

UNIVERSITÉ FRANÇOIS – RABELAIS DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE Santé, Sciences Biologiques et Chimie du Vivant
UMR-CNRS 7295 : CeRCA, équipe 'Vieillesse et Mémoire'

en cotutelle internationale avec UNIVERSITÉ DE MONTREAL

THÈSE présentée par :

Lucile Burger

soutenue le : **09 décembre 2016**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université François – Rabelais de Tours**

Discipline/ Spécialité : **Psychologie**

pour obtenir le grade de : **Philosophiæ Doctor (Ph.D.) de l'université de Montréal**

Discipline/ Spécialité : **Faculté de médecine option Sciences neurologiques**

Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur l'utilisation appropriée de stratégies de mémoire au cours du vieillesse: étude comportementale et électrophysiologique

THÈSE dirigée par :

Mme. TACONNAT Laurence

Professeur, université François – Rabelais de Tours

M. PLUSQUELLEC Pierrich

Professeur, université de Montréal, Canada

Mme. LUPIEN Sonia

Professeur, université de Montréal, Canada

THÈSE co-encadrée par :

Mme. FAY Séverine

Maître de Conférences, université François – Rabelais de Tours

RAPPORTEURS :

M. MAQUESTIAUX François

Professeur, université de Franche-Comté

Mme. SAUZEON Hélène

Professeur, université Victor Segalen de Bordeaux 2

JURY :

M. MAQUESTIAUX François

Professeur, université de Franche-Comté

Mme. SAUZEON Hélène

Professeur, université Victor Segalen de Bordeaux 2

M. ISINGRINI Michel

Professeur, université François – Rabelais de Tours

Mme. TACONNAT Laurence

Professeur, université François – Rabelais de Tours

Mme. FAY Séverine

Maître de Conférences, université François – Rabelais de Tours

M. PLUSQUELLEC Pierrich

Professeur, université de Montréal, Canada

Copyright, Burger, 2016

Remerciements

J'ai beaucoup entendu au cours de ma thèse que ce projet est ma recherche, le fruit de plusieurs années de travail personnel. Cependant pour moi, une thèse ne pourrait se concrétiser sans toutes les personnes qui m'ont entourée pendant ce doctorat. Merci à chacune des personnes qui ont croisé ma route au cours de ces quatre années et qui ont ajouté une pierre à l'édifice de ce travail.

Je voudrais tout d'abord remercier tous mes co-directeurs. A Montréal, merci à Sonia Lupien et Pierrich Plusquellec d'avoir accepté, malgré les difficultés d'une co-tutelle, de co-diriger cette thèse. Merci Pierrich d'avoir su, en étant sur place, gérer les problèmes qui se présentaient avec l'université de Montréal. Merci à Séverine Fay pour sa patience, son écoute et ses précieux conseils lors de nos séances de travail mais aussi pour son soutien. Je tiens aussi à remercier Laurence Taconnat pour avoir cru en moi dès mon master 2 et pour toute la confiance que vous m'avez accordée, ce qui nous a permis de concrétiser de beaux projets.

J'exprime mes profonds remerciements à Hélène Sauzéon, François Maquestiaux, et Michel Isingrini pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail en acceptant d'être membre de mon jury.

Je remercie tous les membres et ex-membres de l'équipe ViME : Badiâa, Sandrine, Michel, Lucie, Charlotte et Shasha. Je sais que vous m'avez tous aidée d'une façon ou d'une autre avec gentillesse et encouragements de la mise en place de mon projet à la finalisation de cette thèse.

Merci aux doctorantes du laboratoire : Samantha et Emilie, merci pour votre soutien, votre réconfort et tous ces moments agréables passés dans la salle des doctorants et en congrès.

Je tiens aussi à remercier tous les stagiaires qui m'ont aidée dans l'acquisition de mes données : Mathilde, Ismael, Estelle, Vanda, Margaux, Coralie, Amandine, Jean-David, Aurélien, Alice, Victoria, et Sarah.

Merci à Ricard Robitaille et Suzy Daigle pour leur aide précieuse dans les démarches administratives à effectuer à Montréal.

Merci à d'autres collègues avec lesquels j'ai collaboré : Wissam El-Hage, Tatiana Carl, Samuel Leman, Catherine Belzung, Kim Uittenhove et Patrick Lemaire merci d'avoir rendu possible la concrétisation de différents projets. Un grand merci à Erika Borella de m'avoir si gentilleusement accueillie au sein de son laboratoire.

J'adresse toute ma gratitude à mes participants, sans qui cette thèse n'aurait pas pu se faire. Ils sont toujours venus au laboratoire avec enthousiasme et bonne humeur, toujours fidèle aux séances

Je tiens à remercier ma famille Lorraine qui malgré la distance a toujours été présente : mes parents pour leur soutien sans faille et la fierté que je lis dans leurs yeux. Papa, merci d'avoir toujours trouvé les mots justes pour m'encourager ; maman, merci pour toute ton aide dans mon travail et pour tous les conseils et le soutien que tu as pu m'apporter. Merci à mon frère et ma sœur pour leurs présences à mes côtés en Bretagne et à Tours. Enfin merci à mes grands-

parents, mes tantes, mes oncles et mes cousins pour tous ces beaux moments partagés ensemble qui sont pour beaucoup dans la réussite de cette thèse.

Un grand merci à ma famille Bretonne : Je tiens à remercier énormément Annie et Pascal pour m'avoir intégrée dans la famille, m'avoir logée avec mes chevaux, m'avoir soutenue et épaulée. Merci à Céline et Dylan pour tous les bons moments de joie, de rires et de fêtes passés ensemble. Merci à ma belle famille bretonne.

Merci aussi à tous mes amis bretons : Steph, Max, Nico, Clarisse, Barbara, Coco, Aude, Guillaume, Alex, Pamela, Vincent, Fonfon.... Pour tous ces moments de fête et de partages qui m'ont permis de déconnecter de temps en temps.

Merci Anaïs d'être mon amie depuis si longtemps, bien que les moments passés ensemble sont rares, ils ont toujours été essentiels pour moi.

Je tiens aussi à remercier tous mes amis cavaliers pour ces aventures à cheval, ces moments passés en concours qui m'ont permis de vivre pleinement ma passion et de la partager avec vous. Merci à la famille Lemoine pour toute l'aide et la joie qu'ils m'ont apporté depuis toutes ces années à partager notre passion.

Je ne peux pas remercier tout ce qui a fait que cette thèse a été réussie sans parler de mes chevaux Katina et Goldy, qui même sans parole ont été une réelle bouffée d'oxygène.

Enfin merci à Maxime d'avoir toujours été à mes côtés depuis le début de cette thèse, qui marque d'ailleurs notre rencontre. D'un soutien inébranlable, malgré les séjours à Montréal et en Italie, malgré les difficultés rencontrées pendant cette thèse, tu as toujours cru en moi, tu sais m'apaiser et sans ta présence à mes côtés, je ne pense pas que j'aurais pu surmonter toutes les épreuves de ces quatre dernières années.

LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES.....	11
ABREVIATIONS	13
INTRODUCTION GENERALE	14
CADRE THEORIQUE	16
CHAPITRE 1 : MEMOIRE EPISODIQUE ET VIEILLISSEMENT	17
1. <i>Stratégies d’encodage et de récupération pour une mémorisation optimale.....</i>	19
2. <i>Déficit de mémoire lié au vieillissement : modification du comportement stratégique</i>	22
3. <i>Substrats neurobiologiques de la mémoire épisodique.....</i>	25
4. <i>Apport de l’imagerie cérébrale dans l’analyse des capacités en mémoire épisodique au cours du vieillissement.....</i>	27
CHAPITRE 2 : L’HYPOTHESE DYSEXECUTIVE.....	29
1. <i>Les fonctions exécutives : définition et substrats cérébraux.....</i>	30
2. <i>Le déficit des fonctions exécutives comme facteur explicatif des effets du vieillissement sur la mémoire épisodique.....</i>	32
3. <i>Liens entre fonctions exécutives et utilisation stratégique en mémoire épisodique dans le vieillissement.....</i>	33
CHAPITRE 3 : OPTIMISATION DES PERFORMANCES COGNITIVES DANS LE VIEILLISSEMENT : RESERVE COGNITIVE, PLASTICITE COGNITIVE ET CEREBRALE ET STIMULATION AU COURS DU VIEILLISSEMENT.....	35
1. <i>Réserve cognitive, réorganisation cérébrale et plasticité cérébrale</i>	36
a. <i>Réserve cognitive : les modèles passifs et actifs de la réserve cognitive dans le vieillissement.....</i>	36
b. <i>Vieillessement et bénéfices associés aux différentes interventions cognitives: les modèles opposés de compensation vs. magnification</i>	40
2. <i>Pratique vs. Entraînement des fonctions exécutives</i>	43
a. <i>Pratique exécutive.....</i>	43
b. <i>Entraînement cognitif.....</i>	46
c. <i>Apport de l’imagerie cérébrale dans l’explication des effets de l’entraînement.....</i>	50
PROBLEMATIQUE.....	52
PARTIE EXPERIMENTALE	56
CHAPITRE 1 : EFFET DE LA PRATIQUE REPETEE DE TESTS EXECUTIFS	58
1. <i>Expérience 1 : La pratique répétée du Trail Making Test réduit les différences liées à l’âge sur la performance à ce test</i>	59
2. <i>Expérience 2 : Les adultes âgés bénéficient plus de la pratique du Stroop test par rapport aux jeunes adultes et avec un rythme de progression différent, leurs niveau d’étude module leurs bénéfices</i>	85
CHAPITRE 2 : VALIDATION DE NOUVEAUX TESTS EXECUTIFS.....	108
1. <i>Etude 3 : Proposition de nouvelles mesures de mise à jour en mémoire de travail : Le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back.....</i>	110

2. Etude 4: Validation de tests exécutifs chez une population souffrant de schizophrénie et chez des adultes âgés sans pathologie	134
CHAPITRE 3 : EFFET DE L'ENTRAÎNEMENT DES FONCTIONS EXECUTIVES SUR LE NIVEAU EXECUTIF ET TRANSFERT DES BENEFICES EN MEMOIRE EPISODIQUE CHEZ DES ADULTES AGES	155
1. Expérience 5: Rôle médiateur des fonctions exécutives dans l'utilisation et l'efficacité des stratégies d'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés	156
2. Expérience 6: Effet de transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif sur l'utilisation stratégique à l'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés	173
CHAPITRE 4 : ENTRAÎNEMENT EXECUTIF ET PLASTICITE CEREBRALE : UTILISATION DE L'ELECTROENCEPHALOGRAPHIE POUR EXPLORER LES PROCESSUS CEREBRAUX SOUS-JACENT AUX BENEFICES LIES A UN ENTRAÎNEMENT EXECUTIF	201
1. Expérience 7 : Entraînement exécutif et activité cérébrale : analyse descriptive des potentiels évoqués de l'effet old/new chez des adultes jeunes, âgés entraînés et âgés contrôles	202
DISCUSSION GENERALE	223
1. <i>Effet de la pratique répétée de tests exécutifs</i>	224
2. <i>Validation de nouveaux tests exécutifs</i>	227
3. <i>Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur le niveau exécutif et transfert des bénéfices en mémoire épisodique chez des adultes âgés</i>	228
4. <i>Entraînement exécutif et plasticité cérébrale: utilisation de l'électroencéphalographie pour expliquer les processus cérébraux sous-jacents aux bénéfices liés à un entraînement exécutif</i>	230
CONCLUSION.....	234
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	236
ANNEXES.....	268

Liste des Tableaux

CADRE THEORIQUE :

Chapitre 3 : Optimisation des performances cognitives dans le vieillissement : réserve cognitive, plasticité cognitive et cérébrale et stimulation au cours du vieillissement

- *Tableau I : Variété des protocoles et des résultats dans la littérature sur la pratique exécutive au cours du vieillissement*

- *Tableau II : Variété des protocoles et des résultats dans la littérature sur l'entraînement de la mémoire de travail et les fonctions exécutives au cours du vieillissement*

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 1 : Effet de la pratique répétée de tests exécutifs

Expérience 1 : *La pratique répétée du Trail Making Test réduit les différences liées à l'âge sur la performance à ce test*

- *Tableau I : Moyennes (écart-type) des caractéristiques des participants (haut) et des habilités cognitives (bas) chez les jeunes adultes et les adultes âgés dans les conditions de pratique et de contrôle et les résultats des ANOVAs (Groupe d'âge x Condition)*

- *Tableau II: Moyennes (écart-type) des temps utilisés (en secondes) pour effectuer la planche B du TMT en pré- et post- test chez les jeunes adultes et les adultes âgés dans les conditions de pratique et de contrôle et résultats des ANOVAs (Groupe d'âge x Condition)*

- *Tableau III: Série d'ANOVAs présentant les effets du Groupe d'âge, de la session et l'interaction entre ces 2 facteurs sur les performances au TMT en fonction du nombre de sessions de pratique incluses dans l'analyse (1 à 10)*

Expérience 2 : *Les adultes âgés bénéficient plus de la pratique du Stroop test par rapport aux jeunes adultes et avec un rythme de progression différent, leur niveau d'étude module leurs bénéfices*

- *Table I: Means (and Standard deviations) of characteristics (top) and of cognitive abilities (bottom) in Young adults and in Older Adults in the inhibition practice and in the control conditions (Experiment 1) and P-values of ANOVAs effects.*

- *Table II: Means (and SD) of time used to do the C card at pre-test and post-test for each group in the Practice and Control Condition*

- *Table III: P-values of planned comparisons between pre-test and the n-trial to test the gain in C card of the Stroop test in the two experimental groups.*

Chapitre 2 : Validation de nouveaux tests exécutifs

Expérience 3 : *Proposition de nouvelles mesures de mise à jour en mémoire de travail : Le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back*

- *Tableau I : Moyennes, écarts-types, minimum et maximum obtenus pour les tests de référence : N-Back, Running Span et PASAT et pour les tests à valider : 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back (partie gauche du tableau), ainsi que les scores d des tests de Kolmogorov-Smirnov obtenus pour les tests à valider (partie droite du tableau).*

- *Tableau II: Moyennes, écarts-types, minimum et maximum obtenus à chacune des deux parties des tests à valider : 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back (partie gauche du tableau), valeur des tests t comparant la 1^{ère} partie et la 2^{ème} partie de chacun des tests à valider ainsi que les valeurs r des corrélations de Bravais-Pearson entre la première et la deuxième partie de chacun des tests à valider (partie droite du tableau)*

- *Tableau III: Corrélations de Bravais-Pearson entre les scores obtenus aux tests exécutifs de référence (N-Back, Running Span, PASAT) et ceux obtenus aux tests à valider (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back) dans l'Etude 1.*

Expérience 4: *Validation de tests exécutifs chez une population souffrant de schizophrénie et chez des adultes âgés sans pathologie*

- *Tableau 1 : Moyennes (et écarts-type) des caractéristiques des groupes*

- *Tableau 2 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests évaluant la flexibilité mentale*

- *Tableau 3 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests de référence évaluant l'inhibition*

- *Tableau 4 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests évaluant la mise à jour*

- *Tableau 5 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests de référence pour la fonction de flexibilité mentale*

- *Tableau 6 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests de référence pour la fonction d'inhibition*

- *Tableau 7 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests standardisés pour la fonction de mise à jour*

Chapitre 3 : Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur le niveau exécutif et transfert des bénéfices en mémoire épisodique chez des adultes âgés

Expérience 5: *Rôle médiateur des fonctions exécutives dans l'utilisation et l'efficacité des stratégies d'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés*

- *Table 1: Means (and SD) of demographics characteristics of each age group*

- *Table 2: Means (and SD) of executive functions, the selection, the efficiency and the Cued-recall depending on the depth strategy (deep or shallow) and the total recall in each age group*

- *Table 3: Correlations between executive functions and the efficiency, the selection and the cued recall, depending on the depth strategy (deep or shallow) and the total recall in older adults*

Expérience 6: Effet de transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif sur l'utilisation stratégique à l'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés

- Tableau I : Moyennes et écart-types des variables démographiques et psychométriques des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des Fs obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

- Tableau II: organisation des séances d'expérimentation du groupe contrôle (habituation)

- Tableau III : organisation des séances d'expérimentation du groupe expérimental (entraîné)

- Tableau IV: Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des Fs obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle).

