujours en ce qui concerne l'étude 3, la tâche de scénarios en condition sous risque, a montré chez les adultes âgés et les patients atteints de la MA une implication de la flexibilité mentale, de la mise à jour et de la MT sur le nombre de choix risqués sélectionnés. Ces résultats confirment ceux d'études antérieures qui avaient montré des liens qu'entretient la prise de décision sous risque avec les fonctions exécutive et la mémoire de travail (Pertl et al., 2015, 2017; Stormoen et al., 2014; Sun et al., 2020). Parmi ces travaux, seuls Pertl et al. (2017) avaient utilisé une tâche de scénarios. Ils avaient alors montré une implication

particulière de la capacité à traiter des nombres. La même équipe de chercheuses avaient également montré, à l'aide du Game of Dice Task-Double (GDT-D), que la prise de décision sous risque chez des patients MCI corrélait avec les fonctions exécutives, toutefois, sans plus de précision sur les processus impliqués (Pertl et al., 2015).

Dans l'étude 3, davantage de fonctions cognitives expliquaient les performances décisionnelles comparativement aux résultats décrits dans l'étude 1. Les données issues de cette troisième étude englobaient les performances de patients atteints de la MA, mais également d'adultes âgés contrôles. De façon intéressante, ces participants contrôles exprimaient le plus faible niveau d'éducation des trois groupes d'adultes âgés recrutés dans cette thèse (i.e., respectivement 4.2, 4.6 et 3.9). Deux hypothèses semblent pouvoir être formulées. Selon la première, les performances décisionnelles des sujets des études 1 et 2 étaient soumises à un effet plafond, ne rendant pas visible l'implication de certaines fonctions cognitives dans les analyses corrélationnelles et de régressions. Aussi, les corrélations significatives ainsi que les liens de causalité n'apparaissaient que pour les sujets de l'étude 3, dont les scores décisionnels n'atteignaient pas l'effet plafond. Selon la deuxième hypothèse, le déficit cognitif touchant les patients leur impose de recruter d'autant plus de fonctions cognitives afin de compenser cette dégradation entravant leur capacité à prendre des décisions. Dans ce cas, l'augmentation du nombre de fonctions impliquées dans la prise de décision reflèterait un moyen de compensation. Cette deuxième hypothèse nous semble plus probable pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les tâches de scénarios ne permettaient pas d'obtenir un score de performances (i.e., puisqu'il n'y avait pas de bonnes ou de mauvaises réponses en soi), aussi, il semble difficile dans ces conditions d'atteindre un effet plafond. Ensuite, elle confirmerait l'idée défendue par Pertl et al. (2017) suggérant que les situations décisionnelles complexes, mettant en jeu les fonctions exécutives et les habiletés numériques, mettraient particulièrement en difficulté les adultes âgés avec un trouble neurocognitif.

2 Limites et perspectives

Les trois études menées pour ce travail de thèse possèdent toutefois quelques limites qu'il apparaît important de reconnaître afin de considérer les résultats avec le plus d'objectivité possible.

Tout d'abord, le nombre de sujets inclus dans chacune des trois expériences (i.e., 100 ; 60 et 40) était relativement faible. La longueur du protocole (i.e., 2 à 3 séances de 1 à 2 heures de passation), mais surtout les restrictions dues à la pandémie du virus COVID-19 (i.e., hôpitaux fermés pour les études scientifiques, université interdisant l'accès à leurs locaux pour les adultes de plus de 65 ans pendant de nombreux mois) ont constitué deux freins majeurs au recrutement de participants. Le nombre restreint d'inclusions a ainsi rendu difficile les analyses de corrélations et de régressions par groupe, ne permettant notamment pas de comparer directement l'implication des différentes fonctions cognitives sur la prise de décision en fonction de l'âge (i.e., adultes âgés vs. adultes jeunes).

Une deuxième limite, relative uniquement à l'étude 1, concerne la différence dans le niveau d'étude des participants âgés et jeunes. Cette différence nous a contraint à réaliser des ANCOVAs, avec le niveau d'étude entré en covariant. Or, les ANCOVAs confèrent un poids important aux facteurs covariants afin d'éliminer les erreurs statistiques de type II (i.e., accepter une hypothèse qui devrait être rejetée), mais tendent en contrepartie à augmenter le risque d'erreurs de type I (i.e., refuser une hypothèse qui devrait être acceptée). En d'autres termes, l'ANCOVA peut invisibiliser certaines différences entre les groupes pourtant bien réelles. Afin de réduire une marge d'erreur possible dans l'analyse des résultats, et d'estomper les deux limites précédemment citées, il serait approprié d'augmenter les effectifs des groupes. En effet, avec des échantillons plus importants (e.g., 200 participants), l'application d'analyses de régression serait pertinente et permettrait de réaliser des prédictions plus fines

sur les processus impliqués dans la prise de décision pour chacune des populations étudiées (i.e., adultes jeunes, adultes âgés contrôles, patients atteints de la MA).

Un autre élément à prendre en considération dans nos deux études sur la prise de décision dans le vieillissement normal (i.e., études 1 et 2) est la modalité de passation des expériences. En effet, l'université n'accueillant plus physiquement d'étudiants pendant une très longue période, nous avons reprogrammé certaines de nos tâches sur la plateforme en ligne Psytoolkit afin de faciliter l'inclusion de participants jeunes. Bien que les tâches programmées pour le distanciel ne nécessitaient pas le recueil de temps de réaction, mais uniquement de scores, la modalité de passation a tout de même pu influencer les performances. En effet, malgré les consignes de passation données une première fois lors du recrutement, puis répétées sous forme d'enregistrement vocal et de notice écrite joints aux participants par mail, nous ne pouvions obtenir l'assurance que les adultes jeunes s'isolaient bien dans une pièce calme, sans distraction visuelle ou auditive. A l'inverse, l'expérimentatrice étant présente pour toutes les sessions des adultes âgés, il était possible de veiller à la conformité des consignes de passation. Avec du temps supplémentaire, il aurait ainsi été pertinent de proposer à un nouveau groupe d'adultes jeunes les tâches effectuées par leurs pairs sur Psytoolkit, mais cette fois en présence de l'expérimentatrice, et de comparer les résultats obtenus par le groupe en distanciel et le groupe en présentiel.

En ce qui concerne les perspectives pour de futures études, quatre pistes nous sont apparues comme intéressantes à développer. Tout d'abord, nous avons manqué de temps pour pouvoir examiner les liens entre la mémoire épisodique et la DMC chez les patients atteints de la MA. L'atteinte mnésique se présentant comme le symptôme primaire et majeur de cette maladie, il semblerait d'autant plus pertinent de réaliser cette quatrième étude.

Ensuite, afin d'appréhender les liens entre la DMC et les trois fonctions cognitives ciblées dans cette thèse (i.e., fonctions exécutives, MT et mémoire épisodique) nous avons

créé des tâches évaluant individuellement chaque processus pour ensuite réaliser des analyses de corrélation et de régression. Pour montrer un lien plus direct entre les fonctions cognitives citées plus haut et les processus décisionnels, il pourrait être pertinent de modifier notre tâche de scénarios en faisant varier en son sein certains paramètres. Par exemple il semblerait envisageable de faire varier la charge en MT, ou encore le niveau d'inhibition, puis d'observer si la variation induite influence la prise de décision.

Une autre amélioration possible, compatible avec celle citée précédemment, serait de tenter de se rapprocher encore davantage de la prise de décision en situation réelle. En effet, même si nos tâches de scénarios s'inspiraient de la vie quotidienne, elles ne pouvaient être considérées comme écologiques. Bien que les participants se projetaient dans chaque contexte pour choisir leur option préférée, cette projection ne se faisait qu'à partir de la lecture des histoires, et les situations n'étaient donc pas vécues directement. Cette différence de perspective a pu alors engendrer des réponses différentes de celles qu'ils auraient donné dans la réalité. S'il semble logiquement difficile d'examiner les décisions quotidiennes d'individus en temps réel, une alternative pourrait néanmoins exister : le recours aux techniques de réalité virtuelle. Immergeant les participants dans les différentes situations décisionnelles, leurs comportements devraient davantage ressembler à ceux qu'ils adopteraient dans la réalité. D'ailleurs, des paradigmes se rapprochant de la réalité virtuelle ont déjà été utilisés auprès de patients atteints de la MA, plus précisément des simulateurs de traversée de route afin d'évaluer leurs décisions dans ce contexte très particulier (Dommes et al., 2015).

Enfin, dans notre discussion générale, nous avons formulé l'hypothèse d'un impact de la confiance et de l'estime de soi sur la prise de décision. Bien que cette hypothèse s'appuyait sur des études montrant que de tels facteurs influencent, par exemple, les performances en mémoire épisodique (Pinard et al., 2021), nous n'avons pas évalué ce paramètre dans nos

études et il n'était donc pas possible de vérifier cette interprétation. Il pourrait alors être intéressant, dans de futures études, de mesurer à l'aide de questionnaires l'estime de soi des participants et de questionner ses liens avec la DMC.

Conclusion

Ce travail de thèse cherchait à répondre à deux objectifs principaux. Tout d'abord, il visait à évaluer les modifications de la DMC au cours du vieillissement normal et au stade léger de la MA. Ensuite, il ambitionnait à questionner les liens unissant ces modifications, caractérisant donc le vieillissement normal et le stade léger de la MA, à celles touchant les fonctions exécutives, la MT et la mémoire épisodique. Afin d'atteindre ces objectifs, trois études ont été menées. Les deux premières se concentraient sur le vieillissement normal, alors que la dernière se focalisait sur le stade léger de la MA. Dans ces trois études, la DMC a été évaluée de la même façon, en utilisant l'IGT et une tâche développée au laboratoire reposant sur des situations inspirées de la vie quotidienne. Les études 1 et 3 s'intéressaient aux liens que partage la DMC avec les fonctions exécutives et la MT, respectivement dans le vieillissement normal et au stade léger de la maladie d'Alzheimer. Elles évaluaient trois fonctions exécutives spécifiques, à savoir la flexibilité mentale, l'inhibition et la mise à jour, au moyen de deux tâches par fonction. La MT, quant à elle, était évaluée avec deux tâches d'empans simples et trois tâches d'empans complexes.

A l'IGT, les adultes âgés avaient plus de difficultés que les adultes jeunes à adapter leurs décisions au cours de la tâche. Cette difficulté n'a pas été mise en évidence par les ANCOVAs réalisées dans l'étude 1, en revanche, elle a été révélée via l'ANOVA sur le nombre de changements stratégiques dans l'étude 2. Ce deuxième indicateur, plus rarement utilisé dans les études, nous avait semblé particulièrement intéressant car permettant une analyse plus fine du comportement des participants. Nous avons notamment formulé

l'hypothèse selon laquelle les adultes âgés demeurent capables de déduire les règles de l'IGT, expliquant l'augmentation du net score au cours de la tâche, mais connaissent une perte de confiance en leurs capacités les amenant à mettre en place des stratégies de vérification. Plus précisément, ils auraient conscience des modifications cognitives qu'entraîne le vieillissement, et viendraient donc à se méfier de leur propre jugement. Dans l'IGT, bien qu'ils aient compris la nature des tas, un doute concernant leur capacité de déduction persisterait, les poussant à alterner régulièrement entre les tas avantageux et désavantageux. D'ailleurs, dans l'étude 3, les patients atteints de la MA à un stade léger obtenaient aussi un net score similaire à celui des adultes âgés contrôles, alors qu'ils opéraient davantage de changements stratégiques. Aussi, l'hypothèse formulée pour les adultes âgés sans trouble neurocognitif pourrait s'étendre aux patients atteints de la MA à un stade léger. En effet, dans l'étude 3, les patients inclus étaient encore au tout début de la maladie, aussi ils pouvaient à la fois être en mesure de déduire les règles de l'IGT, mais également être conscients de leurs troubles, ce qui affecterait plus fortement encore leur confiance et leur estime de soi que chez les adultes âgés contrôles. Cette diminution de l'estime de soi pourrait donc également se répercuter sur le nombre de changements stratégiques des patients.

Dans la tâche de scénarios, pour la condition « sous ambiguïté », les adultes âgés des études 1 et 2 exprimaient une plus grande aversion à l'ambiguïté que les adultes jeunes, sélectionnant moins souvent l'option ambiguë. Par ailleurs, les adultes âgés adaptaient aussi leurs choix au pourcentage de certitude de l'option non-ambiguë. En contexte de gain, le nombre de choix ambigus (i.e., nombre de sélections de l'option ambiguë) diminuait avec l'augmentation du pourcentage de certitude. A l'inverse, en contexte de perte, le nombre de choix ambigus augmentait avec l'accroissement du pourcentage de certitude. De façon générale, les adultes âgés des études 1 et 2 prenaient des décisions plus sécuritaires que les adultes jeunes. Nos résultats peuvent s'expliquer à la lumière de la SST, les adultes âgés

recherchant à optimiser leur bien-être et les adultes jeunes à construire de nouvelles connaissances. A l'inverse, nos résultats contredisent en partie le modèle de Schiebener et Brand (2015), suggérant que seule la voie intuitive serait sollicitée pour les prises de décisions sous ambiguïté. En effet, le fait que les adultes âgés prenaient en compte les pourcentages de certitude pour orienter leurs choix semble indiquer que la voie analytique soit également utilisée. Concernant les patients atteints de la MA, ils exprimeraient une attitude envers l'ambiguïté identique à celle des adultes âgés contrôles, toutes études confondues. De la même manière que les adultes âgés sans trouble neurocognitif, ils adaptaient leurs choix au pourcentage de certitude de l'option non ambiguë. Ces résultats vont à l'encontre de l'idée souvent répandue dans la littérature, supposant que les décisions des patients atteints de la MA sont guidées par le hasard.