- Tableau V : Moyennes et écart-types de scores de mémoire épisodique obtenus dans les trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des Fs obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

- Tableau VI : Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs en post-test et les gains associés liés aux sessions d'entraînement ou d'habituation dans les groupes âgés entraînés et contrôle

- Tableau VII : Moyennes et Ecart-types des scores de vitesse de traitement et des performances en mémoire épisodique en post-test ainsi que les gains associés liés aux sessions d'entraînement ou d'habituation dans les groupes d'adultes âgés entraînés et contrôles.

- Tableau VIII : Pourcentage d'individu ayant progressé entre le pré-test et le post-test dans le groupe entraîné et dans le groupe contrôle

- Tableau IX: Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et valeurs des Fs obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

- Tableau X : Moyennes et écart-types de scores de mémoire épisodique obtenus dans le groupe d'adultes jeunes en pré-test et les deux groupes d'adultes âgés en post-test: âgés entraînés et âgés non entraînés et valeurs des Fs obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

Expérience 7 : Entraînement exécutif et plasticité cérébrale: utilisation de l'électroencéphalographie pour expliquer les processus cérébraux sous-jacent aux bénéfices liés à un entraînement exécutif

- Tableau I : Moyennes et écart-type des caractéristiques des participants ayant obtenu suffisamment d'évènements pour être inclus dans les analyses EEG dans chacun des trois groupes jeunes, âgés entraînés et âgés contrôles.

- Tableau II moyennes et écart-types du nombre de mots correctement rappelés (items old : mots produits et reconnus) dans les trois groupes (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

- Tableau III : Tableau récapitulatif des effets old/new sur les quatre sites d'intérêt obtenus avec les analyses post-hoc sur les différentes fenêtres temporelles chez les adultes jeunes en pré-test et chez les adultes âgés contrôles et entraînés en pré-test et en post-test

Liste des Figures

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 1 : Effet de la pratique répétée de tests exécutifs

1. Expérience 1 : *La pratique répétée du Trail Making Test réduit les différences liées à l'âge sur la performance à ce test*

- *Figure 1 : Evolution du temps mis pour effectuer la partie B du TMT au cours des sessions de pratique chez les jeunes adultes et les adultes âgés*

2. Expérience 2 : *Les adultes âgés bénéficient plus de la pratique du Stroop test par rapport aux jeunes adultes et avec un rythme de progression différent, leurs niveau d'étude module leurs bénéfices*

- *Figure 1: Evolution of the time used to perform the C card of the Stroop test across practice sessions in the younger adults and older adults*

Chapitre 3 : Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur le niveau exécutif et transfert des bénéfices en mémoire épisodique chez des adultes âgés

3. Expérience 7 : *Entraînement exécutif et plasticité cérébrale: utilisation de l'électroencéphalographie pour expliquer les processus cérébraux sous-jacent aux bénéfices liés à un entraînement exécutif*

- *Figure 1: Grandes moyennes des potentiels évoqués associés aux items old et new au niveau frontal gauche et droit (FG et FD) et pariétal gauche et droit (PG et PD) uniquement en pré-test chez les adultes jeunes et en pré-test ainsi qu'en post-test dans les deux groupes d'adultes âgés (entraînés vs. contrôles)*

- *Figure 2 : Topographie des cartes représentant les différences moyennes d'activité électrique entre les items old et new (effet old/new) uniquement en pré-test chez les adultes jeunes et en pré-test et post-test chez les adultes âgés (entraînés et contrôles)*

*au niveau frontal gauche et droit et pariétal gauche et droit entre 300 et 500ms,
entre 500 et 700 ms, entre 700 et 1000 ms et entre 1000 et 1400 ms.*

Abréviations

ANOVA : Analyse Of VAriance

CERNI : Comité d’Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles

Dm : Difference for subsequent Memory

EEG : ElectroEncéphaloGraphie

EOG : Electrode Œil Gauche

ERPs : Event Related Potentials

FD : Frontal Droit

FG : Frontal Gauche

fNART : National Adult Reading Test version française

HADS : Hospital Anxiety and Depression Scale

IRMf : Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle

MEG : MagnétoEncéphaloGraphie

MMSE : Mini Mental State Examination

ms : milliseconde

MNESIS: Memory NEo-Structural Inter-Systemic

PASAT : Paced Auditory Serial Addition Test

PD : Pariétal Droit

PEs : Potentiels Evoqués

PG : Pariétal Gauche

RI: Rappel Indiqué

STAI: State Trait Anxiety Inventory

TEP : Tomographie par Emission de Positrons

TMT : Trail Making Test

VVIQ: Visual Vividness Imagery Questionnaire

WAIS-III : Wechsler Adult Intelligence Scale-III

WCST : Wisconsin Card Sorting test

μ V : microvolte

INTRODUCTION GENERALE

Le vieillissement de la population est un phénomène mondial, tant en Europe et notamment en France et en Italie, qu'en Amérique du nord, au Canada par exemple. En effet, la population âgée de plus de 60 ans ne cesse de croître depuis des années. La problématique de cette situation n'est pas le vieillissement en soi mais tout ce qui s'y rattache, les pathologies associées, la dépendance. En effet, d'après Eurostats, le taux de dépendance des personnes de plus de 65 ans est de 33,1% en France et en Italie par exemple. Cette dépendance aux soins et à une aide extérieure, réduisant l'autonomie des individus, présente un coût pour la société mais aussi pour l'individu lui-même, son bien-être étant affecté par cette situation. Le vieillissement est un phénomène complexe qui touche de nombreux aspects de la personne, tant psychologiques que biologiques. Il ne présente pas les mêmes caractéristiques d'un individu à l'autre et une grande variabilité est observée au sein de la population âgée. La recherche s'attèle donc à trouver des explications à cette disparité entre deux personnes vieillissantes mais aussi à trouver des solutions pour pallier la diminution de l'autonomie liée à l'avancée en âge. Au niveau du fonctionnement cognitif, il a été démontré que le vieillissement altère de nombreuses fonctions. Cependant, toutes les fonctions cognitives ne sont pas atteintes et pas de la même façon d'un individu à l'autre. Lorsqu'elles existent, ces atteintes peuvent avoir une incidence sur la qualité de vie. Dans ce contexte, un des intérêts d'étudier l'évolution des capacités cognitives au cours du vieillissement est de trouver des moyens de réhabiliter les fonctions qui déclinent.

L'objectif de ce travail de thèse était d'examiner la possibilité d'amélioration des performances cognitives grâce à la pratique de tests exécutif ou à un entraînement de type exécutif afin d'augmenter le niveau cognitif et notamment les capacités mnésiques d'un individu. De nombreuses études ont tenté de remédier aux déficits mnésiques liés au vieillissement en proposant des programmes d'entraînement spécifiques de la mémoire. Cependant, aucune n'a réussi à obtenir des effets de transfert à des tâches autres que celles entraînées. La nouveauté dans cette recherche était d'agir sur les fonctions exécutives. Ces fonctions, comme nous le verrons, sont altérées dans le vieillissement, et impliquées dans la mémorisation d'informations. L'objectif de cette thèse était de montrer 1) qu'il est possible d'améliorer les fonctions exécutives grâce à la pratique ou à un entraînement de celles-ci et 2) que les bénéfices de l'entraînement pourraient se transférer à la mémoire 3) d'explorer les corrélats neuronaux sous-jacents aux effets de l'entraînement sur une tâche de mémoire.

CADRE THEORIQUE

Chapitre 1 : Mémoire épisodique et
vieillesse

La mémoire épisodique est le sous-système qui, dans l'évolution phylogénétique, est apparu le plus tardivement (modèle *SPI*, Sérial-Parallèle-Indépendant, Tulving, 1991). Elle permet l'encodage et le rappel d'une information avec tous les détails liés à son contexte d'acquisition. En effet, les informations dans cette mémoire sont enregistrées avec leurs caractéristiques temporelles et spatiales. Un individu peut ainsi, pour retrouver une information en mémoire épisodique, se "déplacer mentalement" dans son passé. Cette mémoire est également le socle de l'identité individuelle puisque toutes les expériences personnelles d'un individu participent à la construction de son identité. Du fait de la complexité des caractéristiques des informations contenues en mémoire épisodique (i.e., les informations elles-mêmes associées à des détails contextuels), l'encodage et la récupération d'informations dans ce système de mémoire nécessitent un effort cognitif (Anderson, Craik, & Naveh-Benjamin, 1998).

La mémoire épisodique est incluse dans un ensemble complexe de systèmes mnésiques. Le modèle MNESIS (*Memory NEo-Structural Inter-Systemic*) décrit par Eustache et Desgranges (2008) décrit ces sous-systèmes mnésiques. Ainsi, la mémoire procédurale (mémoire des savoir-faire) et le système de représentations perceptives (système qui traite et représente l'information relative à la forme et à la structure mais non à la signification des informations) sont associés à un faible niveau de conscience (anoétique). La mémoire sémantique correspond au stockage organisé de connaissances générales sur le monde (concepts, vocabulaire...), sans souvenir de l'origine de ces connaissances (elles ne sont pas associées à leur contexte d'acquisition). La mémoire de travail (stockage et manipulation des informations à court terme) permet le maintien temporaire d'une information en mémoire afin que cette information soit traitée et manipulée pendant des tâches cognitives plus complexes. Ces deux systèmes de mémoire sont associés à un niveau de conscience noétique, c'est-à-dire que l'individu a conscience du contenu de sa mémoire, mais pas du contexte d'acquisition. Enfin, la mémoire épisodique est associée à un niveau de conscience auto-noétique selon lequel l'individu a à la fois conscience des informations et de leur contexte d'acquisition, ce qui permet de revivre des événements par le biais d'une sorte de voyage mental dans le temps. Cet aspect de la mémoire épisodique permet également de se projeter dans l'avenir. Les interactions entre les différents sous-systèmes mnésiques sont essentielles car elles permettent l'optimisation de la mémorisation, notamment à travers l'utilisation de stratégies. Par exemple, lors de l'activation de la signification d'une information (traitement sémantique) ou l'élaboration d'une

image mentale, deux stratégies efficaces servant à l'encodage durable d'informations en mémoire épisodique, la mémoire sémantique et les représentations perceptives, sont utilisées. Les interactions entre les différents systèmes de mémoire qui permettent des mécanismes de reconstruction, illustrent l'aspect dynamique de la mémoire. La mise en lien de ces sous-systèmes sur laquelle s'appuient les stratégies de mémoire nécessite de recruter des ressources cognitives.

1. Stratégies d'encodage et de récupération pour une mémorisation optimale

Dans le domaine de la mémoire épisodique, de nombreuses études ont cherché à identifier les processus mis en place à l'encodage et/ou à la récupération, permettant une performance mnésique optimale. L'encodage est l'opération qui permet la transformation d'un stimulus en trace mnésique. Craik et Lockhart (1972) ont distingué différents niveaux de traitement à l'encodage, allant d'un traitement superficiel et peu profond (le traitement porte sur la structure physique de l'information cible, par exemple le participant doit compter le nombre de voyelles qui composent le mot) à un traitement sémantique et profond (le traitement porte sur la signification de l'information cible, par exemple en faisant une phrase utilisant le mot à mémoriser). Plus un traitement à l'encodage est profond, plus la trace mnésique sera robuste et durable, et plus la récupération de l'information sera aisée. Ces différents types d'encodage correspondent à des stratégies pouvant être mises en place au moment de l'apprentissage. Ainsi, un individu a la possibilité d'initier différentes stratégies pour encoder une information. En psychologie cognitive, le terme de stratégie a été défini comme "une procédure ou un ensemble de procédures permettant aux participants d'atteindre leur but" (Lemaire & Siegler, 1995). Quatre dimensions stratégiques ont été proposées par ces auteurs. Le *répertoire* correspond à l'ensemble des stratégies disponibles, la *distribution* représente la fréquence d'utilisation d'une stratégie donnée, la *sélection* qualifie la capacité à choisir une stratégie parmi d'autres, enfin l'*exécution* désigne l'implémentation effective de la stratégie.