Toujours dans la tâche de scénarios, mais cette fois pour la condition « sous risque », les adultes âgés des études 1 et 2 manifestaient également une plus grande aversion au risque que les adultes jeunes. Quel que soit l'âge, les participants adaptaient cependant leur prise de risque au contexte, évitant le risque en contexte de gain et le cherchant en contexte de perte. De façon intéressante, l'étude 3 a révélé que même si les patients atteints de la MA répondaient aussi à cet effet du contexte, ils tendaient à prendre plus de risques que les adultes âgés contrôles en contexte de gain. Cette tendance pourrait évoquer un début d'affaiblissement de l'effet cité précédemment, comme cela a déjà été démontré dans des travaux antérieurs (Ha et al., 2012). Par ailleurs, alors que les adultes âgés des études 1 et 2 se fiaient au pourcentage de certitude de l'option risquée pour élaborer leurs décisions, les patients ne prenaient en compte cette information qu'en contexte de gain. Nous avons formulé l'hypothèse d'un renforcement du biais de positivité avec la maladie, qui capturerait l'attention pour les histoires en contexte de gain, contrairement à celles en contexte de perte. Étonnamment, les adultes âgés de l'étude 3 n'adaptaient pas leur prise de décision sous risque

au pourcentage de certitude de l'option risquée. Ayant le niveau d'éducation le plus bas de tous les adultes âgés inclus dans cette thèse, incluant les patients atteints de la MA, il est possible que ce facteur ait influencé leur manière de répondre.

Enfin, en ce qui concerne le deuxième objectif de ce travail de thèse, les études 1 et 2 ont montré un impact particulier de l'inhibition et du sentiment de familiarité sur la DMC dans le vieillissement normal. Alors que l'inhibition permettrait de faire abstraction des informations non pertinentes pour la prise de décision, le sentiment de familiarité connaîtrait le double avantage d'être moins coûteux à utiliser et plus généralisable que la récollection. L'étude 3, quant à elle, a montré une implication de l'inhibition sur les performances à l'IGT des adultes âgés contrôles comme des patients atteints de la MA, ainsi qu'une implication de la flexibilité mentale, de la mise à jour et de la MT sur les réponses à la tâche de scénarios sous risque, toujours pour les deux groupes. De façon intéressante, bien que nous ayons nuancé le modèle de Schiebener et Brand (2015) pour la prise de décision sous ambiguïté, ces résultats l'appuient en partie, puisque les auteurs accordent une importance particulière à l'influence des fonctions cognitives sur la prise de décisions sous risque.

Références

- Agustí, A. I., Satorres, E., Pitarque, A., & Meléndez, J. C. (2017). An emotional Stroop task with faces and words. A comparison of young and older adults. *Consciousness and Cognition*, 53, 99-104. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.06.010>
- Akbari, O., & Sahibzada, J. (2020). Students' Self-Confidence and Its Impacts on Their Learning Process. *American International Journal of Social Science Research*, 5(1), Art. 1. <https://doi.org/10.46281/aijssr.v5i1.462>
- Alameda-Bailen, J. R., Salguero-Alcaniz, M. P., Merchan-Clavellino, A., & Paino-Quesada, S. (2017). Cognitive Mechanisms in Decision-Making in Patients With Mild Alzheimer Disease. *Current Alzheimer Research*, 14(12), 1248-1255. <https://doi.org/10.2174/1567205014666170417113834>
- Amer, T., Campbell, K. L., & Hasher, L. (2016). Cognitive Control As a Double-Edged Sword. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(12), 905-915. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.10.002>
- Amieva, H., Lafont, S., Auriacombe, S., Carret, N. L., Dartigues, J.-F., Orgogozo, J.-M., & Fabrigoule, C. (2002). Inhibitory Breakdown and Dementia of the Alzheimer Type : A General Phenomenon? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(4), 503-516. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.4.503.1034>
- Amieva, H., Lafont, S., Auriacombe, S., Rainville, C., Orgogozo, J.-M., Dartigues, J.-F., & Fabrigoule, C. (1998). Analysis of Error Types in the Trail Making Test Evidences an Inhibitory Deficit in Dementia of the Alzheimer Type. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20(2), 280-285. <https://doi.org/10.1076/jcen.20.2.280.1161>
- Amieva, H., Phillips, L. H., Della Sala, S., & Henry, J. D. (2004). Inhibitory functioning in Alzheimer's disease. *Brain*, 127(5), 949-964. <https://doi.org/10.1093/brain/awh045>
- Anderson, N. D., Ebert, P. L., Jennings, J. M., Grady, C. L., Cabeza, R., & Graham, S. J. (2008). Recollection- and familiarity-based memory in healthy aging and amnesic

- mild cognitive impairment. *Neuropsychology*, 22(2), 177-187.
<https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.2.177>
- Angioletti, L., Campanella, S., & Balconi, M. (2020). Metacognition deficits and impulsivity in Parkinson's Disease patients with and without gambling behavior : A pilot study. *Neurology, Psychiatry and Brain Research*, 36, 88-95.
<https://doi.org/10.1016/j.npbr.2020.04.002>
- Anstey, K. J., & Low, L. F. (2004). Normal cognitive changes in aging. *Australian Family Physician*, 33(10). <https://doi.org/10.3316/informit.371473582807630>
- Apostolova, L. G. (2016). Alzheimer Disease. *Continuum : Lifelong Learning in Neurology*, 22(2 Dementia), 419-434. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000307>
- Arenberg, D. (1976). The Effects of Input Condition on Free Recall in Young and Old Adults1. *Journal of Gerontology*, 31(5), 551-555.
<https://doi.org/10.1093/geronj/31.5.551>
- Attens, J., Walker, L., & Jellinger, K. A. (2015). Olfaction and Aging : A Mini-Review. *Gerontology*, 61(6), 485-490. <https://doi.org/10.1159/000381619>
- Baillon, A., & L'Haridon, O. (2016). La décision en ambiguïté : Modèles et évaluations expérimentales. *L'Actualité économique*, 92(1-2), 81.
<https://doi.org/10.7202/1039873ar>
- Balconi, M., Angioletti, L., Siri, C., Meucci, N., & Pezzoli, G. (2018). Gambling behavior in Parkinson's Disease : Impulsivity, reward mechanism and cortical brain oscillations. *Psychiatry Research*, 270, 974-980. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.03.041>
- Barbe, C., Morrone, I., Wolak-Thierry, A., Dramé, M., Jolly, D., Novella, J.-L., & Mahmoudi, R. (2017). Impact of functional alterations on quality of life in patients with Alzheimer's disease. *Aging & Mental Health*, 21(5), 571-576.
<https://doi.org/10.1080/13607863.2015.1132674>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83-100. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83>

- Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As Time Goes By : Temporal Constraints in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 21(6), 413-419. <https://doi.org/10.1177/0963721412459513>
- Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working memory. *Psychological Review*, 118(2), 175-192. <https://doi.org/10.1037/a0022324>
- Bassett, S. S., & Folstein, M. F. (1993). Memory Complaint, Memory Performance, and Psychiatric Diagnosis : A Community Study. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 6(2), 105-111. <https://doi.org/10.1177/089198879300600207>
- Bastin, C., & Van der Linden, M. (2003). The contribution of recollection and familiarity to recognition memory : A study of the effects of test format and aging. *Neuropsychology*, 17(1), 14-24. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.1.14>
- Bauer, E., Sammer, G., & Toepper, M. (2018). Performance Level and Cortical Atrophy Modulate the Neural Response to Increasing Working Memory Load in Younger and Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 265. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2018.00265>
- Bayard, S., Erkes, J., Moroni, C., & Guerdoux, E. (2009). Victoria Stroop Test : Normative Data in a Sample Group of Older People and the Study of Their Clinical Applications in the Assessment of Inhibition in Alzheimer's Disease. *Archives of clinical neuropsychology : the official journal of the National Academy of Neuropsychologists*, 26, 653-661. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr053>
- Bayard, S., Jacus, J.-P., Raffard, S., & Gely-Nargeot, M.-C. (2014). Apathy and Emotion-Based Decision-Making in Amnesic Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *Behavioural Neurology*, 2014, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2014/231469>
- Bayard, S., Jacus, J.-P., Raffard, S., & Gély-Nargeot, M.-C. (2015). Conscious Knowledge and Decision Making Under Ambiguity in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer Disease. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 29(4), 357-359. <https://doi.org/10.1097/WAD.0000000000000061>
- Bechara, A. (2000). Emotion, Decision Making and the Orbitofrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295-307. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.3.295>

- Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis : A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336-372. <https://doi.org/10.1016/j.geb.2004.06.010>
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1-3), 7-15.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding Advantageously Before Knowing the Advantageous Strategy. *Science*, 5304(275), 1293-1295.
- Belleville, S., Bherer, L., Lepage, É., Chertkow, H., & Gauthier, S. (2008). Task switching capacities in persons with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 46(8), 2225-2233. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.012>
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00097-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00097-6)
- Belleville, S., Rouleau, N., van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Effect of Manipulation and Irrelevant noise on Working Memory Capacity of Patients with Alzheimer's Dementia. *Neuropsychology*, 17(1), 69.
- Berry, D. T. R., & Carpenter, G. S. (1992). Effect of four different delay periods on recall of the Rey-Osterrieth complex figure by older persons. *Clinical Neuropsychologist*, 6(1), 80-84. <https://doi.org/10.1080/13854049208404119>
- Bertoux, M., de Souza, L. C., Zamith, P., Dubois, B., & Bourgeois-Gironde, S. (2015). Discounting of Future Rewards in Behavioural Variant Frontotemporal Dementia & Alzheimer's Disease. *Neuropsychology*, 29(6), 933.
- Bherer, L., Belleville, S., & Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence frontotemporale. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, 2(3), 181-189
- Bondi, M. W., Serody, A. B., Chan, A. S., Ebersson-Shumate, S. C., Delis, D. C., Hansen, L. A., & Salmon, D. P. (2002). Cognitive and neuropathologic correlates of Stroop Color-Word Test performance in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 16(3), 335-343. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.16.3.335>

- Bopp, K., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and Verbal Memory Span: A Meta-Analysis. *The Journals of Gerontology: Series B, Oxford Academic*, 60(5), 223-233. <https://doi.org/10.1093/geronb/60.5.P223>
- Bopp, K., & Verhaeghen, P. (2018). Aging and n-Back Performance : A Meta-Analysis. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 75(2), 229-240. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby024>
- Bouazzaoui, B., Angel, L., Sacher, M., Fay, S., Alibrán, E., Pylouster, J., Gautier, R., & Tacconnat, L. (2022). The age-related effect on electrophysiological correlates of successful episodic memory encoding supports the hypothesis of a deficit in self-initiated encoding processes in aging. *Neuroscience Letters*, 781, 136-676. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2022.136676>
- Bouccara, D., Ferrary, E., Mosnier, I., Bozorg Grayeli, A., & Sterkers, O. (2005). Presbycusis. *EMC - Oto-rhino-laryngologie*, 2(4), 329-342. <https://doi.org/10.1016/j.emcorl.2005.09.004>
- Bourassa, K. J., Memel, M., Woolverton, C., & Sbarra, D. A. (2015). A dyadic approach to health, cognition, and quality of life in aging adults. *Psychology and Aging*, 30(2), 449-461. <https://doi.org/10.1037/pag0000025>
- Boyle, P. A., Yu, L., Wilson, R. S., Gamble, K., Buchman, A. S., & Bennett, D. A. (2012). Poor Decision Making Is a Consequence of Cognitive Decline among Older Persons without Alzheimer's Disease or Mild Cognitive Impairment. *PLoS ONE*, 7(8), e43647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043647>
- Braak, H., & Braak, E. (1991). Neuropathological staging of Alzheimer-related changes. *Acta Neuropathologica*, 82(4), 239-259. <https://doi.org/10.1007/BF00308809>
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks*, 19(8), 1266-1276. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2006.03.001>
- Brand, M., Laier, C., Pawlikowski, M., & Markowitsch, H. J. (2009). Decision making with and without feedback : The role of intelligence, strategies, executive functions, and cognitive styles. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 31(8), 984-998. <https://doi.org/10.1080/13803390902776860>

- Brand, M., & Markowitsch, H. J. (2010). Aging and Decision-Making : A Neurocognitive Perspective. *Gerontology*, *56*(3), 319-324. <https://doi.org/10.1159/000248829>
- Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F., & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk : Correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *29*(1), 86-99. <https://doi.org/10.1080/13803390500507196>
- Brand, M., & Schiebener, J. (2013). Interactions of age and cognitive functions in predicting decision making under risky conditions over the life span. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *35*(1), 9-23. <https://doi.org/10.1080/13803395.2012.740000>
- Brand, M., Schiebener, J., Pertl, M.-T., & Delazer, M. (2014). Know the risk, take the win : How executive functions and probability processing influence advantageous decision making under risk conditions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *36*(9), 914-929. <https://doi.org/10.1080/13803395.2014.955783>
- Brandtstädter, J., & Greve, W. (1994). The Aging Self: Stabilizing and Protective Processes. *Developmental Review*, *14*(1), 52-80. <https://doi.org/10.1006/drev.1994.1003>
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual-mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(2), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Brydges, C. R., Clunies-Ross, K., Clohessy, M., Lo, Z. L., Nguyen, A., Rousset, C., Whitelaw, P., Yeap, Y. J., & Fox, A. M. (2012). Dissociable Components of Cognitive Control : An Event-Related Potential (ERP) Study of Response Inhibition and Interference Suppression. *PLOS ONE*, *7*(3), 1-5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034482>
- Budson, A. E., Wolk, D. A., Chong, H., & Waring, J. D. (2006). Episodic memory in Alzheimer's disease: Separating response bias from discrimination. *Neuropsychologia*, *44*(12), 2222-2232.
- Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct Validity of the Iowa Gambling Task. *Neuropsychology Review*, *19*(1), 102-114. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9083-4>

- Bullmore, E., & Sporns, O. (2012). The economy of brain network organization. *Nature Reviews Neuroscience*, *13*(5), 336-349. <https://doi.org/10.1038/nrn3214>
- Burgio, F., Delazer, M., Meneghello, F., Pertl, M.-T., Semenza, C., & Zamarian, L. (2018). Cognitive Training Improves Ratio Processing and Decision Making in Patients with Mild Cognitive Impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, *64*(4), 1213-1226. <https://doi.org/10.3233/JAD-180461>
- Cabantous, L., & Hilton, D. (2006). De l'aversion à l'ambiguïté aux attitudes face à l'ambiguïté : Les apports d'une perspective psychologique en économie. *Revue économique*, *57*(2), 259. <https://doi.org/10.3917/reco.572.0259>
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults : The HAROLD model. *Psychology and Aging*, *17*(1), 85-100. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.1.85>
- Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., & Nyberg, L. (2004). Task-independent and Task-specific Age Effects on Brain Activity during Working Memory, Visual Attention and Episodic Retrieval. *Cerebral Cortex*, *14*(4), 364-375. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhg133>
- Cadet, B., & Chasseigne, G. (2009). *Psychologie du jugement et de la décision : Des modèles aux applications*. Armando Editore.
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). Le développement de la mémoire de travail : Perspectives dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources. *Psychologie Française*, *59*(1), 21-39. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2012.12.003>
- Campbell, K. L., Lustig, C., & Hasher, L. (2020). Aging and inhibition : Introduction to the special issue. *Psychology and Aging*, *35*(5), 605. <https://doi.org/10.1037/pag0000564>
- Campos, A. C. V., e Ferreira, E. F., Vargas, A. M. D., & Albala, C. (2014). Aging, Gender and Quality of Life (AGEQOL) study : Factors associated with good quality of life in older Brazilian community-dwelling adults. *Health and Quality of Life Outcomes*, *12*(1), 166. <https://doi.org/10.1186/s12955-014-0166-4>
- Cano-López, I., Cano-López, B., Hidalgo, V., & González-Bono, E. (2016). Effects of Acute Stress on Decision Making under Ambiguous and Risky Conditions in Healthy Young Men. *The Spanish Journal of Psychology*, *19*. <https://doi.org/10.1017/sjp.2016.57>

- Carabellese, F., Felthous, A. R., La Tegola, D., Piazzolla, G., Distaso, S., Logroscino, G., Leo, A., Ventriglio, A., & Catanesi, R. (2018). Qualitative analysis of the capacity to consent to treatment in patients with a chronic neurodegenerative disease: Alzheimer's disease / Analisi qualitativa sulla capacità a prestare consenso al trattamento in pazienti con malattie cronico degenerative neuropsicoorganiche: Demenza di Alzheimer. *International Journal of Social Psychiatry*, *64*(1), 26-36. <https://doi.org/10.1177/0020764017739642>
- Carstensen, L. L., Fung, H. H., & Charles, S. T. (2003). Socioemotional Selectivity Theory and the Regulation of Emotion in the Second Half of Life. *Motivation and Emotion*, *27*(2), 103-123. <https://doi.org/10.1023/A:1024569803230>
- Carstensen, L. L., Isaacowitz, D. M., & Charles, S. T. (1999). Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *American Psychologist*, *54*(3), 165-181. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.3.165>
- Cassotti, M., Habib, M., Poirel, N., Aïte, A., Houdé, O., & Moutier, S. (2012). Positive Emotional Context Eliminates the Framing Effect in Decision-Making. *Emotion*, *12*, 926-931. <https://doi.org/10.1037/a0026788>
- Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working Memory From the Psychological and Neurosciences Perspectives : A Review. *Frontiers in Psychology*, *9*. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.00401>
- Chainay, H., & Gaubert, F. (2020). Affective and cognitive theory of mind in Alzheimer's disease: The role of executive functions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *42*(4), 371-386. <https://doi.org/10.1080/13803395.2020.1726293>
- Charles, S. T., Mather, M., & Carstensen, L. L. (2003). Aging and emotional memory: The forgettable nature of negative images for older adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*(2), 310-324. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.2.310>
- Cheitlin, M. (2003). Cardiovascular Physiology: Changes With Aging. *The American journal of geriatric cardiology*, *12*, 9-13. <https://doi.org/10.1111/j.1076-7460.2003.01751.x>
- Chen, P.-Y., Chen, C.-L., Hsu, Y.-C., & Tseng, W.-Y. I. (2020). Fluid intelligence is associated with cortical volume and white matter tract integrity within multiple-demand system across adult lifespan. *NeuroImage*, *212*, 116576. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116576>

- Clarys, D., Bugajska, A., Tapia, G., & Alexia Baudouin, and. (2009). Ageing, remembering, and executive function. *Memory*, *17*(2), 158-168. <https://doi.org/10.1080/09658210802188301>
- Cooper, P. J. (1990). Differences in accident characteristics among elderly drivers and between elderly and middle-aged drivers. *Accident Analysis & Prevention*, *22*(5), 499-508. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(90\)90044-L](https://doi.org/10.1016/0001-4575(90)90044-L)
- Craik, F. I. M., & McDowd, J. M. (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*(3), 474-479. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.3.474>
- Criss, A. H., Aue, W., & Kılıç, A. (2014). Age and response bias : Evidence from the strength-based mirror effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(10), 1910-1924. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.874037>
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). Executive functions. *Handbook of clinical neurology*, *163*, 197-219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Cumming, T. B., Brodtmann, A., Darby, D., & Bernhardt, J. (2014). The importance of cognition to quality of life after stroke. *Journal of Psychosomatic Research*, *77*(5), 374-379. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2014.08.009>
- Damoiseaux, J. S., Viviano, R. P., Yuan, P., & Raz, N. (2016). Differential effect of age on posterior and anterior hippocampal functional connectivity. *NeuroImage*, *133*, 468-476. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.047>
- Danckert, S., & Craik, F. (2013). Does Aging Affect Recall More Than Recognition Memory? *Psychology and aging*, *28*(4), 909. <https://doi.org/10.1037/a0033263>
- Davis, R. L., & Ohman, J. M. (2016). Driving in Early-Stage Alzheimer's Disease : An Integrative Review of the Literature. *Research in Gerontological Nursing*, *10*(2), 86-100. <https://doi.org/10.3928/19404921-20160920-02>
- Davis, R., Ziomkowski, M., & Veltkamp, A. (2017). Everyday Decision Making in Individuals with Early-Stage Alzheimer's Disease : An Integrative Review of the Literature. *Research in Gerontological Nursing*, *10*(5), 240-247. <https://doi.org/10.3928/19404921-20170831-05>

- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Qué PASA? The Posterior–Anterior Shift in Aging. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1201-1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>
- Dawson, J. D., Anderson, S. W., Uc, E. Y., Dastrup, E., & Rizzo, M. (2009). Predictors of driving safety in early Alzheimer disease. *Neurology*, *72*(6), 521-527. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000341931.35870.49>
- De Luca, R., & Botelho, D. (2020). Olfactory priming on consumer categorization, recall, and choice. *Psychology & Marketing*, *37*(8), 1101-1117. <https://doi.org/10.1002/mar.21342>
- Deakin, J., Aitken, M., Robbins, T., & Sahakian, B. J. (2004). Risk taking during decision-making in normal volunteers changes with age. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *10*(4), 590-598. <https://doi.org/10.1017/S1355617704104104>
- Delazer, M., Kemmler, G., & Benke, T. (2013). Health numeracy and cognitive decline in advanced age. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *20*(6), 639-659. <https://doi.org/10.1080/13825585.2012.750261>
- Delazer, M., Sinz, H., Zamarian, L., & Benke, T. (2007). Decision-making with explicit and stable rules in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1632-1641. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.006>
- Denburg, N. L., Cole, C. A., Hernandez, M., Yamada, T. H., Tranel, D., Bechara, A., & Wallace, R. B. (2007). The Orbitofrontal Cortex, Real-World Decision Making, and Normal Aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1121*(1), 480-498. <https://doi.org/10.1196/annals.1401.031>
- Denburg, N. L., Tranel, D., & Bechara, A. (2005). The ability to decide advantageously declines prematurely in some normal older persons. *Neuropsychologia*, *43*(7), 1099-1106. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.09.012>
- de Oliveira, L. da S. S. C. B., Souza, E. C., Rodrigues, R. A. S., Fett, C. A., & Piva, A. B. (2019). The effects of physical activity on anxiety, depression, and quality of life in elderly people living in the community. *Trends in Psychiatry and Psychotherapy*, *41*, 36-42. <https://doi.org/10.1590/2237-6089-2017-0129>

- Desgranges, B., Kalpouzos, G., & Eustache, F. (2008). Imagerie cérébrale du vieillissement normal : Contraste avec la maladie d'Alzheimer. *Revue Neurologique*, *164*, 102-107. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73299-5](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73299-5)
- de Siqueira, A. S. S., Yokomizo, J. E., Jacob-Filho, W., Yassuda, M. S., & Arahamian, I. (2017). Review of Decision-Making in Game Tasks in Elderly Participants with Alzheimer Disease and Mild Cognitive Impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *43*(1-2), 81-88. <https://doi.org/10.1159/000455120>
- de Souza, I. L., & Sarazin, M. (2015). Marqueurs biologiques de la maladie d'Alzheimer. In Léger, J-M & Mas J-l, *Démences* (168-172), Doin.
- Dias, B. F., Bicalho, M. A. C., Costa, M. V., de Ávila, R. T., Malloy-Diniz, L. F., Romano-Silva, M. A., & de Paula, J. J. (2021). Episodic memory in normal and pathological aging at the RAVLT Test : Comparisons of immediate and delayed recall. *Psychology & Neuroscience*, *14*(4), 388-395. <https://doi.org/10.1037/pne0000263>
- Diehl, M., Marsiske, M., Horgas, A. L., Rosenberg, A., Saczynski, J. S., & Willis, S. L. (2005). The Revised Observed Tasks of Daily Living : A Performance-Based Assessment of Everyday Problem Solving in Older Adults. *Journal of Applied Gerontology*, *24*(3), 211-230. <https://doi.org/10.1177/0733464804273772>
- Dijksterhuis, A. (2004). Think different : The merits of unconscious thought in preference development and decision making. *Journal of Personality and Social Psychology*, *87*(5), 586-598.
- Dimmock, S. G., Kouwenberg, R., Mitchell, O. S., & Peijnenburg, K. (2015). Estimating ambiguity preferences and perceptions in multiple prior models : Evidence from the field. *Journal of Risk and Uncertainty*, *51*(3), 219-244. <https://doi.org/10.1007/s11166-015-9227-2>
- Dixon, M. L., Thiruchselvam, R., Todd, R., & Christoff, K. (2017). Emotion and the prefrontal cortex : An integrative review. *Psychological Bulletin*, *143*(10), 1033-1081. <https://doi.org/10.1037/bul0000096>
- Dobbs, A. R., & Rule, B. G. (1989). Adult age differences in working memory. *Psychology and Aging*, *4*(4), 500-503. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.4.500>