Différentes stratégies mises en place lors de l'encodage d'informations verbales, notamment des mots, ont été identifiées dans la littérature. L'imagerie mentale, qui représente la capacité à se représenter mentalement un stimulus sous forme d'image est une stratégie efficace pour encoder des informations verbales en mémoire. En effet, d'après la théorie du

double codage (Paivio & Csapo, 1973), lors de l'apprentissage d'informations verbales comme des mots par exemple, il serait possible de créer des représentations mentales imagées de ces informations, favorisant un double codage imagé et verbal. Ce double codage de l'information optimise l'enregistrement et la récupération de cette information. Des études ont confirmé l'effet de ce double encodage en manipulant la nature de l'information présentée. Par exemple, dans l'étude de Paivio et Csapo (1969), les mots à mémoriser étaient soit des mots concrets faciles à partir desquels il était facile de créer une image mentale (chat, maison), soit des mots abstraits pour lesquels la possibilité de création d'une image mentale était réduite (confiance, liberté). Les mots concrets étaient alors mieux rappelés que les mots abstraits. Cependant, comme le double codage nécessite du temps, si le temps d'encodage est réduit, le double codage ne peut pas se mettre en place (Paivio & Csapo, 1971; Plaie & Thomas, 2008). De plus, nous avons montré récemment que la création de cette image mentale étant plus coûteuse en ressources cognitives qu'un encodage moins profond reposant sur des processus perceptifs (Burger, Uittenhove, Lemaire, & Taconnat, sous presse).

Le traitement sémantique est également un type d'encodage profond et efficace. Il consiste à prendre en considération le sens de l'information lors de sa mémorisation, en activant par exemple, en mémoire sémantique, la catégorie du stimulus, ou bien un synonyme, un associé sémantique, ou en produisant une phrase simple incluant ce stimulus (Craik & Lockhart, 1972, Craik & Tulving, 1975).

Enfin, une stratégie superficielle de type « répétition » par exemple est considérée comme un encodage peu profond et automatisé qui ne va pas favoriser une mémorisation optimale. Ici, la tâche d'encodage repose uniquement sur un traitement perceptif, dirigé par la tâche ou le stimulus lui-même (répéter un mot plusieurs fois pour le retenir, compter le nombre de syllabes) et est peu coûteuse en ressources cognitives (Burger et al., sous presse). En effet, ce type d'encodage ne nécessite pas la récupération d'informations en mémoire sémantique comme c'est le cas pour le traitement sémantique, ou même l'imagerie mentale. L'effort déployé lors de l'encodage est donc moins important, la trace mnésique est plus faible et l'information moins facilement récupérable.

Notons qu'une stratégie efficace de mémoire repose donc sur la mise en lien des informations stockées dans différents systèmes de mémoire, par exemple, la mémoire épisodique et la mémoire sémantique.

La récupération correspond aux opérations permettant l'accès à l'information mémorisée. L'accès à ces informations dépendrait de la récupération des opérations réalisées au moment de l'encodage (Tulving & Thompson, 1973). Elle peut s'appuyer sur deux types de processus : la remémoration et la familiarité. Ainsi, la récupération est dépendante du degré de conscience associée à la recherche d'informations. La récupération peut dépendre de processus contrôlés coûteux en ressources attentionnelles (Schneider & Shiffrin, 1977) lorsque la recherche de l'information est consciente et volontaire (remémoration), la récupération de l'information cible est alors associée à son contexte d'apprentissage. Au contraire, la récupération d'une information peut reposer sur un accès automatique et non coûteux en ressources, basé sur un sentiment de familiarité défini par le sentiment de connaître l'information sans pour autant pouvoir l'associer au contexte d'apprentissage. Le paradigme *Remember/Know (R/K)* permet d'évaluer les processus de familiarité et de remémoration (voir pour revues Gardiner, 1988; Gardiner & Java, 1993; Rajaram, 1993; Richardson-Klavehn, Gardiner, & Java, 1996). Ce paradigme consiste à demander aux participants, après une tâche de reconnaissance ou de rappel, si le souvenir de l'item rappelé ou reconnu est associé à son contexte d'acquisition (réponse *R*) correspondant aux processus de remémoration, ou bien si le souvenir de l'item est basé sur un sentiment de familiarité, où le contexte d'acquisition ne serait pas récupéré (réponse *K*).

Il existe différentes épreuves de niveaux de difficulté variable pour évaluer le fonctionnement de la mémoire épisodique lors de la phase de récupération d'informations en mémoire. Nous pouvons citer la reconnaissance, le rappel indicé et le rappel libre. Lors d'une tâche de reconnaissance, les individus doivent identifier des informations étudiées lors de la phase d'apprentissage parmi des distracteurs non présentés lors de la phase d'apprentissage. Lors d'une épreuve de rappel indicé, le participant doit rappeler tous les items appris dont il se souvient à l'aide d'indices qui vont guider sa recherche de l'information en mémoire. Le rappel libre a été identifié comme étant la tâche la plus difficile car elle nécessite des processus auto-initiés au moment de la recherche en mémoire (Craik, 1986) puisque le participant doit rechercher et rappeler une information mémorisée sans qu'aucune aide externe, tels des indices, ne soit proposée. La récupération nécessite des indices pour retrouver le souvenir. D'après Tulving et Thompson (1973), les indices les plus efficaces sont ceux activés au moment de l'encodage. Ces indices doivent être générés par l'individu de façon auto-initiée, lorsque la

tâche n'en propose pas. Ainsi, les éléments du contexte d'encodage peuvent donc, lors de certaines épreuves comme le rappel indicé, servir d'indices de récupération.

L'examen des processus cognitifs lors de tâches mnésiques a permis d'identifier les mécanismes d'encodage et de récupération qui sous-tendent des performances de mémoire optimales. Ainsi, l'utilisation de stratégies efficaces à l'encodage et à la récupération permet de meilleures performances en mémoire mais elle est difficile à mettre en place et nécessite du temps.

2. Déficit de mémoire lié au vieillissement : modification du comportement stratégique

La diminution des capacités mnésiques avec l'avancée en âge est un des faits les plus probants dans la littérature sur le vieillissement (Bastin, Simon, Kurth, Collette, & Salmon, 2013 ; Collette & Salmon, 2014 ; Desgranges, Eustache, & Rioux, 1994 ; Fay, Isingrini, & Clarys, 2005 ; Giffard, Desgranges, & Eustache, 2001 ; Isingrini & Taconnat, 1997). Cependant, alors que certains systèmes mnésiques sont très touchés par le vieillissement, d'autres sont plus faiblement atteints voire améliorent leur fonctionnement au cours du vieillissement. En effet, parmi les systèmes mnésiques, la mémoire procédurale, qui est la mémoire des savoir-faire, ne semble pas être touchée par le vieillissement. Les habilités acquises au cours de la vie restent intactes comme par exemple jouer d'un instrument de musique (Krampe & Ericsson, 1996). Cependant, l'acquisition de nouvelles habiletés n'est pas autant épargnée par le vieillissement, et les résultats restent contradictoires avec parfois aucun effet d'âge (Charness & Campbelle, 1988 ; Chauvel, Maquestiaux, Didierjean, Joubert, Dieudonné, & Verny, 2011 ; Hoyer & Verhaeghen, 2006) alors que d'autres études mettent en évidence que les adultes âgés présentent plus de difficultés d'apprentissage (e.g., Chasseigne, Lafon, & Mullet, 2002 ; Giffard et al., 2001). De la même façon, la mémoire sémantique est relativement préservée au cours du vieillissement (Botwinick, 1984 ; Salthouse, 1988, voir Park, Lautenschlager, Hedden, Davidson, Smith, & Smith, 2002). En revanche, la mémoire de travail et la mémoire épisodique sont altérées avec l'avancée en âge (e.g., mémoire de travail : Salthouse & Babock, 1991 ; mémoire épisodique : Isingrini & Taconnat 2008 ; Luo & Craik, 2008; McDaniel, Einstein, & Jacoby, 2008 ; voir Balota, Dolan, & Duchek, 2000 pour revue).

La mémoire épisodique est particulièrement touchée par le vieillissement (e.g., Isingrini & Taconnat, 1997, 2008 ; Luo & Craik, 2008; McDaniel, Einstein, & Jacoby, 2008) ce qui

semble avoir d'importantes répercussions dans la vie quotidienne des adultes âgés. De ce fait, ce sont les déficits les plus relatés par les adultes âgés eux-mêmes lorsqu'ils sont interrogés sur les modifications cognitives qu'ils ressentent au cours du vieillissement. Expérimentalement, ces déficits ont été mis en évidence avec différentes épreuves. Celles nécessitant des processus auto-initiés comme le rappel libre sont les plus affectées par le vieillissement par rapport à des tâches offrant une aide à la récupération comme les tâches de rappel indicé ou de reconnaissance (e.g., Craik & McDowd, 1987 ; Rabinowitz, 1984 ; Taconnat et al., 2007 ; voir Spencer & Raz, 1994 pour revue). Lors de l'encodage ou la récupération d'information en mémoire, des processus stratégiques sont mis en place pour s'assurer d'une mémorisation et d'une récupération optimale de l'information en mémoire épisodique (e.g., Craik & Lockhart, 1972 ; Paivio & Csapo, 1969 ; voir Lemaire, 2015 pour revue) et la qualité de la mémorisation dépend de ces processus stratégiques (voir Froger, Toczé & Taconnat, 2014, et Lemaire, 2010, 2015 pour revues). Le déficit lié au vieillissement en mémoire épisodique est en partie expliqué par le déficit de production stratégique (Craik, 1986; Craik & Byrd, 1982 ; Kausler, 1994 ; Uittenhove, Burger, Taconnat & Lemaire, 2015). Les stratégies diffèrent par leur efficacité et par leur coût d'initiation et d'exécution. Une stratégie est considérée comme complexe et difficile à mettre en place lorsqu'elle requiert un nombre de processus (voir Lemaire, 2015). Une stratégie difficile nécessite donc plus de processus cognitifs, d'effort et de ressources cognitives pour être exécutée (Duchek, 1984 ; Eysenck & Eysenck, 1979 ; Rabinowitz, Craik, & Ackerman, 1982). Les études sur le vieillissement cognitif ont montré que l'efficacité de la stratégie « image mentale » était diminuée avec l'avancée en âge (e.g., Bruyer & Scailquin, 2000 ; Dror & Kosslyn, 1994 ; Dunlosky & Hertzog, 2001 ; Plaie & Isingrini, 2003). Birggs, Raz, et Marks (1999) ont montré, en utilisant plusieurs tâches d'imagerie mentale (perception, génération, rotation) lors de l'encodage, que les capacités d'imagerie mentale étaient altérées avec le vieillissement, et que cette altération s'expliquait par un déficit des capacités de contrôle exécutif (dans leur étude, la mémoire de travail), chez les adultes âgés. D'autres études ont montré que les adultes âgés utilisaient à la fois moins de stratégies d'imagerie mentale que les jeunes adultes (Dunlosky & Hertzog, 2001 ; Froger et al., 2012 ; Tournier & Postal, 2011 ; voir Froger, Toczé, & Taconnat, 2014 pour revue) et que lorsqu'ils étaient incités à utiliser cette stratégie, elle s'avérait moins efficace que pour les adultes jeunes (Burger, Uittenhove, Lemaire, Taconnat, & Lemaire, sous presse). De plus, les adultes âgés ont tendance à utiliser un nombre de stratégies différentes plus faible que les plus jeunes et à éprouver des difficultés à alterner entre différentes stratégies (Toczé, Bouazzaoui & Taconnat, 2012). Dans l'étude de Dunlosky

et Hertzog (2001), les participants avaient le choix d'utiliser trois stratégies différentes : image, phrase ou répétition. Le nombre de stratégies différentes utilisées par les adultes âgés était significativement inférieur à celui des jeunes adultes. De plus, les adultes âgés comparés aux adultes jeunes, utilisaient plus fréquemment la stratégie phrase et moins fréquemment les stratégies répétition ou image (voir Froger et al., 2012, pour des résultats similaires).

Avec l'avancée en âge, au-delà d'un déficit d'utilisation stratégique à l'encodage, les adultes âgés présentent un déficit de récupération en mémoire. Moins il y a d'indices au moment du test pour guider la recherche en mémoire, plus la récupération nécessite la mise en place de stratégies auto-initiées, ce qui pénalise les adultes âgés. En effet, plusieurs études ont mis en évidence que les adultes âgés avaient des difficultés à mettre en place spontanément des stratégies de récupération efficaces, permettant de retrouver l'information mémorisée (Puglisi, Park, Smith, & Dudley, 1988 ; Sauzéon, N'Kaoua, & Claverie, 2001 ; Taconnat et al., 2007). Les adultes âgés éprouvent plus de difficultés à utiliser les indices les plus efficaces spontanément pour retrouver une information mémorisée, notamment ceux activés ou présents au moment de l'encodage (Craik, 1986). Ainsi, la différence de performances liée à l'âge est modifiée en fonction de la quantité d'indices fournis sur l'information à retrouver et augmente lorsque l'auto-initiation de processus de récupération en mémoire est nécessaire (Taconnat et al., 2007). En revanche, lorsque l'information cible est perceptivement présente (reconnaissance), les adultes âgés, grâce à ce support environnemental, réussissent à accéder à l'information sur la base de la récupération du contexte d'acquisition ou sur la base de la familiarité.

En utilisant le paradigme *R/K*, des études ont mis en évidence que les adultes âgés présentaient une diminution des réponses *R* (*Remember*), correspondant aux items mémorisés avec leur contexte d'apprentissage et une stabilisation voire une augmentation des réponses *K* (*Know*) associées à la familiarité (Bugajska et al., 2007 ; Bunce, 2003 ; Bunce & McReady, 2005 ; Clarys, Isingrini & Gana, 2002 ; Comblain, D'Argembeau, Van der Linden & Aldenhoff, 2004 ; Lövdén, Rönnlund & Nilsson, 2002 ; Prull, Dawes, Martin, Rosenberg & Light, 2006). De plus, la récupération d'informations en mémoire dépendrait de la récupération de la stratégie mise en place à l'encodage (Craik & Lockhart, 1972). Or, les adultes âgés présentent plus de difficultés que les plus jeunes à retrouver la stratégie mise en place lors de l'encodage, même lorsque l'information a été récupérée (Dunlosky et al., 2005).