- Dommes, A., Wu, Y.-H., Aquino, J.-P., Pitti-Ferrandi, H., Soleille, M., Martineau-Fleury, S., Samson, M., & Rigaud, A.-S. (2015). Is Mild Dementia Related to Unsafe Street-Crossing Decisions?. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 29(4), 294-300. <https://doi.org/10.1097/WAD.0000000000000074>
- Drolet, A., Jiang, L., Pour Mohammad, A., & Davis, C. (2019). The influence of aging on consumer decision-making. *Consumer Psychology Review*, 2(1), 3-16. <https://doi.org/10.1002/arcp.1046>
- Dror, I. E., Katona, M., & Mungur, K. (1998). Age Differences in Decision Making : To Take a Risk or Not? *Gerontology*, 44(2), 67-71. <https://doi.org/10.1159/000021986>
- Dubois, B., Feldman, H. H., Jacova, C., Cummings, J. L., DeKosky, S. T., Barberger-Gateau, P., Delacourte, A., Frisoni, G., Fox, N. C., Galasko, D., Gauthier, S., Hampel, H., Jicha, G. A., Meguro, K., O'Brien, J., Pasquier, F., Robert, P., Rossor, M., Salloway, S., Scheltens, P. (2010). Revising the definition of Alzheimer's disease : A new lexicon. *The Lancet Neurology*, 9(11), 1118-1127. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70223-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70223-4)
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., & Pillon, B. (2000). The FAB : A frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621-1626. <https://doi.org/10.1212/WNL.55.11.1621>
- Dubois, B., Touchon, J., Portet, F., Ousset, P.-J., Vellas, B., & Michel, B. (2002). Les 5 mots, épreuve simple et sensible pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer. *La Presse Médicale*, 31(36), 1696-1699.
- Dubois, B., Villain, N., Frisoni, G. B., Rabinovici, G. D., Sabbagh, M., Cappa, S., Bejanin, A., Bombois, S., Epelbaum, S., Teichmann, M., Habert, M.-O., Nordberg, A., Blennow, K., Galasko, D., Stern, Y., Rowe, C. C., Salloway, S., Schneider, L. S., Cummings, J. L., & Feldman, H. H. (2021). Clinical diagnosis of Alzheimer's disease : Recommendations of the International Working Group. *The Lancet Neurology*, 20(6), 484-496. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00066-1)
- Dudley-Javoroski, S., Lee, J., & Shields, R. K. (2020). Cognitive function, quality of life, and aging : Relationships in individuals with and without spinal cord injury. *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(1), 36-45. <https://doi.org/10.1080/09593985.2020.1712755>

- Ebner, N. C., Freund, A. M., & Baltes, P. B. (2006). Developmental changes in personal goal orientation from young to late adulthood : From striving for gains to maintenance and prevention of losses. *Psychology and Aging, 21*(4), 664-678. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.4.664>
- Edwards, K. D. (1996). Prospect theory : A literature review. *International Review of Financial Analysis, 5*(1), 19-38. [https://doi.org/10.1016/S1057-5219\(96\)90004-6](https://doi.org/10.1016/S1057-5219(96)90004-6)
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin, 51*(4), 380.
- Eeckhoudt, L. (2001). Espérance d'utilité et nouveaux modèles de choix dans le risque : Une connivence cachée. *L'Actualité économique, 77*(4), 499. <https://doi.org/10.7202/602362ar>
- Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *The Quarterly Journal of Economics, 75*(4), 643-669. <https://doi.org/10.2307/1884324>
- Erb, C. D., Touron, D. R., & Marcovitch, S. (2020). Tracking the dynamics of global and competitive inhibition in early and late adulthood : Evidence from the flanker task. *Psychology and Aging, 35*(5), 729-743. <https://doi.org/10.1037/pag0000435>
- Ergis, A.-M., & Eusop-Roussel, E. (2008). Les troubles précoces de la mémoire épisodique dans la maladie d'Alzheimer. *Revue Neurologique, 164*, 96-101. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(08\)73298-3](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(08)73298-3)
- Eustache, F., Giffard, B., Rauchs, G., Chételat, G., Piolino, P., & Desgranges, B. (2006). La maladie d'Alzheimer et la mémoire humaine. *Revue Neurologique, 162*(10), 929-939. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(06\)75102-5](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(06)75102-5)
- Fang, C.-W., Lin, C.-H., Liu, Y.-C., & Ou, Y.-K. (2018). Differences in road-crossing decisions between healthy older adults and patients with Alzheimer's disease. *Journal of Safety Research, 66*, 81-88. . <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.06.003>
- Fein, G., McGillivray, S., & Finn, P. (2007). Older adults make less advantageous decisions than younger adults : Cognitive and psychological correlates. *Journal of the International Neuropsychological Society, 13*(03), 480-489. . <https://doi.org/10.1017/S135561770707052X>

- Finucane, M. L., & Lees, N. (2005). Decision-making competence of older adults : Models and methods. *In National Council Workshop on Decision Making by Older Adults, Washington DC., 46.*
- Finucane, M. L., Slovic, P., Hibbard, J. H., Peters, E., Mertz, C. K., & MacGregor, D. G. (2002). Aging and decision-making competence : An analysis of comprehension and consistency skills in older versus younger adults considering health-plan options. *Journal of Behavioral Decision Making, 15(2), 141-164.* <https://doi.org/10.1002/bdm.407>
- Fletcher, E., Gavett, B., Harvey, D., Farias, S. T., Olichney, J., Beckett, L., DeCarli, C., & Mungas, D. (2018). Brain volume change and cognitive trajectories in aging. *Neuropsychology, 32, 436-449.* <https://doi.org/10.1037/neu0000447>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". *Journal of Psychiatric Research, 12(3), 189-198.* [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Fournet, N., Mosca, C., & Moreaud, O. (2007). Déficits des processus inhibiteurs dans le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer. *Psychologie & Neuro-Psychiatrie du Vieillessement, 5(4), 281-294.*
- Fournet, N., Roulin, J.-L., Vallet, F., Beaudoin, M., Agrigoroaei, S., Paignon, A., Dantzer, C., & Desrichard, O. (2012). Evaluating short-term and working memory in older adults : French normative data. *Aging & Mental Health, 16(7), 922-930.* <https://doi.org/10.1080/13607863.2012.674487>
- Fraga, F. J., Mamani, G. Q., Johns, E., Tavares, G., Falk, T. H., & Phillips, N. A. (2018). Early diagnosis of mild cognitive impairment and Alzheimer's with event-related potentials and event-related desynchronization in N-back working memory tasks. *Computer Methods and Programs in Biomedicine, 164, 1-13.* <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.06.011>
- François, S., Angel, L., Salmon, E., Bastin, C., & Collette, F. (2018). The effect of ageing on the neural substrates of incidental encoding leading to recollection or familiarity. *Brain and Cognition, 126, 1-12.* <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.07.004>
- Fraudorf, S. H., Hourihan, K. L., Peters, R. A., & Benjamin, A. S. (2019). Aging and recognition memory : A meta-analysis. *Psychological Bulletin, 145(4), 339-371.* <https://doi.org/10.1037/bul0000185>

- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201-225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, *31*(3), 373-385. <https://doi.org/10.1023/A:1024190429920>
- Gagnon, L. G., & Belleville, S. (2011). Working memory in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease : Contribution of forgetting and predictive value of complex span tasks. *Neuropsychology*, *25*(2), 226-236. <https://doi.org/10.1037/a0020919>
- Gajewski, P. D., Falkenstein, M., Thönes, S., & Wascher, E. (2020). Stroop task performance across the lifespan : High cognitive reserve in older age is associated with enhanced proactive and reactive interference control. *NeuroImage*, *207*, 116-430. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116430>
- Gajewski, P. D., Ferdinand, N. K., Kray, J., & Falkenstein, M. (2018). Understanding sources of adult age differences in task switching : Evidence from behavioral and ERP studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *92*, 255-275. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.029>
- Gajewski, P. D., Hanisch, E., Falkenstein, M., Thönes, S., & Wascher, E. (2018). What Does the n-Back Task Measure as We Get Older? Relations Between Working-Memory Measures and Other Cognitive Functions Across the Lifespan. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2208. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.02208>
- Gamble, K., Boyle, P., Yu, L., & Bennett, D. (2015). Aging and Financial Decision Making. *Management science*, *61*(11), 2603-2610. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.2010>
- Gaubert, F., & Chainay, H. (2021). Decision-Making Competence in Patients with Alzheimer's Disease : A Review of the Literature. *Neuropsychology Review*, *31*(2), 267-287. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09472-2>
- Geffen, G. M., Geffen, L., Bishop, K., & Manning, L. (1997). Extended Delayed Recall of Avlt Word Lists : Effects of Age and Sex on Adult Performance. *Australian Journal of Psychology*, *49*(2), 78-84. <https://doi.org/10.1080/00049539708259857>

- Genon, S., Bahri, M. A., Collette, F., Angel, L., d'Argembeau, A., Clarys, D., Kalenzaga, S., Salmon, E., & Bastin, C. (2014). Cognitive and neuroimaging evidence of impaired interaction between self and memory in Alzheimer's disease. *Cortex*, *51*, 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.06.009>
- Gleichgerrcht, E., Ibáñez, A., Roca, M., Torralva, T., & Manes, F. (2010). Decision-making cognition in neurodegenerative diseases. *Nature Reviews Neurology*, *6*(11), 611-623. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2010.148>
- Golden, C. J. (1975). A Group Version of the Stroop Color and Word Test. *Journal of Personality Assessment*, *39*(4), 386-388. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa3904_10
- Gollier, C., Hilton, D., & Raufaste, E. (2003). Daniel Kahneman et l'analyse de la décision face au risque. *Revue d'économie politique*, *113*(3), 295. <https://doi.org/10.3917/redp.133.0295>
- Goodman, M. S., Kumar, S., Zomorodi, R., Ghazala, Z., Cheam, A. S. M., Barr, M. S., Daskalakis, Z. J., Blumberger, D. M., Fischer, C., Flint, A., Mah, L., Herrmann, N., Bowie, C. R., Mulsant, B. H., & Rajji, T. K. (2018). Theta-Gamma Coupling and Working Memory in Alzheimer's Dementia and Mild Cognitive Impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *10*, 101. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2018.00101>
- Gorrie, C. A., Brown, J., & Waite, P. M. E. (2008). Crash characteristics of older pedestrian fatalities: Dementia pathology may be related to 'at risk' traffic situations. *Accident Analysis & Prevention*, *40*(3), 912-919. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.10.006>
- Grady, C., Maisog, J., Horwitz, B., Ungerleider, L., Mentis, M., Salerno, J., Pietrini, P., Wagner, E., & Haxby, J. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *The Journal of Neuroscience*, *14*(3), 1450-1462. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-03-01450.1994>
- Greene, J. D. W., Baddeley, A. D., & Hodges, J. R. (1996). Analysis of the episodic memory deficit in early Alzheimer's disease: Evidence from the doors and people test. *Neuropsychologia*, *34*(6), 537-551. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00151-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00151-4)

- Grisso, T., Appelbaum, P. S., & Hill-Fotouhi, C. (1997). The MacCAT-T : A clinical tool to assess patients' capacities to make treatment decisions. *Psychiatric Services*, *48*(11), 1415-1419. <https://doi.org/10.1176/ps.48.11.1415>
- Gross, J. J. (2014). Emotion regulation : Conceptual and empirical foundations. In Gross, J. J., *Handbook of emotion regulation* (p. 3-20). The Guilford Press.
- Guarino, A., Favieri, F., Boncompagni, I., Agostini, F., Cantone, M., & Casagrande, M. (2019). Executive Functions in Alzheimer Disease : A Systematic Review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *10*, 437. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00437>
- Guillaume, C., Clochon, P., Denise, P., Rauchs, G., Guillery-Girard, B., Eustache, F., & Desgranges, B. (2009). Early age-related changes in episodic memory retrieval as revealed by event-related potentials. *NeuroReport*, *20*(2), 191-196. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32831b44ca>
- Gunning-Dixon, F. M., Brickman, A. M., Cheng, J. C., & Alexopoulos, G. S. (2009). Aging of cerebral white matter : A review of MRI findings. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *24*(2), 109-117. <https://doi.org/10.1002/gps.2087>
- Gupta, R., Duff, M. C., Denburg, N. L., Cohen, N. J., Bechara, A., & Tranel, D. (2009). Declarative memory is critical for sustained advantageous complex decision-making. *Neuropsychologia*, *47*(7), 1686-1693. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.02.007>
- Gurera, J. W., & Isaacowitz, D. M. (2019). Chapter 14 - Emotion regulation and emotion perception in aging : A perspective on age-related differences and similarities. In Srinivasan, N., *Progress in Brain Research* (Vol. 247, p. 329-351). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2019.02.007>
- Gutchess, A. H., Kensinger, E. A., Yoon, C., & Schacter, D. L. (2007). Ageing and the self-reference effect in memory. *Memory*, *15*(8), 822-837. <https://doi.org/10.1080/09658210701701394>
- Gutchess, A. H., Welsh, R. C., Hedden, T., Bangert, A., Minear, M., Liu, L. L., & Park, D. C. (2005). Aging and the Neural Correlates of Successful Picture Encoding : Frontal Activations Compensate for Decreased Medial-Temporal Activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(1), 84-96. <https://doi.org/10.1162/0898929052880048>

- Ha, J., Kim, E.-J., Lim, S., Shin, D.-W., Kang, Y.-J., Bae, S.-M., Yoon, H.-K., & Oh, K.-S. (2012). Altered risk-aversion and risk-taking behaviour in patients with Alzheimer's disease. *Psychogeriatrics*, *12*(3), 151-158. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8301.2011.00396.x>
- Halfmann, K., Hedgcock, W., Bechara, A., & Denburg, N. L. (2014). Functional neuroimaging of the Iowa Gambling Task in older adults. *Neuropsychology*, *28*(6), 870-880. <https://doi.org/10.1037/neu0000120>
- Hamann, J., Bronner, K., Margull, J., Mendel, R., Diehl-Schmid, J., Bühner, M., Klein, R., Schneider, A., Kurz, A., & Pernecky, R. (2011). Patient Participation in Medical and Social Decisions in Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *59*(11), 2045-2052. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2011.03661.x>
- Hanseeuw, B. J., Scott, M. R., Sikkes, S. A. M., Properzi, M., Gatchel, J. R., Salmon, E., Marshall, G. A., Vannini, P., & Initiative, A. D. N. (2020). Evolution of anosognosia in alzheimer's disease and its relationship to amyloid. *Annals of Neurology*, *87*(2), 267-280. <https://doi.org/10.1002/ana.25649>
- Hardy, J. A., & Higgins, G. A. (1992). Alzheimer's disease : The amyloid cascade hypothesis. *Science*, *256*(5054), 184-185.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In Gopher, D. & Koriat, A. *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance : Interaction of theory and application* (p. 653-675). The MIT Press.
- Heckner, M. K., Cieslik, E. C., Eickhoff, S. B., Camilleri, J. A., Hoffstaedter, F., & Langner, R. (2021). The aging brain and executive functions revisited : Implications from meta-analytic and functional-connectivity evidence. *Journal of cognitive neuroscience*, *33*(9), 1716-1752.
- Henry, J. D., Ruffman, T., McDonald, S., O'Leary, M. A. P., Phillips, L. H., Brodaty, H., & Rendell, P. G. (2008). Recognition of disgust is selectively preserved in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *46*(5), 1363-1370. <https://doi.org/doi:10.1016/j.neuropsychologia.2007.12.012>
- Herrup, K. (2015). The case for rejecting the amyloid cascade hypothesis. *Nature Neuroscience*, *18*(6), 6.