Le déficit de mémoire lié au vieillissement et notamment en mémoire épisodique peut donc être expliqué en partie par les difficultés éprouvées par les adultes âgés à produire des stratégies efficaces à l'encodage et/ou à la récupération (Dunlosky & Hertzog, 1998, 2000, 2001 ; Dunlosky et al., 2005 ; Froger et al., 2012). Les travaux en imagerie cérébrale ont permis de confirmer que les adultes âgés présentaient à la fois des difficultés à encoder les informations mais aussi à les récupérer (e.g., Cabeza, Nyberg, & Park, 2004 ; Friedman, Nessler, & Johnson, 2007 ; Saverino, Fatima, Sarraf, Oder, Strother, & Grady, 2016).

3. Substrats neurobiologiques de la mémoire épisodique

Les travaux en neuropsychologie sur des patients cérébro-lésés mais aussi plus récemment en neuroimagerie ont permis de mieux caractériser les substrats cérébraux de la mémoire épisodique. Le modèle de Moscovitch et Winocur (1992) propose que la mémoire épisodique se compose de deux systèmes, un système hippocampique responsable des processus de mémoire au sens strict et un système de contrôle frontal qui n'interviendrait pas directement dans la mémoire mais participerait à une mémorisation optimale par la mise en place de stratégies adaptées.

L'imagerie cérébrale peut être utilisée dans une approche morphologique où l'objectif est de décrire les structures cérébrales (volume, fibres nerveuses, ...) ou dans une approche fonctionnelle où c'est l'activité cérébrale qui est analysée. Il existe différentes techniques d'imagerie fonctionnelle pour mettre en lien le fonctionnement cognitif et l'activité cérébrale. Des techniques métaboliques et hémodynamiques (La Tomographie par Emission de Positons : TEP et L'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle : IRMf) et des techniques électriques et magnétiques (la magnétoencéphalographie : MEG et l'électroencéphalographie EGG). La TEP et l'IRMf sont des techniques d'imagerie qui ont l'avantage de présenter une très bonne résolution spatiale (distinction de 3 à 5 mm) mais une faible résolution temporelle (TEP : distinction à 90 s ; IRMf : distinction 1 à 6 sec). L'EEG mesure l'activité électrique en surface du scalp. Cette technique d'imagerie présente une faible résolution spatiale (> 3cm) mais une excellente résolution temporelle (distinction à 1 ms). Nous nous centrons ici sur la méthode électroencéphalographie (EEG). La méthode des potentiels évoqués (PE) sera utilisée ici, cette méthode permet d'examiner l'activité électrique évoquée spécifiquement par un

stimulus (par exemple : un mot que l'on essaie d'encoder ou un indice à partir duquel on essaie de récupérer une information). L'avantage des PE est qu'ils permettent d'examiner quasiment de façon instantanée les processus d'encodage et de récupération alors que dans les études en comportement, le fonctionnement de ces processus est inféré à partir des performances de mémoire (sans en avoir l'accès direct au moment de l'encodage ou de la récupération).

Plusieurs études se sont intéressées à l'analyse de l'activité électrique cérébrale au moment de l'encodage et de la récupération d'informations en mémoire épisodique, en utilisant la méthode des potentiels évoqués. Afin d'étudier ces processus, différents indicateurs du fonctionnement de la mémoire épisodique peuvent être utilisés : l'effet *Dm* (*Difference for subsequent Memory*) pour la phase d'encodage et l'effet *old/new* pour la phase de récupération par exemple. L'effet *Dm* permet de comparer les activations lors de l'encodage en fonction de la performance ultérieure de mémoire. Il consiste à différencier, au moment de l'encodage, des stimuli qui ont été correctement mémorisés (rappelés ou reconnus ultérieurement) de ceux qui ne l'ont pas été (oubliés). La différence de potentiel entre ces deux conditions reflèterait la réussite de l'encodage en mémoire épisodique. Paller, Kutas et Mayes (1987) ont pour la première fois identifié l'effet *Dm*. Cet effet apparaît entre 300 et 900 ms et consiste en une activité plus positive lorsqu'une information est mémorisée et rappelée, cette activité cérébrale étant majoritairement observable au niveau de la partie cérébrale centro-pariétale et de façon plus tardive dans la partie frontale (Werkle-Bergner, Müller, Li, & Lindenberg, 2006 ; voir pour revue Friedman & Johnson, 2000 ; Paller & Wagner, 2002). L'effet *Dm* est d'autant plus marqué que l'encodage est profond (Paller et al., 1987). Plusieurs études ont montré que l'amplitude de l'effet *Dm* était plus importante pour une condition d'encodage profond (sémantique ou imagé) que pour une condition d'encodage plus superficiel (orthographique, Paller et al., 1987 ; Paller & Wagner, 2002). De plus, Johnson (1995), a démontré que l'effet *Dm* présentait une plus grande amplitude pour les items rappelés librement que ceux non rappelés mais reconnus. D'autres études ont mis en évidence grâce à l'utilisation du paradigme *R/K* que l'effet *Dm* dépendait de l'état de conscience associé à la mémorisation d'une information. Par exemple Friedman et Trott (2000) ont constaté qu'un effet *Dm* était présent au niveau préfrontal gauche pour les items associés au contexte d'apprentissage (réponse *R*) alors que l'effet n'était pas présent pour les items associés à de la familiarité (réponses *K*).

L'effet *old/new*, qui a fait l'objet de beaucoup plus de travaux que l'effet *Dm*, est considéré comme un indicateur du succès des processus de récupération en mémoire

épisode. C'est l'indicateur sur lequel nous nous sommes concentrés dans ce travail de thèse. Cet effet peut être mis en évidence en contrastant les potentiels évoqués par des items précédemment étudiés et correctement reconnus ou rappelés (*old*) et ceux associés aux items non étudiés qui sont correctement rejetés dans une tâche de reconnaissance, ou à la production d'items nouveaux et correctement identifiés comme tels lors d'une tâche de rappel indicé (*new*).

L'activité cérébrale enregistrée grâce à l'EEG lors de la récupération en mémoire montre que les potentiels évoqués par les informations présentées au préalable correctement reconnues (*old*) sont associés à une déflexion positive par rapport aux potentiels évoqués par les informations nouvelles correctement rejetées (*new*) (voir pour revue Allan, Wilding, & Rugg, 1998). C'est cette différence qui est appelée l'effet *old/new*. Cet effet apparaît entre 300 et 400 ms après l'apparition du stimulus et perdure ensuite pendant quelques centaines de millisecondes. Plusieurs composantes de l'effet *old/new* ont été identifiées (Johnson, Kreiter, Russo, & Zhu, 1998) : un effet frontal bilatéral précoce qui apparaît entre 300 et 500 ms qui est associé au processus de familiarité; un effet pariétal plus tardif (entre 500 et 800 ms) qui est souvent latéralisé à gauche, cet effet étant associé à des processus de remémoration ; et un effet frontal (droit) tardif qui apparaît entre 600 et 1000 ms et qui est considéré comme le reflet de processus de contrôle ou d'évaluation qui sont opérés sur les produits de la récupération.

Ces indicateurs électrophysiologiques peuvent être particulièrement utiles pour analyser les effets du vieillissement sur la mémoire (e.g., Angel et al., 2010 ; voir pour revues Friedman, 2003, 2008; Friedman & Johnson, 2000; Friedman et al., 2007).

4. Apport de l'imagerie cérébrale dans l'analyse des capacités en mémoire épisodique au cours du vieillissement

Peu d'étude se sont intéressées directement aux effets du vieillissement sur les corrélats électrophysiologiques à l'encodage en mémoire épisodique. Friedman, Ritter, et Snodgrass (1996) ont mis en évidence qu'après un apprentissage incident de mots, l'effet *Dm* était significatif dans le groupe de sujets jeunes mais pas dans le groupe de sujets âgés. De plus, Friedman & Trott (2000) ont comparé l'effet *Dm* chez des adultes jeunes et âgés selon le niveau de conscience associé aux items mémorisés. Les adultes jeunes présentaient un effet *Dm*

uniquement pour les réponses *R*, c'est-à-dire les informations mémorisées avec leur contexte d'apprentissage. L'effet *Dm* obtenu chez les adultes âgés était présent à la fois pour les réponses *R* et les réponses *K*. Les adultes âgés semblent encoder de la même façon tous les items qui sont ensuite correctement reconnus, qu'ils soient associés au contexte d'apprentissage ou non. Ces résultats suggèrent que les adultes jeunes et les adultes âgés recrutent un réseau cérébral distinct lors de l'encodage en mémoire épisodique. Cette étude renforce l'idée selon laquelle les adultes âgés éprouvent des difficultés à utiliser spontanément des stratégies d'encodage efficaces en mémoire épisodique notamment pour les processus de remémoration (voir pour revue Craik & Jennings, 1992).

Les effets de l'âge sur les différentes composantes de l'effet *old/new* ont été observés dans la littérature. Les résultats des études examinant l'effet du vieillissement sur la composante frontale précoce sont assez contradictoires, alors qu'au niveau comportemental il est bien reconnu que la familiarité n'est que très peu touchée par le vieillissement (Davidson & Glisky, 2002). Alors que certaines études trouvent un effet frontal similaire chez les jeunes et les adultes âgés (e.g., Ally et al., 2008 ; Angel, Fay, Bouazzaoui, Granjon, & Isingrini, 2009 ; Duarter, Ranganath, Trujillo, & Knight, 2006), d'autres ont observé un effet frontal réduit (Ally et al., 2008 ; Duarte et al., 2006) voire absent (Guillaume et al., 2009) chez les adultes âgés.

Plusieurs hypothèses ont été établies concernant les processus cognitifs sous-jacents à l'effet pariétal au cours du vieillissement, celle du processus de remémoration semble être la plus valide (Curran, 2000, 2004 ; Curran, & Cleary, 2003). Au cours du vieillissement, cet effet apparaît plus tardivement (Friedman & Johnson, 2000 ; Friedman et al., 2007), il est moins ample chez des adultes âgés comparativement à des adultes jeunes (e.g., Ally et al., 2008 ; Fjell, Walhovd, & Reinvang, 2005 ; Guillaume et al., 2009 ; Langeslag & Van Strien, 2008 ; Wolk et al., 2008). Parfois, cette composante de l'effet *old/new* est distribuée de façon plus antérieure avec l'avancée en âge (Fjell et al., 2005 ; Walhovd et al., 2006) ou de façon plus symétrique entre les deux hémisphères (Angel et al., 2011).

L'effet frontal tardif est généralement considéré comme un processus de contrôle et d'évaluation effectué sur les items récupérés en mémoire (Friedman & Johnson, 2000, Wilding, 1999). L'amplitude de cet effet tend à diminuer avec l'âge (Senkfor & Van Pettern, 1998 ; Trott et al., 1999 ; Wegesin et al., 2002), la littérature est cependant contradictoire, puisque d'autres études ne mettent pas en évidence d'effet d'âge sur cette composante (e.g., Ally et al., 2008 ; Li et al., 2004 ; Mark & Rugg, 1998).

Chapitre 2 : L'hypothèse dysexécutive

Plusieurs hypothèses ont été proposées pour expliquer les différences liées à l'âge sur diverses tâches cognitives, et en particulier la mémoire. Ainsi, la diminution des performances cognitives au cours du vieillissement peuvent être dues (1) à une diminution des ressources attentionnelles (Rabinowitz et al., 1982). Dans cette hypothèse, la quantité de ressources attentionnelles disponibles pour initier les opérations cognitives serait diminuée chez les adultes âgés, les empêchant de réaliser des tâches de façon optimale. (2) La seconde hypothèse postule que la diminution de la vitesse de traitement observée chez les adultes âgés compromettrait le traitement des informations, et diminuerait ainsi leurs performances cognitives (Salthouse, 1996). (3) L'hypothèse exécutivo-frontale soutient l'idée que l'altération des fonctions exécutives sous-tendues par les régions frontales médierait l'effet du vieillissement sur un grand nombre de tâches, notamment celles nécessitant l'utilisation de stratégies adaptées (West, 1996). Ces hypothèses se rejoignent sur la participation des fonctions mentionnées (attention, vitesse, fonctions exécutives) dans le contrôle cognitif et la distribution des ressources cognitives lors de l'exécution d'une tâche cognitive. Des fonctions de contrôle participeraient donc à une adaptation optimale des processus cognitifs impliqués dans la réalisation d'une tâche. Un déficit dans ces fonctions diminuerait donc l'efficacité et l'adaptabilité du comportement dirigé vers un but, comme la mémorisation. Dans ce travail, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'hypothèse dysexécutive et notamment à la possibilité de réhabiliter ces fonctions à l'aide d'un entraînement spécifique, tant en termes de performance comportementale qu'en termes d'activation cérébrale.

1. Les fonctions exécutives : définition et substrats cérébraux

Les fonctions exécutives ont été définies pour la première fois par Luria (1966). Elles interviennent dans d'autres fonctions cognitives, notamment lorsqu'un individu est confronté à une situation nouvelle pour laquelle les processus routiniers ne permettent pas d'accomplir la tâche (Damasio, 1985 ; Shallice, Burgess, 1991) et lorsque la tâche à effectuer nécessite la synchronisation de différents processus (Elliott, 2003). En tant que fonctions de haut niveau, elles supervisent et contrôlent de nombreux processus comme ceux impliqués dans la mémoire épisodique (e.g., Bäckman & Karlsson, 1986; Bouazzaoui et al., 2013 ; 2014 ; Lezak, 1995; Luria, 1966; Luszcz & Bryan, 1999; Moscovitch & Winocur, 1992 ; Shallice, 1988), le langage (e.g., Peter-Favre & Dewilde, 1999), ou encore la résolution de problème (e.g., Barbey et al., 2012 ; Carpenter, Just, & Shell, 1990; Elliott, 2003 ; Jeantin & Pennequin, 2006). Plus

précisément, en mémoire épisodique, les fonctions exécutives interviendraient dans les aspects stratégiques des processus d'encodage et de récupération en mémoire épisodique (Bugaiska, Clarys, Jarry, Taconnat, Tapia, Vanneste, & Isingrini, 2007; Bunce, 2003; Glisky, Polster, & Routhieaux, 1995; Taconnat et al., 2006, Taconnat et al., 2007 ; Taconnat et al., 2009, 2010 ; Velanova, Lustig, Jacoby, & Buckner, 2007), dans la mémoire de travail (Baddeley, Della Sala, Papagno, & Spinnler, 1997; Collette, Van der Linden, & Salmon, 1999, pour une revue), dans l'encodage du contexte temporel (Shimamura, Janowsky, & Squire, 1990), dans la mémoire autobiographique (Piolino et al., 2007). Miyake et al. (2000) ont identifié trois fonctions exécutives spécifiques : l'inhibition, la flexibilité mentale et la mise à jour de la mémoire de travail. L'inhibition a pour fonction d'empêcher l'activation de processus automatiques et d'ignorer des informations non pertinentes pouvant interférer avec une tâche en cours d'exécution. La flexibilité permet d'alterner entre différent(e)s processus ou tâches cognitives. La mise à jour en mémoire de travail consiste à modifier le contenu de la mémoire de travail de façon à intégrer de nouvelles informations entrantes pertinentes pour la tâche en cours, et à supprimer celles qui ne sont plus utiles. Ces fonctions seraient à la fois distinctes et étroitement liées entre elles car toutes associées à un processus commun qui pourrait être l'inhibition (Collette & Salmon, 2014 ; Miyake & Friedman, 2012).

Plusieurs études ont mis en évidence que les fonctions exécutives sont sous-tendues par les régions frontales (Albert & Kaplan, 1980; Daigneault, Braun, & Whitaker, 1992; Dempster, 1992; Moscovitch & Winocur, 1992; Raz, 2000; West, 1996). En effet, en 1966, Luria a mis en évidence un déficit des capacités exécutives chez des patients cérébro-lésés au niveau des régions frontales. D'autres études utilisant différents tests exécutifs ont confirmé que les patients avec des lésions frontales présentaient des difficultés exécutives (Grafman, Jonas, & Salazar, 1990 utilisant le Wisconsin Card Sorting Test, WCST, qui est une mesure globale des capacités exécutives ; Perret, 1974 utilisant le Stroop qui mesure l'inhibition ; Owen, Downes, Sahakian, Polkey, & Robbins, 1990 utilisant la tour de Londres qui mesure les capacités exécutives dans leur ensemble). Les études en neuroimagerie ont permis de confirmer que les fonctions exécutives étaient essentiellement sous-tendues par le cortex pré-frontal (voir pour revues Collette, Hogge, Salmon, & Van der Linden, 2006; Collette & Van der Linden, 2002).

Les fonctions exécutives jouent un rôle important dans le fonctionnement cognitif. Les capacités exécutives lorsqu'elles sont diminuées, ont un impact direct sur le niveau cognitif.

Ces fonctions sont largement touchées dans le vieillissement et expliquent en grande partie le déclin cognitif observé avec l'avancée en âge.

2. Le déficit des fonctions exécutives comme facteur explicatif des effets du vieillissement sur la mémoire épisodique

Le vieillissement s'accompagne de modifications cérébrales structurales (diminution du volume cérébral, altérations neurochimiques) et fonctionnelles (modifications de l'activité cérébrale associée à la réalisation d'une tâche cognitive). Ces modifications liées au vieillissement apparaissent plus précocement et plus massivement dans les régions frontales (Buckner, 2004; Dennis & Cabeza, 2008; Raz, 2000; West, 1996). Haug et Egger (1991) ont mesuré la réduction du volume cérébrale au cours du vieillissement et ont constaté que celle-ci était différente selon les zones cérébrales. Plus récemment, Raz et al. (2005) ont obtenus les mêmes résultats. En effet, alors que les régions temporales, pariétales, et occipitales diminuent de 1%, les régions frontales présentent une diminution liée au vieillissement de 10%. Des résultats similaires ont été observés dans des recherches qui, en mesurant le débit sanguin dans les régions frontales, ont mis en évidence que dans les zones frontales, celui-ci était diminué chez des adultes âgés par rapport à de jeunes adultes (Cabeza et al., 1997 ; Grady et al., 1995 ; Schacter, Savage, Alpert, Rauch, & Albert, 1996). De plus, des études ayant comparé les effets du vieillissement sur des scores à des tests mesurant des capacités cognitives sous-tendus par différentes régions cérébrales ont mis en évidence une altération plus importante de la performance à des tests exécutifs (frontaux) par rapport à des tests mesurant d'autres fonctions corticales (Mittenberg, Seidenber, O'Leary, & DiGuilio, 1989; Whelihan & Leshner, 1985). Les résultats obtenus en imagerie cérébrale ont permis de confirmer la diminution de l'activation cérébrale liée au vieillissement dans les régions frontales. Les modifications fonctionnelles chez les adultes âgés se traduisent à la fois par des sous-activations mais aussi à des sur-activations dans certaines régions non spécifiques à la tâche (Park & Reuter-Lorenz, 2009).

Le déficit exécutif a été identifié comme une des caractéristiques essentielles du vieillissement qui serait à l'origine d'autres altérations cognitives (Albert & Kaplan, 1980; Rhodes, 2004 ; West, 1996). Ainsi, les adultes âgés présentent une diminution des performances obtenues aux tests évaluant les trois fonctions exécutives décrites par Miyake et al. (2000) comme les mécanismes d'inhibition (Andres & Van der Linden, 2000; Daigneault, Braun, et Whitaker, 1992 ; Hasher & Zacks, 1988b; Souchay, Isingrini, & Espagnet, 2000), de mise à

jour (Clarys, Bugajska, Tapia, & Baudouin, 2009; Van der Linden, Brédart, & Beerten, 1994) et de flexibilité mentale (May & Hasher, 1998 ; Kray, Li, & Lindenberger, 2002). Par ailleurs, de nombreuses études ont montré dans plusieurs domaines cognitifs que les personnes âgées avec un haut niveau exécutif présentaient de meilleures performances (e.g., en mémoire, Angel, Fay, Bouazzaoui, & Isingrini, 2011; Taconnat et al., 2006; Taconnat, Clarys, Vanneste, Bouazzaoui & Isingrini, 2007; organisation, Taconnat et al., 2009; en arithmétique, Duverne & Lemaire, 2004 ; Hodzik & Lemaire, 2011; dans les tâches de planification, Sorel & Pennequin, 2008).

3. Liens entre fonctions exécutives et utilisation stratégique en mémoire épisodique dans le vieillissement

Comme décrit précédemment, les différents niveaux d'encodage identifiés par Craik et Lockhart (1972) correspondent à différents types de traitements, allant du traitement superficiel au traitement profond. Plus le traitement est profond, plus la trace mnésique est robuste et durable, facilitant le rappel de l'information (Craik & Lockhart, 1972; Paivio & Csapo, 1969) mais plus il est plus coûteux en ressources cognitives (Burger et al, sous presse; Duchek, 1984; Eysenck & Eysenck, 1979; Rabinowitz, Craik, & Ackerman, 1982).

Les fonctions exécutives contribuent aux ressources cognitives (Tucker & Stern, 2011). Elles sont clairement impliquées dans les tâches de mémoire, probablement du fait de leur implication spécifique dans l'initiation des stratégies de mémoire. L'étude de Taconnat et al. (2006) a mis en évidence que les capacités à organiser des informations en mémoire épisodique afin de mieux mémoriser les informations étaient expliquées en partie par les capacités exécutives des adultes âgés. Les mêmes auteurs ont confirmé le rôle des fonctions exécutives dans l'utilisation de stratégies de récupération (Taconnat et al., 2007). Malgré le fait qu'un nombre important de recherches ait mis en évidence un lien étroit entre fonctions exécutives et mémoire, peu se sont intéressées aux mécanismes expliquant ce lien. Pourtant, les trois fonctions exécutives identifiées par Miyake et al. (2000) devraient jouer un rôle privilégié dans la mise en place de stratégies de mémorisation. En effet, l'inhibition permet aux individus d'ignorer les informations non pertinentes pour centrer son attention sur des informations pertinentes. Ceci est important quand des stimuli doivent être appris successivement avec différentes stratégies d'encodage, car une stratégie utilisée au préalable doit être inhibée afin de

mettre en œuvre et d'adapter la stratégie suivante au nouveau stimulus présenté. En effet, l'apparition d'un autre stimulus, pour le mémoriser efficacement, peut nécessiter une autre stratégie différente de celle utilisée pour le stimulus précédent. Ainsi, pour adapter au mieux la stratégie à la nouvelle tâche et l'utiliser efficacement, la stratégie précédente doit être inhibée pour ne pas créer d'interférence sur l'implémentation de la nouvelle stratégie. La capacité de mise à jour des informations en mémoire de travail permet le remplacement des éléments qui ne sont plus pertinents pour la tâche en cours par de nouveaux éléments pertinents pour réaliser cette tâche. L'exécution de tâches successives et rapides fait appel à la capacité de mise à jour afin de remplacer les informations en mémoire de travail lors de l'encodage (Uittenhove et al., 2015). La flexibilité participe à une meilleure mémorisation parce qu'elle permet à un individu une meilleure adaptation à la tâche en alternant entre les différentes stratégies ou entre différentes informations.

Bien que le lien entre les fonctions exécutives et les différentes stratégies mnésiques soit suggéré dans de nombreuses études, à notre connaissance, aucune étude n'a analysé directement ce lien. Pourtant, l'utilisation des stratégies d'encodage semble dépendre des ressources cognitives. Une stratégie d'encodage profond devrait être moins utilisée et moins efficace chez les adultes âgées dont les fonctions exécutives sont diminuées. Ainsi, un des objectifs de cette thèse était de mettre en évidence les liens directs entre les fonctions exécutives et l'utilisation de stratégies de mémoire efficaces.

En résumé, le rôle de contrôle des fonctions exécutives sur le fonctionnement d'autres fonctions cognitives, et notamment dans le fonctionnement de la mémoire épisodique semble manifeste. Elles contribuent à la fois à l'intégrité des capacités cognitives mais aussi à l'explication des effets du vieillissement sur la cognition, elles semblent donc être de bonnes cibles pour la réhabilitation cognitive au cours du vieillissement normal. Les fonctions exécutives participent à une adaptation optimale du comportement stratégique à l'encodage et à la récupération d'informations à mémoriser. Le niveau exécutif peut être amélioré par la pratique et l'entraînement. Du fait de la contribution des fonctions exécutives à la mémoire épisodique, il serait intéressant d'examiner la possibilité de transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif sur la mémoire épisodique, à la fois sur les performances et sur l'activité cérébrale qui sous-tend ces performances.

Chapitre 3 : Optimisation des performances
cognitives dans le vieillissement : réserve
cognitive, plasticité cognitive et cérébrale et
stimulation au cours du vieillissement

La réserve cognitive se constitue au cours de la vie et s'exprime au cours du vieillissement mais on peut considérer aussi que la réserve continue de se constituer au cours du vieillissement par des activités stimulantes plus « actuelles » comme l'entraînement ou la pratique par exemple (Stern, 2002, 2009). Dans les deux cas, cela implique une certaine plasticité cognitive (redistribution stratégique) et cérébrale (réorganisation cérébrale). Cette plasticité serait nécessaire, en termes de réorganisation cognitive et neuronale, pour rendre effectif l'impact de la réserve qui se serait constituée à une période antérieure de la vie, mais aussi pour permettre des adaptations compensatoires au cours même du vieillissement.

1. Réserve cognitive, réorganisation cérébrale et plasticité cérébrale

a. Réserve cognitive : les modèles passifs et actifs de la réserve cognitive dans le vieillissement

La réserve correspond à la capacité à surmonter les effets délétères d'une lésion cérébrale, ou une dégénérescence cérébrale, comme celle observée par exemple au cours du vieillissement (Stern, 2002). La notion de réserve est en lien avec le concept de neuroplasticité. La neuroplasticité se réfère à des changements neuronaux structuraux et fonctionnels au cours du développement cérébral normal et en réponse à des demandes et des apprentissages environnementaux (Karbach & Küper, 2016).

Ainsi, la « quantité » de réserve dont disposent les individus pourrait expliquer les différences individuelles en termes de changements neurophysiologiques, neuroanatomiques et neurocognitifs liés au vieillissement. Un même degré de changements cérébraux, inévitables avec le vieillissement, engendrera des déficiences différentes en fonction du niveau initial de réserve cognitive d'un individu. Les différences de symptômes cliniques observés pour un même déficit cérébral peuvent donc être expliquées par la différence en termes de réserve. Par conséquent, la réserve pourrait permettre de compenser les déficits liés à une détérioration cérébrale.

Il existe deux modèles de la réserve : un modèle passif et un modèle actif. Le modèle passif de réserve suggère qu'il existe des différences interindividuelles en termes de structure cérébrale telles que le volume cérébral, le nombre de neurones, de synapses, etc. (Katzman et al., 1988 ; Satz, 1993). Plus récemment, Stern (2002 ; 2009) a proposé de considérer, dans un modèle dit « actif » de la réserve, la notion de réserve cognitive qui interviendrait chez les sujets

sains et chez les patients présentant des atteintes cérébrales. Dans ce cas, la réserve est plutôt définie comme la capacité à « réorganiser » l'utilisation des réseaux cérébraux afin d'optimiser la performance. Cette réorganisation refléterait l'utilisation de stratégies cognitives différentes. Certains indicateurs ont été proposés pour opérationnaliser (quantifier) la réserve cognitive comme le niveau d'études, le QI pré morbide, le niveau de vocabulaire, la profession ou les activités de loisirs (voir Stern, 2009 pour revue; Whalley, Deary, Appleton, & Starr, 2004). Cependant, il n'existe pas encore de consensus sur ce que serait la meilleure indexation de la réserve cognitive.

Cette hypothèse de la réserve cognitive dans le vieillissement normal a été soutenue par plusieurs observations récentes en neuroimagerie suggérant que les adultes âgés sont en mesure de recourir à des mécanismes de compensation qui dans certaines circonstances sont susceptibles de réduire considérablement l'effet délétère du vieillissement sur la cognition. En effet, il existe des phénomènes de réorganisation cérébrale chez les adultes âgés et cette possibilité est fonction du niveau de réserve. Cette réorganisation est potentiellement compensatoire et illustre des phénomènes de plasticité cérébrale. La plasticité est définie par la potentielle modification des habilités cognitives et cérébrales d'un individu (Baltes, 1987; Karbach & Verhaeghen, 2014; Kliegl & Baltes, 1987 ; Lödvén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010). Cette plasticité serait nécessaire, en termes de réorganisation neuronale, pour rendre possible l'impact de la réserve, constituée au cours de la vie, mais aussi pour permettre des adaptations compensatoires au cours du vieillissement. Ainsi, la réserve et les phénomènes compensatoires suggèrent que de la « plasticité cérébrale » et de la « plasticité cognitive » sont encore possibles avec l'avancée en âge. Ces phénomènes de plasticité apparaissent en réponses aux effets délétères du vieillissement. Ainsi, ils s'expriment à la fois grâce à la capacité du système nerveux central de réorganiser son fonctionnement mais aussi grâce à la réorganisation des réponses comportementales.