- Hess, T. M. (2014). Selective Engagement of Cognitive Resources : Motivational Influences on Older Adults' Cognitive Functioning. *Perspectives on Psychological Science*, 9(4), 388-407. <https://doi.org/10.1177/1745691614527465>
- Hess, T. M., Queen, T. L., & Patterson, T. R. (2012). To deliberate or not to deliberate : Interactions between age, task characteristics, and cognitive activity on decision making. *Journal of Behavioral Decision Making*, 25(1), 29-40. <https://doi.org/10.1002/bdm.711>
- Hess, T., Rosenberg, D., & Waters, S. (2001). Motivation and representation processes in adulthood : The effects of social accountability and information relevance. *Psychology and aging*, 16, 629-642. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.16.4.629>
- Hirschman, K. B., Joyce, C. M., James, B. D., Xie, S. X., & Karlawish, J. H. T. (2005). Do Alzheimer's Disease Patients Want to Participate in a Treatment Decision, and Would Their Caregivers Let Them? *The Gerontologist*, 45(3), 381-388. <https://doi.org/10.1093/geront/45.3.381>
- Hirschman, K. B., Xie, S. X., Feudtner, C., & Karlawish, J. H. T. (2004). How Does an Alzheimer's Disease Patient's Role in Medical Decision Making Change Over Time? *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 17(2), 55-60. <https://doi.org/10.1177/0891988704264540>
- Ho, M.-H., Chang, H.-C. (Rita), Liu, M. F., Chien, H.-W., Tang, L.-Y., Chan, S.-Y., Liu, S.-H., John, S., & Traynor, V. (2021). Decision-Making in People With Dementia or Mild Cognitive Impairment : A Narrative Review of Decision-Making Tools. *Journal of the American Medical Directors Association*, 22(10), 2056-2062. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2021.06.034>
- Hot, P., Ramdeen, K. T., Borg, C., Bollon, T., & Couturier, P. (2014). Impaired Decision Making in Alzheimer's Disease : A Deficit of Cognitive Strategy Selection? *Clinical Psychological Science*, 2(3), 328-335. <https://doi.org/10.1177/2167702613504094>
- Hu, S., Ide, J. S., Chao, H. H., Castagna, B., Fischer, K. A., Zhang, S., & Li, C. R. (2018). Structural and functional cerebral bases of diminished inhibitory control during healthy aging. *Human Brain Mapping*, 39(12), 5085-5096. <https://doi.org/10.1002/hbm.24347>

- Huang, S.-F., Liu, C.-K., Chang, C.-C., & Su, C.-Y. (2017). Sensitivity and specificity of executive function tests for Alzheimer's disease. *Applied Neuropsychology: Adult*, *24*(6), 493-504. <https://doi.org/10.1080/23279095.2016.1204301>
- Huff, M. J., Balota, D. A., Minear, M., Aschenbrenner, A. J., & Duchek, J. M. (2015). Dissociative Global and Local Task-Switching Costs Across Younger Adults, Middle-Aged Adults, Older Adults, and Very Mild Alzheimer Disease Individuals. *Psychology and aging*, *30*(4), 727-739. <https://doi.org/10.1037/pag0000057>
- Ingrand, I., Paccalin, M., Liuu, E., Gil, R., & Ingrand, P. (2018). Positive perception of aging is a key predictor of quality-of-life in aging people. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204044>
- Isaacowitz, D. M., Wadlinger, H. A., Goren, D., & Wilson, H. R. (2006). Is there an age-related positivity effect in visual attention? *A comparison of two methodologies. Emotion*, *6*(3), 511-516. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.3.511>
- Isingrini, M., & Tacconat, L. (2008). Episodic memory, frontal functioning, and aging. *Revue neurologique*, *164*(3), 91-5.
- Jacus, J.-P., Bayard, S., Raffard, S., Bonnoron, S., & Gély-Nargeot, M.-C. (2012). Decision-making in normal and pathological aging. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, *10*(4), 437-444. <https://doi.org/10.1684/pnv.2012.0371>
- Jacus, J.-P., Bayard, S., Raffard, S., & Gély-Nargeot, M.-C. (2012). Prise de décision dans le vieillissement normal et pathologique. *Revue de neuropsychologie*, *5*(2), 93. <https://doi.org/10.3917/rne.052.0093>
- Jacus, J.-P., Gély-Nargeot, M.-C., & Bayard, S. (2018). Ecological relevance of the Iowa gambling task in patients with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Revue Neurologique*, *174*(5), 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2017.08.003>
- Jasper, J. D., Bhattacharya, C., Levin, I. P., Jones, L., & Bossard, E. (2013). Numeracy as a Predictor of Adaptive Risky Decision Making: Numeracy and Risky Decision Making. *Journal of Behavioral Decision Making*, *26*(2), 164-173. <https://doi.org/10.1002/bdm.1748>
- Joannette, M., Bocti, C., Dupont, P. S., Lavallée, M. M., Nikelski, J., Vallet, G. T., Chertkow, H., & Joubert, S. (2019). Education as a Moderator of the Relationship Between

- Episodic Memory and Amyloid Load in Normal Aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 75(10), 1820-1826. <https://doi.org/10.1093/gerona/glz235>
- Johnson, D. A., Frank, O., Pond, D., & Stocks, N. (2013). Older people with mild cognitive impairment : Their views about assessing driving safety. *Australian Family Physician*, 42(5), 317-320. <https://doi.org/10.3316/informit.300198355955736>
- Johnson, M. M. S. (1990). Age Differences in Decision Making : A Process Methodology for Examining Strategic Information Processing. *Journal of Gerontology*, 45(2), 75-78. <https://doi.org/10.1093/geronj/45.2.P75>
- Joubert, C., Davidson, P. S. R., & Chainay, H. (2018). When Do Older Adults Show a Positivity Effect in Emotional Memory? *Experimental Aging Research*, 44(5), 455-468. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2018.1521498>
- Kadwe, P. P., Sklenar, A. M., Frankenstein, A. N., Levy, P. U., & Leshikar, E. D. (2022). The influence of memory on approach and avoidance decisions : Investigating the role of episodic memory in social decision making. *Cognition*, 225, 105072. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105072>
- Kahneman, D., & Frederick, S. (2007). Frames and brains : Elicitation and control of response tendencies. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(2), 45-46. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.11.007>
- Kalbe, E., Salmon, E., Perani, D., Holthoff, V., Sorbi, S., Elsner, A., Weisenbach, S., Brand, M., Lenz, O., Kessler, J., Luedecke, S., Ortelli, P., & Herholz, K. (2005). Anosognosia in Very Mild Alzheimer's Disease but Not in Mild Cognitive Impairment. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 19(5-6), 349-356. <https://doi.org/10.1159/000084704>
- Kalpouzos, G., Chételat, G., Landeau, B., Clochon, P., Viader, F., Eustache, F., & Desgranges, B. (2009). Structural and Metabolic Correlates of Episodic Memory in Relation to the Depth of Encoding in Normal Aging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(2), 372-389. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21027>
- Karlawish, J. (2008). Measuring Decision-Making Capacity in Cognitively Impaired Individuals. *Neurosignals*, 16(1), 91-98. <https://doi.org/10.1159/000109763>

- Karlawish, J. H. T., Casarett, D. J., James, B. D., Bioethics, M., Xie, S. X., & Kim, S. Y. H. (2005). The ability of persons with Alzheimer. *Neurology*, *64*(9), 1514-1519. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000160000.01742.9D>
- Katz, J. A., Karpecki, P. M., Dorca, A., Chiva-Razavi, S., Floyd, H., Barnes, E., Wuttke, M., & Donnenfeld, E. (2021). Presbyopia – A Review of Current Treatment Options and Emerging Therapies. *Clinical Ophthalmology*, *15*, 2167-2178. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S259011>
- Kensinger, E. A., Shearer, D. K., Locascio, J. J., Growdon, J. H., & Corkin, S. (2003). Working memory in mild Alzheimer's disease and early Parkinson's disease. *Neuropsychology*, *17*(2), 230-239. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.2.230>
- Kim, S., Goldstein, D., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2005). Framing Effects in Younger and Older Adults. *The Journals of Gerontology: Series B*, *60*(4), 215-218. <https://doi.org/10.1093/geronb/60.4.P215>
- Kim, S. Y. H., Karlawish, J. H. T., & Caine, E. D. (2002). Current State of Research on Decision-Making Competence of Cognitively Impaired Elderly Persons. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *10*(2), 151-165.
- Kirova, A.-M., Bays, R. B., & Lagalwar, S. (2015). Working Memory and Executive Function Decline across Normal Aging, Mild Cognitive Impairment, and Alzheimer's Disease. *BioMed Research International*, *2015*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/748212>
- Kloeters, S., Bertoux, M., O'Callaghan, C., Hodges, J. R., & Hornberger, M. (2013). Money for nothing—Atrophy correlates of gambling decision making in behavioural variant frontotemporal dementia and Alzheimer's disease. *NeuroImage: Clinical*, *2*, 263-272. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.01.011>
- Kokorelias, K. M., Gignac, M. A., Naglie, G., Rittenberg, N., & Cameron, J. I. (2022). Caregivers' decision-making for health service utilisation across the Alzheimer's disease trajectory. *Health & Social Care in the Community*, *30*(4), 1344-1352.
- Korkki, S. M., Richter, F. R., Jeyarathnarajah, P., & Simons, J. S. (2020). Healthy ageing reduces the precision of episodic memory retrieval. *Psychology and Aging*, *35*(1), 124.

- Kramer, A. F., Hahn, S., & Gopher, D. (1999). Task coordination and aging : Explorations of executive control processes in the task switching paradigm. *Acta Psychologica, 101*(2-3), 339-378. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(99)00011-6)
- Krolak-Salmon, P. (2020). Physiopathologie de la maladie d'Alzheimer : Le rôle central de la plaque amyloïde et de la protéine Tau. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie, 20*(120), 120S2-120S6. [https://doi.org/10.1016/S1627-4830\(20\)30195-1](https://doi.org/10.1016/S1627-4830(20)30195-1)
- Kurnianingsih, Y. A., Sim, S. K. Y., Chee, M. W. L., & Mullette-Gillman, O. A. (2015). Aging and loss decision making : Increased risk aversion and decreased use of maximizing information, with correlated rationality and value maximization. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 281. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2015.00280>
- Labouvie-Vief, G., Diehl, M., Jain, E., & Zhang, F. (2007). Six-Year Change in Affect Optimization and Affect Complexity Across the Adult Life Span : A Further Examination. *Psychology and aging, 22*(4), 738-751. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.4.738>
- Labudda, K., Woermann, F. G., Mertens, M., Pohlmann-Eden, B., Markowitsch, H. J., & Brand, M. (2008). Neural correlates of decision making with explicit information about probabilities and incentives in elderly healthy subjects. *Experimental Brain Research, 187*(4), 641-650. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1332-x>
- Lachman, M. E., Agrigoroaei, S., Murphy, C., & Tun, P. A. (2010). Frequent Cognitive Activity Compensates for Education Differences in Episodic Memory. *The American journal of geriatric psychiatry : official journal of the American Association for Geriatric Psychiatry, 18*(1), 4-10. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3181ab8b62>
- Landelle, C., El Ahmadi, A., & Kavounoudias, A. (2018). Age-Related Impairment of Hand Movement Perception Based on Muscle Proprioception and Touch. *Neuroscience, 381*, 91-104. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2018.04.015>
- Lauriola, M., & Levin, I. P. (2001). Relating individual differences in Attitude toward Ambiguity to risky choices. *Journal of Behavioral Decision Making, 14*(2), 107-122. <https://doi.org/10.1002/bdm.368>
- Lauriola, M., Levin, I. P., & Hart, S. S. (2007). Common and distinct factors in decision making under ambiguity and risk : A psychometric study of individual differences.

- Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 104(2), 130-149.
<https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2007.04.001>
- Lebel, C., Gee, M., Camicioli, R., Wieler, M., Martin, W., & Beaulieu, C. (2012). Diffusion tensor imaging of white matter tract evolution over the lifespan. *NeuroImage*, 60(1), 340-352. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.094>
- Lee, H.-H., & Hsieh, S. (2017). Resting-State fMRI Associated with Stop-Signal Task Performance in Healthy Middle-Aged and Elderly People. *Frontiers in Psychology*, 8, 766. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.00766>
- Lee, T. M. C., Leung, A. W. S., Fox, P. T., Gao, J.-H., & Chan, C. C. H. (2008). Age-related differences in neural activities during risk taking as revealed by functional MRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 7-15. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm033>
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement : Une perspective cognitive*. De Boeck Supérieur.
- Lemarchand, F. (2013). Risque et aversion. In Bourg, D. & Papaux A., *Dictionnaire de la pensée écologique* (p. 886-888). PUF. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01929860>
- Lepage, M., Habib, R., & Tulving, E. (1998). Hippocampal PET activations of memory encoding and retrieval: The HIPER model. *Hippocampus*, 8(4), 313-322. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1063\(1998\)8:4<313::AID-HIPO1>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1063(1998)8:4<313::AID-HIPO1>3.0.CO;2-I)
- Lerner, J. S., Han, S., & Keltner, D. (2007). Feelings and Consumer Decision Making: Extending the Appraisal-Tendency Framework. *Journal of Consumer Psychology*, 17(3), 181-187. [https://doi.org/10.1016/S1057-7408\(07\)70027-X](https://doi.org/10.1016/S1057-7408(07)70027-X)
- Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition & Emotion*, 14(4), 473-493. <https://doi.org/10.1080/026999300402763>
- Lerner, J. S., Li, Y., Valdesolo, P., & Kassam, K. S. (2015). Emotion and Decision Making. *Annual Review of Psychology*, 66(1), 799-823. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115043>

- Lesieur, H., & Blume, S. (1987). The South Oaks Gambling Screen (SOGS): A New Instrument for the Identification of Pathological Gamblers. *The American journal of psychiatry*, *144*, 1184-1188. <https://doi.org/10.1176/ajp.144.9.1184>
- Leuker, C., Hertwig, R., & Pleskac, T. L. (2020). Age Differences in Ambiguity Preferences.
- Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A., & Glimcher, P. W. (2009). Neural Representation of Subjective Value Under Risk and Ambiguity. *Journal of Neurophysiology*, *103*(2), 1036-1047. <https://doi.org/10.1152/jn.00853.2009>
- Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A., & Glimcher, P. W. (2010). Neural Representation of Subjective Value Under Risk and Ambiguity. *Journal of Neurophysiology*, *103*(2), 1036-1047. <https://doi.org/10.1152/jn.00853.2009>
- Levy, M. L., Cummings, J. L., Fairbanks, L. A., Masterman, D., Miller, B. L., Craig, A. H., Paulsen, J. S., & Litvan, I. (1998). Apathy Is Not Depression. *Journal of Neuropsychiatry*, *10*(3), 6.
- Lewczuk, P., Kornhuber, J., Vanmechelen, E., Peters, O., Heuser, I., Maier, W., Jessen, F., Bürger, K., Hampel, H., Frölich, L., Henn, F., Falkai, P., Rütger, E., Jahn, H., Luckhaus, Ch., Perneczky, R., Schmidtke, K., Schröder, J., Kessler, H., Wiltfang, J. (2010). Amyloid β peptides in plasma in early diagnosis of Alzheimer's disease: A multicenter study with multiplexing. *Experimental Neurology*, *223*(2), 366-370. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.07.024>
- Li, D., Liu, T., Zhang, X., Wang, M., Wang, D., & Shi, J. (2017). Fluid intelligence, emotional intelligence, and the Iowa Gambling Task in children. *Intelligence*, *62*, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2017.04.004>
- Li, J., Biswal, B. B., Meng, Y., Yang, S., Duan, X., Cui, Q., Chen, H., & Liao, W. (2020). A neuromarker of individual general fluid intelligence from the white-matter functional connectome. *Translational Psychiatry*, *10*(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0829-3>
- Liebherr, M., Schiebener, J., Averbek, H., & Brand, M. (2017). Decision Making under Ambiguity and Objective Risk in Higher Age – A Review on Cognitive and Emotional Contributions. *Frontiers in Psychology*, *8*, 2128. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02128>

- Lim, H.-K., Juh, R., Pae, C.-U., Lee, B.-T., Yoo, S.-S., Ryu, S.-H., Kwak, K.-R., Lee, C., & Lee, C.-U. (2008). Altered Verbal Working Memory Process in Patients with Alzheimer's Disease. *Neuropsychobiology*, *57*(4), 181-187. <https://doi.org/10.1159/000147471>
- Löckenhoff, C. E., & Carstensen, L. L. (2007). Aging, emotion, and health-related decision strategies : Motivational manipulations can reduce age differences. *Psychology and Aging*, *22*(1), 134-146. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.1.134>
- Logsdon, R. G., Gibbons, L. E., McCurry, S. M., & Teri, L. (1999). Quality of life in Alzheimer's disease : Patient and caregiver reports. *Journal of Mental health and Aging*, *5*(1), 21-32.
- Lui, V. W. C., Lam, L. C. W., Chau, R. C. M., Fung, A. W. T., Wong, B. M. L., Leung, G. T. Y., Leung, K. F., Chiu, H. F. K., Karlawish, J. H. T., & Appelbaum, P. S. (2013). Structured Assessment of Mental Capacity to Make Financial Decisions in Chinese Older Persons With Mild Cognitive Impairment and Mild Alzheimer Disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, *26*(2), 69-77. <https://doi.org/10.1177/0891988713481268>
- Lui, V. W. C., Lam, L. C. W., Luk, D. N. Y., Wong, L. H. L., Tam, C. W. C., Chiu, H. F. K., & Appelbaum, P. S. (2009). Capacity to Make Treatment Decisions in Chinese Older Persons With Very Mild Dementia and Mild Alzheimer Disease. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *17*(5), 428-436. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31819d3797>
- Lui, V. W.-C., Lam, L. C.-W., Chau, R. C.-M., Fung, A. W.-T., Wong, B. M.-L., Leung, G. T.-Y., Leung, K.-F., Chiu, H. F.-K., Karlawish, J. H. T., & Appelbaum, P. S. (2012). Capacity to make decisions on medication management in Chinese older persons with mild cognitive impairment and mild Alzheimer's disease. *International Psychogeriatrics*, *24*(7), 1103.
- Maaravi, Y., Berry, E. M., Ginsberg, G., Cohen, A., & Stessman, J. (2000). Nutrition and quality of life in the aged : The Jerusalem 70-year olds longitudinal study. *Aging*, *12*(3), 173-179.
- MacDonald, M. E., & Pike, G. B. (2021). MRI of healthy brain aging : A review. *NMR in Biomedicine*, *34*(9), e4564. <https://doi.org/10.1002/nbm.4564>

- MacLeod, C. M. (1991). Half a Century of Research on the Stroop Effect : An Integrative Review. *Psychological Bulletin*, *109*(2), 163.
- Macoir, J., Fossard, M., Lefebvre, L., Monetta, L., Renard, A., Tran, T. M., & Wilson, M. A. (2017). Detection Test for Language Impairments in Adults and the Aged—A New Screening Test for Language Impairment Associated With Neurodegenerative Diseases : Validation and Normative Data. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementiasr*, *32*(7), 382-392. <https://doi.org/10.1177/1533317517715905>
- Mahieux-Laurent, F., Fabre, C., Galbrun, E., Dubrulle, A., & Moroni, C. (2009). Validation d'une batterie brève d'évaluation des praxies gestuelles pour consultation Mémoire. Évaluation chez 419 témoins, 127 patients atteints de troubles cognitifs légers et 320 patients atteints d'une démence. *Revue Neurologique*, *165*(6), 560-567. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2008.11.016>
- Malykhin, N. V., Bouchard, T. P., Camicioli, R., & Coupland, N. J. (2008). Aging hippocampus and amygdala. *NeuroReport*, *19*(5), 543-547. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282f8b18c>
- Marson, D. C., Martin, R. C., Wadley, V., Griffith, H. R., Snyder, S., Goode, P. S., Kinney, F. C., Nicholas, A. P., Steele, T., Anderson, B., Zamrini, E., Raman, R., Bartolucci, A., & Harrell, L. E. (2009). Clinical Interview Assessment of Financial Capacity in Older Adults with Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *57*(5), 806-814. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2009.02202.x>
- Mata, R., Josef, A. K., & Lemaire, P. (2015). Adaptive Decision Making and Aging. In *Aging and Decision Making* (p. 105-126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417148-0.00006-6>
- Mata, R., Schooler, L. J., & Rieskamp, J. (2007). The aging decision maker : Cognitive aging and the adaptive selection of decision strategies. *Psychology and Aging*, *22*(4), 796-810. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.4.796>
- Mather, M., & Johnson, M. K. (2000). Choice-supportive source monitoring : Do our decisions seem better to us as we age? *Psychology and Aging*, *15*(4), 596-606. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.15.4.596>

- Matysiak, O., Kroemeke, A., & Brzezicka, A. (2019). Working Memory Capacity as a Predictor of Cognitive Training Efficacy in the Elderly Population. *Frontiers in Aging Neuroscience, 11*. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2019.00126>
- Mayer, J., & Gaschke, Y. (1988). The Brief Mood Introspection Scale (BMIS). *UNH Personality Lab*. https://scholars.unh.edu/personality_lab/12
- McCarrey, A. C., Henry, J. D., & Luszcz, M. (2010). Potential Mechanisms Contributing to Decision-Making Difficulties in Late Adulthood. *Gerontology, 56*(4), 430-434. <https://doi.org/10.1159/000275060>
- Meguro, Y., Fujii, T., Yamadori, A., Tsukiura, T., Suzuki, K., Okuda, J., & Osaka, M. (2000). The Nature of Age-Related Decline on the Reading Span Task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 22*(3), 391-398. [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200006\)22:3;1-V;FT391](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200006)22:3;1-V;FT391)
- Meyer, B. J. F., Talbot, A. P., & Ranalli, C. (2007). Why older adults make more immediate treatment decisions about cancer than younger adults. *Psychology and Aging, 22*(3), 505-524. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.3.505>
- Mikels, J. A., Löckenhoff, C. E., Maglio, S. J., Goldstein, M. K., Garber, A., & Carstensen, L. L. (2010). Following Your Heart or Your Head: Focusing on Emotions Versus Information Differentially Influences the Decisions of Younger and Older Adults. *Journal of experimental psychology. Applied, 16*(1), 87-95. <https://doi.org/10.1037/a0018500>
- Miller, B. L., & Cummings, J. L. (2017). The Human Frontal Lobes: an introduction. In Miller, B. L. & Cummings, J. L., *The Human Frontal Lobes, Third Edition : Functions and Disorders* (p. 1-9). Guilford Publications.
- Millstein, S. G., & Halpern–Felsher, B. L. (2002). Judgments about Risk and Perceived Invulnerability in Adolescents and Young Adults. *Journal of Research on Adolescence, 12*(4), 399-422. <https://doi.org/10.1111/1532-7795.00039>
- Mitchell, A. J., Beaumont, H., Ferguson, D., Yadegarfar, M., & Stubbs, B. (2014). Risk of dementia and mild cognitive impairment in older people with subjective memory complaints: Meta-analysis. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 130*(6), 439-451. <https://doi.org/10.1111/acps.12336>

- Mitchell, A. J., Kemp, S., Benito-León, J., & Reuber, M. (2010). The influence of cognitive impairment on health-related quality of life in neurological disease. *Acta Neuropsychiatrica*, 22(1), 2-13. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5215.2009.00439.x>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions : Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- 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, R. G., & Mograbi, D. C. (2013). Anosognosia, autobiographical memory and self knowledge in Alzheimer’s disease. *Cortex*, 49(6), 1553-1565. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.006>
- Moye, J., & Marson, D. C. (2007). Assessment of Decision-Making Capacity in Older Adults : An Emerging Area of Practice and Research. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62(1), 3-11.
- Mueller, S. M., Arias, M. G., Mejuto Vázquez, G., Schiebener, J., Brand, M., & Wegmann, E. (2019). Decision support in patients with mild Alzheimer’s disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 41(5), 484-496. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1585517>
- Murty, V. P., DuBrow, S., & Davachi, L. (2019). Decision-making Increases Episodic Memory via Postencoding Consolidation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(9), 1308-1317. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01321
- Najberg, H., Wachtl, L., Anziano, M., Mouthon, M., & Spierer, L. (2021). Aging Modulates Prefrontal Plasticity Induced by Executive Control Training. *Cerebral Cortex*, 31(2), 809-825. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa259>
- Nau, R. F. (2001). De Finetti was Right : Probability Does Not Exist. *Theory and Decision*, 51(2), 89-124.

- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., & Shulman, S. (2004). Older adults' associative deficit in episodic memory : Assessing the role of decline in attentional resources. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(6), 1067-1073. <https://doi.org/10.3758/BF03196738>
- Nguyen, C. M., Barrash, J., Koenigs, A. L., Bechara, A., Tranel, D., & Denburg, N. L. (2013). Decision-making deficits in normal elderly persons associated with executive personality disturbances. *International Psychogeriatrics*, *25*(11), 1811-1819. <https://doi.org/10.1017/S1041610213001270>
- Nilsson, L.-G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*, *107*(179), 7-13. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.107.s179.5.x>
- Nyberg, L. (2017). Functional brain imaging of episodic memory decline in ageing. *Journal of Internal Medicine*, *281*(1), 65-74. <https://doi.org/10.1111/joim.12533>
- Okonkwo, O. C., Wadley, V. G., Griffith, H. R., Belue, K., Lanza, S., Zamrini, E. Y., Harrell, L. E., Brockington, J. C., Clark, D., Raman, R., & Marson, D. C. (2008). Awareness of Deficits in Financial Abilities in Patients With Mild Cognitive Impairment : Going Beyond Self-Informant Discrepancy. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *16*(8), 650-659.
- Organisation Mondiale de la Santé. (2022, octobre 1). Vieillesse et santé. Organisation Mondiale de la Santé. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Orth, U., Erol, R. Y., & Luciano, E. C. (2018). Development of self-esteem from age 4 to 94 years : A meta-analysis of longitudinal studies. *Psychological Bulletin*, *144*(10), 1045.
- Oswald, J., Guye, S., Liem, F., Rast, P., Willis, S., Röcke, C., Jäncke, L., Martin, M., & Mérillat, S. (2020). Brain structure and cognitive ability in healthy aging : A review on longitudinal correlated change. *Reviews in the Neurosciences*, *31*(1), 1-57.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, *17*(2), 299-320. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.2.299>
- Park, D. C., Puglisi, J. T., & Smith, A. D. (1986). Memory for pictures : Does an age-related decline exist? *Psychology and Aging*, *1*(1), 11-17. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.1.1.11>

- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain : Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 173-196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>
- Peng, H., Wen, J., Wang, D., & Gao, Y. (2012). The Impact of Processing Speed Training on Working Memory in Old Adults. *Journal of Adult Development*, 19(3), 150-157. <https://doi.org/10.1007/s10804-012-9142-6>
- Perry, M. E., McDonald, C. R., Hagler, D. J., Gharapetian, L., Kuperman, J. M., Koyama, A. K., Dale, A. M., & McEvoy, L. K. (2009). White Matter Tracts Associated with Set-Shifting in Healthy Aging. *Neuropsychologia*, 47(13), 2835-2842. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.008>
- Persson, J., Nyberg, L., Lind, J., Larsson, A., Nilsson, L.-G., Ingvar, M., & Buckner, R. L. (2006). Structure–Function Correlates of Cognitive Decline in Aging. *Cerebral Cortex*, 16(7), 907-915. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj036>
- Pertl, M.-T., Benke, T., Zamarian, L., & Delazer, M. (2015). Decision Making and Ratio Processing in Patients with Mild Cognitive Impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, 48(3), 765-779. <https://doi.org/10.3233/JAD-150291>
- Pertl, M.-T., Benke, T., Zamarian, L., & Delazer, M. (2017). Effects of Healthy Aging and Mild Cognitive Impairment on a Real-Life Decision-Making Task. *Journal of Alzheimer's Disease*, 58(4), 1077-1087. <https://doi.org/10.3233/JAD-170119>
- Pertl, M.-T., Benke, T., Zamarian, L., Martini, C., Bodner, T., Karner, E., & Delazer, M. (2014). Do Patients with Mild Cognitive Impairment Understand Numerical Health Information? *Journal of Alzheimer's Disease*, 40(3), 531-540. <https://doi.org/10.3233/JAD-131895>
- Philippot, P. (2011). La régulation émotionnelle. *PSY-Emotion, intervention, sante*, 2, 115-156.
- Pinard, F., Vanneste, S., & Taconnat, L. (2021). Self-esteem effect on recall and recognition in episodic memory, in young and older adults. *Experimental Aging Research*, 47(4), 386-400. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2021.1885926>

- Plancher, G., Nicolas, S., & Piolino, P. (2008). Contribution of virtual reality to neuropsychology of memory : Study in aging. *Psychologie & neuropsychiatrie du vieillissement*, 6, 7-22. <https://doi.org/10.1684/pnv.2008.0119>
- Ponti, F., Santoro, A., Mercatelli, D., Gasperini, C., Conte, M., Martucci, M., Sangiorgi, L., Franceschi, C., & Bazzocchi, A. (2020). Aging and Imaging Assessment of Body Composition : From Fat to Facts. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 861. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2019.00861>
- Privodnova, E., Volf, N., Bazovkina, D., & Merculova, E. (2020). Age-related difference in use-dependent plasticity after divergent thinking session matches posterior-anterior shift in aging (PASA) model. *2020 Cognitive Sciences, Genomics and Bioinformatics (CSGB)*, 28-31. <https://doi.org/10.1109/CSGB51356.2020.9214762>
- Prull, M., Dawes, L., Martin, A., Rosenberg, H., & Light, L. (2006). Recollection and familiarity in recognition memory : Adult age differences and neuropsychological test correlates. *Psychology and aging*, 21, 107-118. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.107>
- Quadrio, I., Hay-Lombardie, A., Perret-Liaudet, A., & Bigot-Corbel, E. (2021). Marqueurs biologiques et maladie d'Alzheimer. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2021(534), 18-27. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(21\)00191-X](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(21)00191-X)
- Querfurth, H. W., & LaFerla, F. M. (2010). Mechanisms of disease, Alzheimer's Disease. *The New England Journal of Medicine*, 362(4), 329-344.
- Rahman, S., Siddique, U., Choudhury, S., Islam, N., Roy, A., Basu, P., Anand, S. S., Islam, M. A., Shahi, M. S., Nayeem, A., Chowdhury, M. T. I., Chowdhury, M. S. J. H., Taylor, J.-P., Baker, M. R., Baker, S. N., & Kumar, H. (2021). Comparing Stop Signal Reaction Times in Alzheimer's and Parkinson's Disease. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 49(5), 1-10. <https://doi.org/10.1017/cjn.2021.184>
- Rainville, C., Passini, R., & Marchand, N. (2001). A Multiple Case Study of Wayfinding in Dementia of the Alzheimer Type : Decision Making. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8(1), 54-71. <https://doi.org/10.1076/anec.8.1.54.846>
- Ramanan, S., Bertoux, M., Flanagan, E., Irish, M., Piguet, O., Hodges, J. R., & Hornberger, M. (2017). Longitudinal Executive Function and Episodic Memory Profiles in Behavioral-Variant Frontotemporal Dementia and Alzheimer's Disease. *Journal of the*

International Neuropsychological Society, 23(1), 34-43.
<https://doi.org/10.1017/S1355617716000837>

- Ramautar, J. R., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2006). Effects of stop-signal modality on the N2/P3 complex elicited in the stop-signal paradigm. *Biological Psychology*, 72(1), 96-109. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.08.001>
- Ramos-Goicoa, M., Galdo-Álvarez, S., Díaz, F., & Zurrón, M. (2016). Effect of Normal Aging and of Mild Cognitive Impairment on Event-Related Potentials to a Stroop Color-Word Task. *Journal of Alzheimer's Disease*, 52(4), 1487-1501. <https://doi.org/10.3233/JAD-151031>
- Raz, N. (2001). Ageing and the Brain. *Encyclopedia Of Life Sciences*, 3-6. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0003375>
- Raz, N., & Daugherty, A. M. (2018). Pathways to Brain Aging and Their Modifiers : Free-Radical-Induced Energetic and Neural Decline in Senescence (FRIENDS) Model—A Mini-Review. *Gerontology*, 64(1). <https://www.karger.com/Article/Abstract/479508>
- Raz, N., Ghisletta, P., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., & Lindenberger, U. (2010). Trajectories of brain aging in middle-aged and older adults : Regional and individual differences. *NeuroImage*, 51(2), 501-511. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.03.020>
- Ready, R. E., Ott, B. R., Grace, J., & Cahn-Weiner, D. A. (2003). Apathy and Executive Dysfunction in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer Disease. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 11(2), 222-228. <https://doi.org/10.1097/00019442-200303000-00013>
- Redondo, M. T., Beltrán-Brotóns, J. L., Reales, J. M., & Ballesteros, S. (2016). Executive functions in patients with Alzheimer's disease, type 2 diabetes mellitus patients and cognitively healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 83, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.07.013>
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., & Koeppel, R. A. (2000). Age Differences in the Frontal Lateralization of Verbal and Spatial Working Memory Revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 174-187. <https://doi.org/10.1162/089892900561814>

- Reuter-Lorenz, P. A., & Sylvester, C.-Y. C. (2005). The Cognitive Neuroscience of Working Memory and Aging. In Cabeza, R., Nyberg, L. & Park, D. *Cognitive neuroscience of aging : Linking cognitive and cerebral aging* (p. 186-217). Oxford University Press.
- Rey-Mermet, A., & Gade, M. (2018). Inhibition in aging : What is preserved? What declines? A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(5), 1695-1716. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1384-7>
- Rieck, J. R., Baracchini, G., & Grady, C. L. (2021). Contributions of Brain Function and Structure to Three Different Domains of Cognitive Control in Normal Aging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 33(9), 1811-1832. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01685
- Robert, C., & Thérond, P.-E. (2013). Ambiguïté et aversion à l'incertitude. *L'actuariel*, 7, 48-49.
- Rodgers, J. J., & Kass, J. S. (2018). Assessment of Medical Decision-making Capacity in Patients With Dementia. *CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology*, 24(3), 920-925. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000600>
- Rogalsky, C., Vidal, C., Li, X., & Damasio, H. (2012). Risky decision-making in older adults without cognitive deficits : An fMRI study of VMPFC using the Iowa Gambling Task. *Social Neuroscience*, 7(2), 178-190. <https://doi.org/10.1080/17470919.2011.588340>
- Rönnlund, M., Del Missier, F., Mäntylä, T., & Carelli, M. G. (2019). The Fatalistic Decision Maker : Time Perspective, Working Memory, and Older Adults' Decision-Making Competence. *Frontiers in Psychology*, 10, 2038. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.02038>
- Salthouse, T. (1994). The Aging of Working Memory. *Neuropsychology*, 8, 535-543. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.535>
- Salthouse, T., & Fristoe, N. (1995). Process analysis of adult age effects on a computer-administered Trail Making Test. *Neuropsychology*, 9, 518-528. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.9.4.518>
- Sandrini, M., Manenti, R., Sahin, H., & Cotelli, M. (2020). Effects of transcranial electrical stimulation on episodic memory in physiological and pathological ageing. *Ageing Research Reviews*, 61, 101065. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101065>

- Schiebener, J., & Brand, M. (2015). Decision Making Under Objective Risk Conditions—a Review of Cognitive and Emotional Correlates, Strategies, Feedback Processing, and External Influences. *Neuropsychology Review*, 25(2), 171-198. <https://doi.org/10.1007/s11065-015-9285-x>
- Schiebener, J., Wegmann, E., Gathmann, B., Laier, C., Pawlikowski, M., & Brand, M. (2014). Among three different executive functions, general executive control ability is a key predictor of decision making under objective risk. *Frontiers in Psychology*, 5, 1386. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01386>
- Schiebener, J., Wegmann, E., Pawlikowski, M., & Brand, M. (2012). Anchor effects in decision making can be reduced by the interaction between goal monitoring and the level of the decision maker's executive functions. *Cognitive Processing*, 13(4), 321-332. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0522-4>
- Schiebener, J., Wegmann, E., Pawlikowski, M., & Brand, M. (2013). Supporting decisions under risk : Explicit advice differentially affects people according to their working memory performance and executive functioning. *Neuroscience of Decision Making*, 1, 9-18. <https://doi.org/10.2478/ndm-2013-0002>
- Schmicker, M., Menze, I., Koch, D., Rumpf, U., Müller, P., Pelzer, L., & Müller, N. G. (2019). Decision-Making Deficits in Elderly Can Be Alleviated by Attention Training. *Journal of Clinical Medicine*, 8(8), 1131. <https://doi.org/10.3390/jcm8081131>
- Schneider-Garces, N. J., Gordon, B. A., Brumback-Peltz, C. R., Shin, E., Lee, Y., Sutton, B. P., Maclin, E. L., Gratton, G., & Fabiani, M. (2010). Span, CRUNCH, and Beyond : Working Memory Capacity and the Aging Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(4), 655-669. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21230>
- Simon, J., & Bastin, C. (2014). Mémoire épisodique dans la maladie d'Alzheimer : Déclin de la remémoration consciente et de la familiarité ? *Médecine/Sciences*, 30(8-9), 784-789. <https://doi.org/10.1051/medsci/20143008017>
- Sinz, H., Zamarian, L., Benke, T., Wenning, G. K., & Delazer, M. (2008). Impact of ambiguity and risk on decision making in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 46(7), 2043-2055. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.002>