Différents modèles existent pour rendre compte d'une certaine réorganisation cérébrale compensatoire qui accompagne le vieillissement et qui a été observée dans différents domaines cognitifs, y compris en mémoire épisodique. Les adultes âgés présenteraient parfois des activations supplémentaires, absentes chez les adultes jeunes au cours d'une tâche épisodique. Le modèle *HAROLD* (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*) postule une modification de l'asymétrie hémisphérique fonctionnelle au cours du vieillissement. Par exemple, lors d'une tâche d'encodage en mémoire épisodique, les adultes jeunes activent les

régions pré-frontales gauches alors que les adultes âgés présentent des activations frontales bilatérales (Anderson et al., 2000; Cabeza et al., 1997; Daselaar et al., 2003; Grady et al., 2002; Logan et al., 2002; Rosen et al., 2002; Stebbins et al., 2002). Ainsi, des activations cérébrales supplémentaires dans les régions préfrontales permettraient de compenser les difficultés qui apparaissent au cours du vieillissement dans une tâche de mémoire. Avec l'avancée en âge, on observerait donc une diminution de l'asymétrie hémisphérique (Cabeza, 2002). La diminution de l'asymétrie fonctionnelle pourrait refléter des mécanismes de compensation dans la mesure où ce phénomène s'observe la plupart du temps pour les individus les plus performants (Cabeza, 2002; Reuter-Lorenz & Lustig, 2005). Au contraire, l'hypothèse de dédifférenciation postule que de bonnes performances sont en lien avec la diminution du recrutement de régions spécialisées pour une tâche donnée (Li & Lindenberger, 1999). Ainsi, de bonnes performances sont en lien avec une diminution de l'activation cérébrale. La diminution de l'asymétrie hémisphérique pourrait donc aussi traduire un dysfonctionnement et une incapacité à recruter des régions cérébrales spécialisées et ainsi l'apparition de phénomène de compensation serait nécessaire pour réaliser la tâche. Cette compensation s'expliquerait par le recrutement, lors d'une activation cérébrale initiale, de régions homologues à celle activées par la tâche à effectuer mais dans l'hémisphère opposé.

Le modèle *PASA* (*Postérieur Anterior Shift in Aging*, Davis et al., 2007 ; Dennis & Cabeza, 2008) illustre aussi des phénomènes de compensation. Il postule que la diminution des activations en postérieur chez les adultes âgés est accompagnée d'activations frontales. C'est ce qu'on appelle le *shift* antéro-postérieur qui illustre les réorganisations fonctionnelles qui s'opèrent au cours du vieillissement et permettraient de compenser les déficits liés à l'avancée en âge (Dennis & Cabeza, 2008; Grady, 2008). Ce *shift* s'expliquerait par la nécessité pour les adultes âgés d'utiliser des processus plus contrôlés pour encoder et récupérer efficacement une information en mémoire, contrairement aux jeunes adultes qui semblent encoder et récupérer des informations de façon plus automatique et peu coûteuse (Craik & Rose, 2012). Dans ce sens, une synthèse des études effectuées en IRMf ont indiqué que dans 70% des cas, la performance dans différentes épreuves cognitives était positivement corrélée à une augmentation de l'activité cérébrale (Eyler, Sherzai, Kaup & Jeste, 2011).

Le modèle *CRUNCH* (*Compensation-Related utilisation of Neural Circuits Hypothesis*, Reuter-Lorenz & Cappell, 2008) s'appuie sur l'idée que chez les adultes jeunes et âgés, c'est la difficulté de la tâche et donc le coût des processus nécessaires pour réaliser cette tâche qui

pourrait permettre d'expliquer les phénomènes de sur-activation frontale généralement observés. Lorsque la tâche cognitive à effectuer est facile, les adultes âgés comparés aux adultes jeunes présenteront une sur-activation au niveau des régions frontales (Reuter-Lorenz & Lustig, 2005), la tâche étant plus difficile pour les adultes âgés que pour les jeunes. Cette sur-activation permet aux adultes âgés de maintenir un niveau de performance relativement comparable à celui des plus jeunes. Cependant, lorsque la difficulté de la tâche à effectuer augmente, les adultes jeunes, de la même façon que les adultes âgés dans la condition facile, vont présenter des sur-activations frontales pour parvenir à effectuer la tâche. Les adultes âgés lorsque la difficulté a augmenté ne peuvent plus faire face à cette difficulté car ils présentaient déjà une sur-activation frontale. Ils ont atteint leurs ressources frontales limites. Ainsi, les adultes âgés sont dépassés par la difficulté de la tâche, l'activation cérébrale et les performances à la tâche devraient diminuer.

D'autres études récentes ont mis en évidence ce phénomène de plasticité cognitive et neuronale au cours du vieillissement en examinant les modifications cérébrales et cognitives apparaissant suite à la pratique de certaines tâches ou suite à des entraînements cognitifs. Ces recherches, qui seront présentées dans la partie suivante, suggèrent donc qu'il est possible d'améliorer le fonctionnement cognitif à travers la stimulation cognitive chez les adultes âgés et ainsi d'agir sur le déclin cognitif associé au vieillissement.

b. Vieillesse et bénéfices associés aux différentes interventions cognitives: les modèles opposés de compensation vs. magnification

Les résultats des interventions cognitives comme des programmes d'entraînement ont permis de mettre en évidence l'existence d'une amélioration des performances cognitives suggérant une plasticité cognitive chez les jeunes adultes mais aussi un maintien de cette plasticité au cours du vieillissement (Buitenweg, Murre, & Ridderinkhof, 2012; Hertzog, Kramer, Wilson, & Lindenberger, 2008; Karbach & Schubert, 2013; Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009; Noack, Lövdén, Schmiedek, & Lindenberger, 2009). En effet, certains programmes de stimulation cognitive ont permis le transfert des bénéfices sur des épreuves de nature proche et/ou éloignée de la tâche entraînée. Toutefois, les résultats ne sont pas univoques. En effet, les résultats sont divergents à la fois quant à la possibilité de transférer les bénéfices à une autre tâche et/ou une autre fonction que celle entraînée, et le gain lié à la stimulation cognitive n'est pas toujours équivalent entre les adultes jeunes et âgés. En effet, certaines études vont dans le sens d'effets bénéfiques uniquement sur la tâche entraînée, alors que d'autres mettent en évidence parfois des transferts à des tâches proches de la tâche entraînée (exemple : mesurant la même fonction) et parfois des effets de transfert proches et éloignés de la tâche entraînée. Une des raisons de ces divergences pourrait être le type, l'intensité, et la durée des programmes d'entraînement.

Trois types de programmes d'interventions cognitives peuvent être distingués dans la littérature sur la cognition. (1) Le premier type d'entraînement correspond à des *entraînements basés sur l'apprentissage de stratégies*. Ces programmes d'entraînement présentent un effet de transfert limité, c'est-à-dire que les bénéfices obtenus après entraînement sont restreints aux tâches entraînées (Rebok, Carlson, & Langbaum, 2007; Verhaeghen, Marcoen, & Goossens, 1992). (2) Les *entraînements multimodaux non spécifiques* sont des entraînements plus complexes, où les personnes s'entraînent par exemple en utilisant des jeux de société (Tranter & Koutstaal, 2008), en participant à des cours d'arts (Noice, Noice & Staines, 2004) ou en réalisant des projets en petits groupes (Stine-Morrow & basak, 2011). La pratique de jeux vidéo tels que les jeux stimulant la vitesse (Clark, Lanphear & Riddick, 1987; Dustman, Emmerson, Steinhaus, Shearer & Dustman, 1992; Goldstein et al., 1997), les jeux de stratégies (Basak, Boot, Voss & Kramer, 2008) sont également considérés comme programme de stimulation, mais souvent les effets de transfert des bénéfices de l'entraînement sont faibles (e.g., Basak et al., 2008; Park et al., 2014; Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2010). De plus, avec ce type

de stimulation, il est difficile d'identifier quelle fonction est améliorée et rend difficile l'explication des effets de l'entraînement. (3) Les *entraînements basés sur les processus* comme la mémoire de travail ou encore les fonctions exécutives sont les plus efficaces car ils induisent des effets de transfert à des tâches proches et plus éloignées (e.g., Brehmer, Westerberg, & Bäckman, 2012; Karbach & Kray, 2009; Li et al., 2008; Zinke, K., Zeintl, Rose, Putzmann, Pydde, & Kliegel, 2014). Ainsi, ces entraînements sont plus efficaces que les entraînements basés sur l'entraînement des stratégies (Karbach & Verhaeghen, 2014).

Certaines études ont mis en évidence à travers différents protocoles d'entraînement des bénéfices différents qui profitent parfois plus aux adultes jeunes et d'autres fois plus aux adultes âgés. Les études utilisant *un entraînement des stratégies* ont démontré des effets plus importants chez les jeunes adultes par rapport aux adultes âgés (e.g., Brehmer, Li, Müller, Von Oertzen, & Lindenberger, 2007; Gross et al., 2012 ; Lindenberger, Kliegl, & Baltes, 1992; Lövdén, Brehmer, Li, & Lindenberger, 2012; Verhaeghen & Marcoen, 1996; Verhaeghen et al., 1992). On peut expliquer ces résultats par le fait que les jeunes adultes présentent de meilleures ressources cognitives qui facilitent la mise en place et l'acquisition de nouvelles stratégies. Ainsi, un haut niveau cognitif engendrera des bénéfices liés à un entraînement cognitif supérieurs (Bissig & Lustig, 2007; Kliegl, Smith, & Baltes, 1990; Verhaeghen & Marcoen, 1996) comparativement à un individu présentant un plus faible niveau cognitif. C'est ce qu'on appelle le modèle de magnification, c'est-à-dire que les individus présentant le plus haut niveau cognitif initial seront ceux qui bénéficieront le plus de l'entraînement (Bissig & Lustig, 2007; Kliegl et al., 1990; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Le modèle de la magnification prédit trois résultats possibles (Lövdén, Brehmer, Li, & Lindenberger, 2012). Premièrement, deux groupes de niveau cognitif initial différent peuvent retirer des bénéfices différents après un entraînement cognitif. Les individus de haut niveau initial sont ceux qui présentent alors les gains les plus importants. Les gains obtenus suite à un entraînement devraient être corrélés positivement avec le niveau initial des habilités cognitives. Enfin, l'ampleur des différences interindividuelles devraient augmenter avec l'entraînement, et ces différences seront plus importantes après l'entraînement.

Au contraire, les études centrées sur *un entraînement basé sur les processus* révèlent un effet de l'entraînement identique ou plus important chez les adultes âgés en comparaison avec ce qui est observé chez les plus jeunes (e.g., Bherer et al., 2008; Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001; Karbach & Kray, 2009; Kramer, Larish, & Strayer, 1995; Kray, Eber, &

Karbach, 2008). C'est le modèle de compensation (Lövdén et al., 2012). Celui-ci suggère que les jeunes adultes présentent un niveau exécutif optimal et en conséquence, ne possèdent que peu de marge de progression. Ainsi, les entraînements basés sur les processus cognitifs, comme la vitesse de traitement (Bail, Beard, Roenker, Miller, & Griggs, 1988; Edwards et al., 2005), l'attention sélective (Fisk, Hertzog, Lee, Rogers, & Anderson-Garlach, 1994; Ho & Scialfa, 2002; Jenkins, & Hoyer, 2000), l'attention soutenue (Parasuraman & Giambra, 1991), la mémoire de travail (Dahlin, Neely, Larsson, Backman & Nyberg, 2008), inhibition (Davidson, Zacks, & Williams, 2003), l'attention divisée (Bherer et al., 2005, 2008; Kramer et al., 1995; Kramer, Larish, et al., 1999) présentent un potentiel bénéfique plus important pour des adultes âgés que par rapport aux jeunes adultes. D'après la méta-analyse de Karbach et Verhaeghen (2014), les entraînements basés sur les processus cognitifs tel que les fonctions exécutives ou la mémoire de travail sont les plus efficaces chez les adultes présentant un vieillissement normal et sont ceux qui permettent d'obtenir les meilleurs effets de transfert. Ainsi, dans l'hypothèse de compensation, les gains devraient être corrélés négativement avec le niveau initial des habiletés cognitives d'un individu. Cela implique que plus les capacités cognitives initiales d'un individu sont faibles, plus cet individu bénéficiera d'un entraînement par rapport à un individu ayant un niveau cognitif proche de son niveau optimal et qui aura donc une marge de progression plus faible. En conséquence, selon cette hypothèse, les effets négatifs du vieillissement devraient être réduits suite à l'entraînement.

Pour conclure, lorsque des programmes d'entraînement cognitif sont proposés, le niveau initial d'un individu est à prendre en compte car en fonction de celui-ci, le type d'entraînement, mais également le nombre de séances d'entraînement sera à adapter afin d'optimiser son efficacité. Les entraînements cognitifs basés sur la stimulation des processus cognitifs comme les entraînements exécutifs semblent être ceux qui sont les plus efficaces en termes de bénéfices et de transferts à d'autres fonctions chez les adultes âgés. C'est pour ces raisons que dans ce travail de thèse, nous nous sommes centrés sur la pratique de tests exécutifs et sur l'entraînement des fonctions exécutives. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour stimuler les fonctions exécutives, il est possible soit de faire pratiquer plusieurs fois un même test pour améliorer les performances à ce même test (pratique) soit d'effectuer plusieurs fois différentes tâches pour améliorer les capacités de tâches non entraînée (entraînement). Dans la prochaine partie, nous détaillons les différences entre des protocoles liés à la pratique par rapport à un entraînement ainsi que les résultats divergents obtenus dans la littérature.

2. Pratique vs. Entraînement des fonctions exécutives

a. Pratique exécutive

La pratique répétée d'un même exercice peut améliorer les performances à ce même test. Comme dans tous les protocoles de stimulation cognitive, dans les études sur les effets de la pratique, il n'y a pas de consensus sur ce qui caractérise un programme de pratique exécutive efficace (voir Tableau I). Les différents programmes de pratique sont très différents quant au nombre, à la fréquence ou encore à la durée des sessions de pratique. Ces différences méthodologiques expliquent probablement les résultats contradictoires quant au groupe d'âge qui bénéficie le plus de la pratique.

Globalement, les études examinant les effets de la pratique de tests exécutifs nous montrent des effets bénéfiques de cette pratique sur la performance au test pratiqué, aussi bien chez les adultes jeunes que chez les adultes âgés (voir Tableau I, page 44). Les résultats relatifs aux effets d'âge observés après les séances de pratique en post-test sont variables. Soit les adultes jeunes et âgés ont bénéficié dans les mêmes proportions de la pratique, les performances des adultes âgés demeurent ainsi inférieures à celles des plus jeunes (flexibilité : Kramer et al., 1999, expérience 1; Mc Comb et al., 2011 ; inhibition : Davidson et al., 2003, expérience 2 ; Dulaney & Rogers, 1994 ; Mise à jour : Shing et al., 2012), soit les adultes âgés bénéficient plus de la pratique que les jeunes adultes, ce qui permet de diminuer (Davidson et al., 2003, expérience 1 ; Karbach & Kray, 2009) voire d'annuler (Dorbath et al., 2013 ; Kramer et al., 1999, expérience 2 ; Li et al., 2008) les effets d'âge. La diversité de ces résultats pourrait s'expliquer par le nombre varié de sessions de pratiques d'une étude à l'autre. Il est donc admis que les performances à un test exécutif peuvent être améliorées par la pratique de ce même test, à la fois chez les jeunes et les adultes âgés. Afin de mieux comprendre la diversité des résultats de la littérature, il serait intéressant d'examiner l'évolution des performances des adultes jeunes et âgés tout au long des sessions de pratique pour examiner le rythme de progression. Ceci permettrait de mieux comprendre le rôle de ce facteur dans l'explication des divergences de la littérature, dans le cas où la progression ne se ferait pas au même rythme dans les deux groupes d'âge. L'objectif de la stimulation cognitive est de pouvoir réhabiliter dans sa globalité les capacités cognitives, afin qu'un individu puisse en bénéficier au quotidien, notamment pour les adultes âgés, par exemple pour réduire leurs difficultés mnésiques, importantes avec l'avancée

en âge. Pour analyser les effets de transfert sur d'autres fonctions cognitives, des protocoles d'entraînement cognitif spécifiques sont proposés. En effet, dans ce type de protocole, ce n'est pas seulement l'augmentation des performances à la tâche pratiquée qui est visée mais aussi les potentiels bénéfiques sur d'autres fonctions cognitives plus éloignées de la tâche pratiquée durant l'entraînement. Ainsi, l'objectif d'un entraînement cognitif est d'obtenir une amélioration de la fonction à travers l'entraînement de celle-ci grâce à l'utilisation de plusieurs tâches la stimulant. Ce type de protocole justifie de disposer d'un grand nombre de tâches valides et différentes mais évaluant une même fonction. De plus, au-delà de l'amélioration des fonctions stimulées, l'entraînement vise à améliorer par transfert d'autres tâches non entraînées mesurant la même fonction (transfert proche) mais aussi des tâches non entraînées évaluant d'autres fonctions cognitives (transfert éloignée) .

Tableau I : Variété des protocoles et des résultats dans la littérature sur la pratique exécutive au cours du vieillissement

	Nombre	Tâche pratiquée	Fréquence (S : semaine/ J : jour)	Population	Pré-test	Post-test	Bénéfices
Flexibilité							
Buck, Atkinson, & Ryan (2008)	3	TMT	1 / S	J		effet de la pratique	
McComb et al. (2011)	2	TMT	1 / S	A; AA	A> AA	A> AA	A= AA
Kramer, Hahn, & Gopher (expérience 1, 1999)	3	tâche de flexibilité	3 / S	J; A	J>A	J>A	plus rapide chez A
Kramer, Hahn, & Gopher (expérience 2, 1999)	3	tâche de flexibilité	3 / S	J; A	J>A	J=A	A>J
Karbach et Kray (2009)	4	TMT	1 / S	J; A	J>A	J>A	A>J
Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013	4	tâche de flexibilité	1 / S	J; A	J>A	J=A	J>A
Inhibition							
Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Exp 1	6	Stroop	1 J	J; A	J>A	J>A	A>J
Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Exp 2	6	Stroop	1/ (5,7à 7,7) J	J; A	J>A	J>A	J=A
Dulaney & Rogers, 1994	10	Stroop	1 J	J; A	J>A	J>A	J=A
Rogers & Fisk, 1991	3	Stroop arithmétique	1/2 J	J; A	J> A	J>A	J
Mise à jour							
Shing, Schmeidek, Lödvén, & Lindenberger (2012)	100	tâche de mise à jour	4-6/S	J; A	J> A	J>A	J=A

J=adultes jeunes, A= adultes âgés, AA= adultes très âgés

b. Entraînement cognitif

De nombreux types d'entraînement des fonctions exécutives ont été testés dans la littérature sur le vieillissement cognitif. Certains critères apparaissent importants à respecter pour s'assurer de la réussite d'un protocole de stimulation cognitive. Par exemple, l'entraînement ne doit pas être de type massé, un certain temps doit être respecté entre des séances d'entraînement (2 jours minimum, Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010). La durée de la séance doit être suffisamment importante pour être efficace. Dans la littérature sur les entraînements cognitifs, les séances durent de 30 min jusqu'à 1h30 (voir Tableau II, page 48). De plus, il est très important que le protocole inclue des groupes contrôles qui seront dans les mêmes conditions que le groupe entraîné mais sans stimulation cognitive, afin de s'assurer notamment que les bénéfices résultent d'un entraînement efficace et non pas d'effets d'habituation aux conditions expérimentales par exemple, ou d'un simple effet test-retest. Ces groupes contrôles peuvent être amenés à faire différentes activités à la place des entraînements cognitifs effectués dans le groupe entraîné comme répondre à des questionnaires sur le bien-être (Borella et al., 2010, Borella, Carretti, Cantarella, Riboldi, Zavagnin, & De Beni, 2014) ou encore apprendre à utiliser des outils informatiques (Bherer, Kramer, Peterson, Colcombe, Erickson, & Becic, 2008). Pour que le protocole soit valide, les séances proposées aux deux groupes (expérimental et contrôle) doivent être similaires en termes de durée, de fréquence et de nombre. La présence de ces groupes est essentielle pour pouvoir interpréter les résultats et s'assurer que si des effets bénéfiques de l'entraînement sont observés, ils ne sont pas uniquement dus à la connaissance des tests et à l'effet test-retest observé lors de la passation successive d'un même test.

Ce qui nous intéresse principalement dans la stimulation cognitive et les protocoles d'entraînement au cours du vieillissement sont les effets de transfert (proche et éloigné), car l'objectif d'un entraînement à terme est qu'un individu puisse utiliser les bénéfices de cet entraînement dans la vie quotidienne (et pas seulement spécifiquement pour la tâche de laboratoire entraînée) et dans d'autres activités cognitives. Il existe trois types de transfert: le transfert des bénéfices de l'entraînement à des tâches non entraînées présentant des caractéristiques proches de la tâche entraînée qui évaluent la même fonction cognitive (transfert à des tâches proches, ou *near transfer effect*), le transfert des bénéfices à des tâches cognitives présentant des caractéristiques plus éloignées de la tâche entraînée et évaluant d'autres fonctions cognitives (transfert à des tâches éloignées ou *far transfer effect*) et enfin le transfert à

long terme c'est-à-dire des effets de maintien des bénéfices dans le temps (effet de maintien à long terme ou *long-term maintain effect*). Les transferts à des tâches proches sont couramment observés dans la littérature. En effet, comme il est indiqué dans le Tableau II (page 48), Borella et al. (2010 ; 2014), après un programme de 3 séances d'entraînement de la mémoire de travail, ont obtenu des effets de transfert des bénéfices de l'entraînement à des tâches non entraînées d'empan mnésique. Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres études, Richemond et al. (2011) ou encore Buschkuhl et al. (2008) ont obtenu grâce à l'entraînement de la mémoire de travail, des effets de transfert des bénéfices à d'autres tâches non entraînées de mémoire de travail. Dahlin et al. (2008) ont observé des effets de transferts d'un entraînement à une tâche de mémoire de travail sur le test du 3-back, une autre tâche de mise à jour de mémoire de travail. De la même façon, Karbach et Kray (2009), par la pratique du Trail Making Test (TMT, test mesurant la flexibilité cognitive) ont mis en évidence des effets de transfert des bénéfices à la performance obtenue à d'autres tâches de flexibilité.

Les transferts plus éloignés des bénéfices d'un entraînement cognitif et le maintien des bénéfices sont plus difficiles à obtenir. En effet, il est possible que les améliorations observées après un entraînement s'estompent avec le temps et que les performances retournent à leur niveau de base (Hertzog et al., 2009). Au mieux, ces bénéfices sont présents lors de l'évaluation faite peu de temps après la stimulation mais ne perdurent pas dans le temps, c'est-à-dire que l'amélioration des capacités cognitives observée à la fin de l'entraînement ne se maintient pas après l'arrêt du programme d'entraînement. Cependant, quelques études ont mis en évidence qu'après un entraînement cognitif, les participants peuvent conserver une partie des bénéfices même après 2 mois (Kramer et al., 1999; Kramer et al., 1995), 1-2 ans (Dahlin et al., 2008 ; Schmiedek et al., 2014), 3^{1/2} ans (Neely & Backman, 1993). De plus, de nombreux entraînements cognitifs ne sont bénéfiques qu'aux tâches entraînées ou à des tâches similaires (e.g., Dahlin et al., 2008). Quelques études ont réussi à montrer que l'on pouvait obtenir des effets de transfert à des tâches éloignées comme par exemple des transferts des bénéfices de l'entraînement de la mémoire de travail à des tâches d'inhibition, de vitesse de traitement (Borella et al., 2010 ; Brehmer et al., 2012) ou encore à des tâches mesurant l'intelligence fluide (Borella et al., 2010 ; Karbach & Kray, 2009). Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a mis en évidence d'effet de transfert d'un entraînement exécutif sur les capacités en mémoire épisodique. Ceci est surprenant compte tenu de l'implication des fonctions exécutives en mémoire épisodique. En effet, comme illustré dans les chapitres précédents, les fonctions

exécutives expliquent en partie les performances d'un individu dans le rappel d'informations mémorisées en mémoire épisodique, et des personnes avec un haut niveau exécutif vont présenter de meilleures performances en mémoire épisodique. Les fonctions exécutives sont impliquées dans la mémoire épisodique parce qu'elles contribuent à la sélection et à l'exécution des stratégies (Taconnat & Lemaire, 2013). Ainsi, en augmentant les capacités exécutives d'un individu grâce à l'entraînement, l'utilisation efficace de stratégies devrait s'améliorer, contribuant ainsi à augmenter les capacités de mémorisation.

Mieux comprendre l'amélioration des capacités cognitives grâce à un entraînement et notamment la stimulation des fonctions exécutives est très important car cela pourrait permettre de proposer des programmes mieux adaptés aux différents déficits liés au vieillissement en vue de les atténuer. Cependant, l'explication des phénomènes sous-jacents aux bénéfices liés à l'entraînement cognitif reste floue. Deux courants d'interprétation sont proposés (Brier & Belleville, 2010). Le premier est que l'amélioration des performances suite à l'entraînement cognitif résulterait d'une meilleure utilisation des capacités cognitives déjà existantes, car l'entraînement augmenterait l'efficacité de ces capacités. Le second repose sur la notion d'activation de nouvelles régions cérébrales (Belleville, Clément, Mellah, Gilbert, Fontaine, & Gauthier, 2011). Afin de préciser les interprétations possibles liées aux résultats obtenus dans la littérature sur les effets de la stimulation cognitive, l'imagerie cérébrale s'avère être un outil d'exploration intéressant.

Tableau II : Variété des protocoles et des résultats dans la littérature sur l'entraînement de la mémoire de travail et des fonctions exécutives d'adultes jeunes et âgés

	nombre	tâche	durée (en min)	fréquence (J=jour; S = Semaine)	population	pré-test	post- test	bénéfices	near transfert	far transfert
Mémoire de travail										
Richmond et al. (2011)	20	WM Span: complex span	30	5/S	J; A	J>A	J>A	J=A	autres tâches de mémoire de travail (letter span et reading span)	mise à jour de la mémoire de travail (n-back);
Borella at al. (2010)	3	criterion task	60	1/3 J	A				visuo-spatial WM task, mémoire à court terme	intelligence fluide(Culture Fair test), inhibition (stroop test), vitesse (pattern comparison task)
Buschkuehl et al. (2008)	8	tâches de mémoire de travail: complex span	45	2/S	AA				block back span	rappel libre visuel
Brehmer et al. (2012)	5	spatial et verbal memory task	26	?	J;A	J>A	J>A	J>A	Span Board backward, digit span	PASAT, Stroop, RAVLT, matrices de RAVEN
Borella et al. (2014)	3	criterion task	60	1/2J	A;AA				CWMS, Empan endroit et envers	tâche de Cattell
Fonctions exécutives										
Dahlin et al, (2008)	15	mise à jour: criterion task	45	3/S	J;A	J>A	J>A	J>A	J: 3-back	
Karbach & Kray (2009)	4	tâche de flexibilité (TMT)	60-70	1 / S	J; A	J>A	J>A	A>J	autres tâche de flexibilité	mémoire de travail, intelligence fluide
Li et al. (2008)	45	tâche n-back	15	1/J	J; A	J> A	J=A	A>J		
Kramer et al, (1999)	3	switching task	30	3 /S	J; A	J>A	J=A	A>J		
Plusieurs entraînements différents										
Ball et al. (2002)	10	stratégies mémoire épisodique, raisonnement, vitesse de traitement	60-75	2/S	A			A	?	?
Dittmann-Kohli et al. (1991)	10	intelligence fluide	210	?	A			A	non	non

c. Apport de l'imagerie cérébrale dans l'explication des effets de l'entraînement

Le modèle INTERACTIVE (Belleville et al., 2013) est un modèle présentant les effets possibles d'un entraînement sur la plasticité cérébrale. Il dissocie deux formats d'entraînement possibles. Un entraînement cognitif peut avoir pour objectif de stimuler une fonction préservée au cours du vieillissement, c'est l'hypothèse de compensation et on s'attend à observer les bénéfices de l'entraînement cognitif par une augmentation de l'activation cérébrale. Au contraire, le but peut être de stimuler des fonctions délétères dans le vieillissement, c'est l'hypothèse de restauration. On s'attend ici à observer à la fois une diminution de l'activité cérébrale dans certaines zones (la spécialisation d'une zone cérébrale la rend plus efficace, et pour les mêmes performances, une plus petite activation est nécessaire) et à l'augmentation d'autres zones cérébrales voire l'activation de zones initialement au repos pour une tâche spécifique.