- Slyer, J. T., Archibald, E., Moyo, F., & Truglio-Londrigan, M. (2018). Advance care planning and anticipatory decision making in patients with Alzheimer disease. *The Nurse Practitioner*, 43(6), 23-31. <https://doi.org/10.1097/01.NPR.0000532763.68509.e4>
- Smebye, K. L., Kirkevold, M., & Engedal, K. (2012). How do persons with dementia participate in decision making related to health and daily care? A multi-case study. *BMC Health Services Research*, 12(1), 241. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-241>
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory : Applications to dementia and amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(1), 34-50. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.117.1.34>
- Spieler, D. H., Balota, D. A., & Faust, M. E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 461-479. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.2.461>
- Spreng, R. N., & Turner, G. R. (2019). The Shifting Architecture of Cognition and Brain Function in Older Adulthood. *Perspectives on Psychological Science*, 14(4), 523-542. <https://doi.org/10.1177/1745691619827511>
- Sproten, A., Diener, C., Fiebach, C., & Schwier, C. (2010). Aging and decision making : How aging affects decisions under uncertainty. *Discussion Paper Series*, (508), 22. <https://doi.org/10.11588/HEIDOK.00011361>
- Sproten, A. N., Diener, C., Fiebach, C. J., & Schwier, C. (2018). Decision making and age : Factors influencing decision making under uncertainty. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 76, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2018.07.002>
- St-Amand, D., Sheldon, S., & Otto, A. R. (2018). Modulating Episodic Memory Alters Risk Preference during Decision-making. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(10), 1433-1441. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01253
- Starkstein, S. E., Jorge, R., Mizrahi, R., & Robinson, R. G. (2006a). A prospective longitudinal study of apathy in Alzheimer's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 77(1). <http://dx.doi.org/bibelec.univ-lyon2.fr/10.1136/jnnp.2005.069575>

- Starkstein, S. E., Jorge, R., Mizrahi, R., & Robinson, R. G. (2006b). A diagnostic formulation for anosognosia in Alzheimer's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *77*(6), 719-725. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2005.085373>
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, *47*(10), 2015-2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
- Stites, S. D., Harkins, K., Rubright, J. D., & Karlawish, J. (2018). Relationships between Cognitive Complaints and Quality of Life in Older Adults with Mild Cognitive Impairment, Mild Alzheimer's Disease Dementia, and Normal Cognition. *Alzheimer disease and associated disorders*, *32*(4), 276-283. <https://doi.org/10.1097/WAD.0000000000000262>
- Stoet, G. (2010). PsyToolkit: A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods*, *42*(4), 1096-1104. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.4.1096>
- Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A Novel Web-Based Method for Running Online Questionnaires and Reaction-Time Experiments. *Teaching of Psychology*, *44*(1), 24-31. <https://doi.org/10.1177/0098628316677643>
- Stormoen, S., Almkvist, O., Eriksson, M., Sundström, E., & Tallberg, I.-M. (2014). Cognitive predictors of medical decision-making capacity in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: Medical decision making in Alzheimer's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *29*(12), 1304-1311. <https://doi.org/10.1002/gps.4114>
- Strough, J., & Bruine de Bruin, W. (2020). Decision Making Across Adulthood. *Annual Review of Developmental Psychology*, *2*, 345-363. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-051120-010038>
- Strough, J., Parker, A., & Bruine de Bruin, W. (2015). Understanding Life-Span Developmental Changes in Decision Making Competence. In Hess, T. M., Strough, J., & Löckenhoff, C. *Aging and decision making* (p. 235-257). Academic Press.
- Strout, K., & Howard, E. (2012). The Six Dimensions of Wellness and Cognition in Aging Adults. *Journal of holistic nursing : official journal of the American Holistic Nurses' Association*, *30*, 195-204. <https://doi.org/10.1177/0898010112440883>

- Su, Y.-S., Chen, J.-T., Tang, Y.-J., Yuan, S.-Y., McCarrey, A. C., & Goh, J. O. S. (2018). Age-related differences in striatal, medial temporal, and frontal involvement during value-based decision processing. *Neurobiology of Aging*, *69*, 185-198. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2018.05.019>
- Sun, T., Xie, T., Wang, J., Zhang, L., Tian, Y., Wang, K., Yu, X., & Wang, H. (2020). Decision-Making Under Ambiguity or Risk in Individuals With Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment. *Frontiers in Psychiatry*, *11*, 218. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyt.2020.00218>
- Taconnat, L., & Isingrini, M. (2004). Cognitive Operations in the Generation Effect on a Recall Test: Role of Aging and Divided Attention. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, *30*, 827-837. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.4.827>
- Tallberg, I., Stormoen, S., Almkvist, O., Eriksdotter, M., & Sundström, E. (2013). Investigating medical decision-making capacity in patients with cognitive impairment using a protocol based on linguistic features. *Scandinavian Journal of Psychology*, *54*(5), 386.
- Tam, A., Luedke, A. C., Walsh, J. J., Fernandez-Ruiz, J., & Garcia, A. (2015). Effects of reaction time variability and age on brain activity during Stroop task performance. *Brain Imaging and Behavior*, *9*(3), 609-618. <https://doi.org/10.1007/s11682-014-9323-y>
- Tannou, T., Koeberlé, S., Aubry, R., & Haffen, E. (2020). How does decisional capacity evolve with normal cognitive aging: Systematic review of the literature. *European Geriatric Medicine*, *11*(1), 117-129. <https://doi.org/10.1007/s41999-019-00251-8>
- Tannou, T., Magnin, E., Comte, A., Aubry, R., & Joubert, S. (2021). Neural Activation in Risky Decision-Making Tasks in Healthy Older Adults: A Meta-Analysis of fMRI Data. *Brain Sciences*, *11*(8), 1043. <https://doi.org/10.3390/brainsci11081043>
- Thalén, L., Heimann Mühlenbock, K., Almkvist, O., Eriksdotter, M., Sundström, E., & Tallberg, I.-M. (2017). Do adapted vignettes improve medical decision-making capacity for individuals with Alzheimer's disease? *Scandinavian Journal of Psychology*, *58*(6), 497-503. <https://doi.org/10.1111/sjop.12401>

- Toepper, M., Beblo, T., Thomas, C., & Driessen, M. (2008). Early detection of Alzheimer's disease: A new working memory paradigm. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 23*(3), 272-278. <https://doi.org/10.1002/gps.1873>
- Tonini, A., Dusart, L., & Ponchaux, F. (2016). Reconnaissance des émotions faciales et raisonnement social dans le vieillissement normal, le MCI et la maladie d'Alzheimer. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie, 93*(16), 171-176.
- Torrvalva, T., Dorrego, F., Sabe, L., Chemerinski, E., & Starkstein, S. E. (2000). Impairments of Social Cognition and Decision Making in Alzheimer's Disease. *International Psychogeriatrics, 12*(3), 359-368. <https://doi.org/10.1017/S1041610200006463>
- Troyer, A. K., Leach, L., & Strauss, E. (2006). Aging and Response Inhibition: Normative Data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 13*(1), 20-35. <https://doi.org/10.1080/138255890968187>
- Tulving, E. (1984). Précis of Elements of episodic memory | Behavioral and Brain Sciences | Cambridge Core. *Behavioral and Brain Sciences, 7*(2), 223-238.
- Tulving, E. (1987). Multiple memory systems and consciousness. *Human neurobiology, 6*(2), 67-80.
- Tulving, E. (2001). 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>
- Tumeh, P. C., Alavi, A., Houseni, M., Greenfield, A., Chryssikos, T., Newberg, A., Torigian, D. A., & Moonis, G. (2007). Structural and Functional Imaging Correlates for Age-Related Changes in the Brain. *Seminars in Nuclear Medicine, 37*(2), 69-87. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2006.10.002>
- Turner, P. R., O'Connor, K., Tate, W. P., & Abraham, W. C. (2003). Roles of amyloid precursor protein and its fragments in regulating neural activity, plasticity and memory. *Progress in Neurobiology, 70*(1), 1-32. [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(03\)00089-3](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(03)00089-3)
- Turró-Garriga, O., Conde-Sala, J. L., Reñé-Ramírez, R., López-Pousa, S., Gascón-Bayarri, J., & Garre-Olmo, J. (2014). Prevalence of anosognosia in Alzheimer's disease. *Medicina clinica, 143*(1), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2013.04.043>

- Uc, E. Y., Rizzo, M., Anderson, S. W., Shi, Q., & Dawson, J. D. (2004). Driver route-following and safety errors in early Alzheimer disease. *Neurology*, *63*(5), 832-837. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000139301.01177.35>
- Urry, H. L., & Gross, J. J. (2010). Emotion Regulation in Older Age. *Current Directions in Psychological Science*, *19*(6), 352-357. <https://doi.org/10.1177/0963721410388395>
- van Duinkerken, E., Farme, J., Landeira-Fernandez, J., Dourado, M. C., Laks, J., & Mograbi, D. C. (2018). Medical and Research Consent Decision-Making Capacity in Patients with Alzheimer's Disease: A Systematic Review. *Journal of Alzheimer's Disease*, *65*(3), 917-930. <https://doi.org/10.3233/JAD-180311>
- Vanleerberghe, P., De Witte, N., Claes, C., Schalock, R. L., & Verté, D. (2017). The quality of life of older people aging in place: A literature review. *Quality of Life Research*, *26*(11), 2899-2907. <https://doi.org/10.1007/s11136-017-1651-0>
- Verbruggen, F., Logan, G. D., & Stevens, M. A. (2008). STOP-IT: Windows executable software for the stop-signal paradigm. *Behavior Research Methods*, *40*(2), 479-483. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.2.479>
- Vieillard, S., & Harm, J. (2013). La régulation des émotions au cours du vieillissement normal. *L'Année psychologique*, *113*(04), 595-628. <https://doi.org/10.4074/S000350331301405x>
- Vilarem, E., Armony, J. L., & Grèzes, J. (2019). Action opportunities modulate attention allocation under social threat. *Emotion*, *20*(5), 890. <https://doi.org/10.1037/emo0000598>
- Viloria Jiménez, M. A., Chung Jaén, M., Vígara García, M., & Barahona-Alvarez, H. (2013). Decision-making in older people with dementia. *Reviews in Clinical Gerontology*, *23*(4), 307-316. <https://doi.org/10.1017/S0959259813000178>
- Volpi, E., Nazemi, R., & Fujita, S. (2004). Muscle tissue changes with aging. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, *7*(4), 405-410.
- Vuillier, L., Bryce, D., Szücs, D., & Whitebread, D. (2016). The Maturation of Interference Suppression and Response Inhibition: ERP Analysis of a Cued Go/Nogo Task. *PLOS ONE*, *11*(11), e0165697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165697>

- Waltz, J. A., Knowlton, B. J., Holyoak, K. J., Boone, K. B., Back-Madruga, C., McPherson, S., Masterman, D., Chow, T., Cummings, J. L., & Miller, B. L. (2004). Relational Integration and Executive Function in Alzheimer's Disease. *Neuropsychology*, *18*(2), 296-305. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.2.296>
- Werheid, K., Gruno, M., Kathmann, N., Fischer, H., Almkvist, O., & Winblad, B. (2010). Biased Recognition of Positive Faces in Aging and Amnesic Mild Cognitive Impairment. *Psychology and aging*, *25*(1), 1.
- Werheid, K., McDonald, R. S., Simmons-Stern, N., Ally, B. A., & Budson, A. E. (2011). Familiar smiling faces in Alzheimer's disease : Understanding the positivity-related recognition bias. *Neuropsychologia*, *49*(10), 2935-2940. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.022>
- Willinger, M. (1990). La rénovation des fondements de l'utilité et du risque. *Revue économique*, *41*(1), 5-47. <https://doi.org/10.2307/3502123>
- Wingfield, A., Stine, E. A. L., Lahar, C. J., & Aberdeen, J. S. (1988). Does the capacity of working memory change with age? *Experimental Aging Research*, *14*(2), 103-107. <https://doi.org/10.1080/03610738808259731>
- Wood, S., Busemeyer, J., Kolling, A., Cox, C. R., & Davis, H. (2005). Older Adults as Adaptive Decision Makers : Evidence From the Iowa Gambling Task. *Psychology and Aging*, *20*(2), 220-225. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.2.220>
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (1990). Changes in Posture Control Across the Life Span—A Systems Approach. *Physical Therapy*, *70*(12), 799-807. <https://doi.org/10.1093/ptj/70.12.799>
- Yaple, Z. A., Stevens, W. D., & Arsalidou, M. (2019). Meta-analyses of the n-back working memory task : fMRI evidence of age-related changes in prefrontal cortex involvement across the adult lifespan. *NeuroImage*, *196*, 16-31. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.03.074>
- Yonelinas, A. P. (2002). The Nature of Recollection and Familiarity : A Review of 30 Years of Research. *Journal of Memory and Language*, *46*(3), 441-517. <https://doi.org/10.1006/jmla.2002.2864>

- Zamarian, L., Sinz, H., Bonatti, E., Gamboz, N., & Delazer, M. (2008). Normal aging affects decisions under ambiguity, but not decisions under risk. *Neuropsychology*, 22(5), 645-657. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.645>
- Zamarian, L., Weiss, E. M., & Delazer, M. (2011). The Impact of Mild Cognitive Impairment on Decision Making in Two Gambling Tasks. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66B(1), 23-31. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbq067>
- Zanetti, O., Vallotti, B., Frisoni, G. B., Geroldi, C., Bianchetti, A., Pasqualetti, P., & Trabucchi, M. (1999). Insight in Dementia : When Does It Occur? Evidence for a Nonlinear Relationship Between Insight and Cognitive Status. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 54B(2), 100-106. <https://doi.org/10.1093/geronb/54B.2.P100>
- Zhang, X., Liu, L., Long, G., Jiang, J., & Liu, S. (2021). Episodic memory governs choices : An RNN-based reinforcement learning model for decision-making task. *Neural Networks*, 134, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.11.003>
- Zigmond, A. S., & Snaith, R. P. (1983). The Hospital Anxiety and Depression Scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 67(6), 361-370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>