A notre connaissance, très peu d'études se sont intéressées à l'impact d'un entraînement cognitif sur l'activité cérébrale lors de la réalisation d'une tâche cognitive entraînée ou non. De plus, aucune ne s'est intéressée aux éventuelles modifications du fonctionnement cérébral suite à ces entraînements chez des adultes âgés et aucune dans le domaine d'un entraînement exécutif. Des études portant uniquement sur une population de jeunes adultes ont montré une augmentation (Kelly, Hester, Foxe, Shpaner, & Garavan, 2006) ou une diminution (Koch et al., 2006 ; Milham, Banich, Claus, & Cohen, 2003) des activités cérébrales au niveau du cortex préfrontal après la pratique simple de test de contrôle attentionnel ou de tests exécutifs. Mozolic, Long, Morgan, Rawley-Payne, & Laurenti (2009) ont testé les effets d'un entraînement utilisant des tâches de contrôle attentionnel et ont observé une amélioration des performances au niveau comportemental mais aussi une augmentation du flux sanguin cérébral au repos dans le cortex préfrontal lors de l'exécution de tâche de contrôle attentionnel en post-test. Erickson et al. (2007) ont étudié l'effet d'un entraînement à la réalisation de doubles tâches sur l'activité cérébrale grâce à l'IRMf. Ils ont pu observer une diminution des effets du vieillissement sur les activations préfrontales ventrale et dorsale. De plus, l'asymétrie hémisphérique de ces deux mêmes régions était augmentée chez les jeunes et les adultes âgés, cette asymétrie étant en lien avec une meilleure performance. Ainsi, on retrouve ces résultats contradictoires dans la littérature sur l'entraînement. Alors que certaines études observent une augmentation de l'activité cérébrale chez des adultes jeunes entraînés (Belleville & Behrer, 2012 ; Braver, Paxton, Locke, & Barch, 2009; Hampstead, Stringer, Stilla, Giddens, & Sathian, 2012), d'autres

observent une diminution de cette activité cérébrale (Chein & Schneider, 2005 ; Brehmer et al., 2011). Ces résultats peuvent être mis en lien avec les modèles explicatifs de la réorganisation cérébrale. En effet, la question est de savoir si un entraînement cognitif permet d'augmenter les processus compensatoires, par exemple en augmentant l'activation hémisphérique bilatérale (modèle *HAROLD*) ou en augmentant le shift antéro-postérieur (modèle *PASA*) après un entraînement cognitif. A l'inverse, des entraînements cognitifs pourraient permettre de réhabiliter des zones cérébrales déficitaires avant l'entraînement, ce qui diminuerait les processus compensatoires dans le vieillissement car les zones cérébrales deviendraient plus efficaces et spécifiques. Un entraînement cognitif devrait donc selon cette hypothèse diminuer l'activation cérébrale, car il permettrait d'améliorer les performances cognitives, se traduisant par une activation cérébrale plus spécialisée et donc une diminution d'activation cérébrale dans les zones non spécifiques.

L'analyse de la littérature permet d'affirmer que les entraînements cognitifs, en particulier les entraînements des fonctions exécutives, sont efficaces à la fois chez des adultes jeunes et des adultes âgés. Les entraînements les plus bénéfiques en termes de transferts sont ceux basés sur des processus cognitifs comme les fonctions exécutives ou la mémoire de travail, et cela d'autant plus chez les adultes âgés. Cependant, les processus explicatifs des effets de l'entraînement sont encore peu connus. De plus, l'utilisation de l'imagerie cérébrale dans l'explication des processus sous-jacents aux bénéfices de l'entraînement cognitif reste encore limitée à quelques études et les résultats obtenus sont très contradictoires. Etudier les effets d'un entraînement exécutif présente donc un intérêt pour appréhender les processus sous-jacents à la réhabilitation cognitive. En effet, des entraînements exécutifs pourraient modifier les profils cognitifs observés dans le vieillissement et ainsi aider à pallier les déficits liés à l'avancée en âge.

PROBLEMATIQUE

Le vieillissement normal affecte différemment les habiletés cognitives. La mémoire épisodique est une des fonctions cognitives qui décline le plus avec l'avancée en âge. Cependant, certains facteurs individuels, comme le niveau exécutif, modulent les effets de l'âge sur la mémoire. Il semble possible de réhabiliter le fonctionnement exécutif des adultes âgés grâce à un entraînement et les bénéfices de ce type d'entraînement sont susceptibles de se transférer à d'autres fonctions cognitives comme la mémoire épisodique. Ainsi, l'objectif général de ce travail de thèse était de mieux comprendre les processus sous-jacents aux bénéfices de la stimulation des fonctions exécutives. Pour cela, dans un premier temps, les effets simples de la pratique successive d'un même test ont été examinés, ce qui a permis de préciser le type de protocole à utiliser, en termes de nombre de séances de pratique. Un programme d'entraînement pour stimuler le fonctionnement exécutif a ensuite été établi à partir de nouveaux tests créés et validés dans le cadre du présent travail de thèse, et enfin les effets de l'entraînement exécutif au niveau comportemental et électrophysiologique ont été analysés.

Ce travail de thèse visait donc trois objectifs qui correspondent aux trois chapitres de la « partie expérimentale ». Dans un premier temps, nous avons examiné les effets de la pratique répétée de deux tests exécutifs afin de déterminer d'une part, si la pratique permet de réduire les différences de performances liées à l'âge généralement observées pour ces épreuves et d'autre part, s'il existe des différences au niveau du rythme de progression après chaque séance de pratique entre adultes jeunes et âgés. Dans un second temps, compte tenu des effets de la pratique répétée d'un même test et de la faible quantité d'épreuves exécutives à notre disposition, de nouveaux tests exécutifs ont été développés. L'objectif de cette deuxième partie était de tester la validité de ces nouveaux outils, c'est-à-dire de vérifier qu'ils mesurent bien la fonction voulue. Enfin, les nouveaux tests validés ont été utilisés afin de créer un programme d'entraînement exécutif. Dans cette dernière partie, après avoir mis en évidence le lien entre les fonctions exécutives et les stratégies mnésiques utilisées à l'encodage, les effets de l'entraînement ont été testés au niveau comportemental et électrophysiologique.

Le Chapitre 1 est composé de deux expériences. Comme détaillé dans le contexte théorique, il est possible d'améliorer les performances d'un individu à un test exécutif suite à la pratique répétée de ce même test exécutif. Cependant, des disparités dans les résultats ont été mises en évidence. En effet, rappelons que dans la littérature, des disparités relatives aux effets du vieillissement sur le gain lié à la pratique sont observées. En effet, alors que parfois les effets de la pratique sont les mêmes chez les adultes jeunes et âgés, au contraire dans certains cas les effets de la pratique sont supérieurs chez les adultes jeunes ou chez les adultes âgés. Nous avons

donc voulu dans ce travail préciser quels sont les facteurs explicatifs de ces disparités. Dans l'Expérience 1, nous avons analysé chez des adultes jeunes et âgés les effets de la pratique du Trail Making Test (TMT, test de flexibilité) sur la performance à ce test et le rythme d'amélioration de la performance au cours du vieillissement. Nous avons ensuite effectué le même type d'expérience mais avec un autre test exécutif, le Stroop test (test mesurant l'inhibition) afin de tester le rythme d'amélioration de la performance à ce test chez des adultes jeunes et âgés. Les effets de l'âge sur le gain lié à la pratique ont été testés et enfin le potentiel rôle médiateur du niveau d'étude sur le gain lié à la pratique a été exploré. On s'attendait ainsi au travers des résultats des deux expériences à observer un rythme de progression ainsi qu'un gain plus important chez les adultes âgés, compte-tenu de leur faible niveau exécutif initial. De plus, dans l'Expérience 2, le niveau d'étude devrait impacter positivement les gains liés à la pratique du Stroop test, compte tenu des effets positifs du niveau d'étude sur les capacités cognitive.

Dans le Chapitre 2, compte tenu de la faible quantité de tests exécutifs valides proposés dans la littérature et dans le but de construire 8 séances d'entraînement exécutif, nous avons développé et validé de nouveaux tests exécutifs. La création de nouveaux tests était essentielle, d'autant plus que pour pouvoir examiner les effets de transfert proche (transfert des bénéfices à un test non entraîné mais qui évalue la même fonction que celle ciblée par l'entraînement), les tests utilisés lors des sessions d'entraînement devaient être différents de ceux utilisés pour mesurer le niveau exécutif en pré- et en post-test. Pour cela, dans l'Etude 3 nous nous sommes assurés que les deux nouveaux tests de mise à jour que nous avons créés (le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back) respectent les trois critères psychométriques de validité (la sensibilité : corrélation avec des tests de référence ; la fidélité : corrélations entre les performances à la première moitié du test et celles obtenues à la seconde moitié du test ; la validité : suit la loi normale) et qu'ils permettent de différencier une population présentant un déficit exécutif (adultes âgés) d'une population contrôle (adultes jeunes). L'Etude 4 avait pour objectif de valider de nouveaux tests exécutifs mesurant les capacités de mise à jour, de flexibilité et d'inhibition de la même façon que la première expérience, avec la participation d'adultes schizophrènes et des adultes âgés présentant un déficit exécutif.

Plusieurs études ont déjà démontré que l'entraînement exécutif était efficace. Cependant, aucune étude n'a testé et mis en évidence des effets de transfert des bénéfices de ce type d'entraînement sur la mémoire épisodique d'adultes âgés. Le Chapitre 3 avait pour objectif

de tester les bénéfices d'un entraînement exécutif à la fois sur le niveau exécutif d'adultes âgés et sur les performances en mémoire épisodique. Dans un premier temps (Expérience 5), l'objectif était de mettre en évidence les liens directs entre les fonctions exécutives et les stratégies d'encodage mises en place en mémoire épisodique. Plus précisément, nous voulions montrer que les adultes âgés qui utilisent des stratégies d'encodage de manière efficace sont également ceux qui ont le meilleur niveau exécutif. Les effets de l'entraînement ont ensuite été analysés dans l'Expérience 6. Un groupe d'adultes âgés a suivi le programme d'entraînement exécutif et a été comparé à un groupe contrôle actif, soumis à aucune stimulation cognitive. Dans cette expérience, nous voulions (1) confirmer la possibilité d'améliorer les performances exécutives chez des adultes âgés grâce à un entraînement exécutif (2) observer le possible transfert de l'amélioration des performances exécutives à une tâche de mémoire épisodique. Plus précisément, nous nous attendions à une augmentation de l'utilisation de stratégie d'encodage profond et efficace chez les adultes âgés entraînés. (3) Nous avons exploré l'évolution des effets d'âge sur les performances exécutives et mnésiques après un entraînement exécutif. L'Expérience 7 avait pour but de préciser les effets de l'entraînement cognitif au niveau de l'activité cérébrale (potentiels évoqués) qui sous-tend les processus de récupération en mémoire épisodique (effets *old/new*). Pour cela, l'activité cérébrale de deux groupes d'adultes âgés (entraînés vs. contrôle) a été enregistrée au moment de la récupération d'informations en mémoire épisodique avant (pré-test) et après (post-test) l'entraînement. Nous avons également enregistré cette activité dans un groupe d'adultes jeunes afin de pouvoir examiner les effets du vieillissement sur les effets *old/new* (en examinant l'évolution de leur profil et celui des deux groupes d'adultes âgés séparément). Les analyses de cette étude étaient préliminaires, l'effet *old/new* a ainsi été présenté séparément dans chacune des conditions expérimentales (adultes jeune en prétest, adulte âgés entraînés en pré-test et en post-test, adultes contrôles en pré-test et en post-test).

PARTIE EXPERIMENTALE

La partie résultats suit notre cheminement, depuis la formulation des hypothèses jusqu'au test de ces hypothèses, à un niveau comportemental et électrophysiologique.

Le premier chapitre est consacré à l'étude de la possibilité d'amélioration de deux fonctions exécutives, par le biais de la pratique de deux tests : le Stroop, mesurant l'inhibition (Expérience 1) et le Trail Making Test (TMT), mesurant la flexibilité cognitive (Expérience 2). Dans ces études, nous n'avons pas évalué d'effet de transfert à d'autres tâches, nous nous sommes surtout attachés à examiner le nombre de séances de pratiques nécessaires à l'obtention d'une amélioration des performances pour les adultes jeunes et âgés, et également si des variables individuelles, comme le niveau d'études, pouvait moduler le rythme du gain de performance lié à la pratique, afin d'adapter au mieux, par la suite, nos séances d'entraînement exécutif.

Ce travail de thèse étant basé sur l'effet de l'entraînement des fonctions exécutives, et ayant pour objectif l'étude de la possibilité de transfert des bénéfices à d'autres compétences que celles entraînées, nous avons créé des nouveaux tests exécutifs. En effet, ceux actuellement disponibles sont trop peu nombreux pour satisfaire aux exigences de 8 séances d'entraînement exécutif nécessitant des tâches différentes à chaque fois. Le deuxième chapitre est donc consacré à la présentation et la validation des caractéristiques psychométriques d'une partie de ces tests (Etudes 3 et 4).

Les tests créés, possédant une bonne validité psychométrique, ont été utilisés pour l'entraînement exécutif d'adultes âgés. Nous avons mesuré les fonctions exécutives, la mémoire, l'utilisation des stratégies et l'activité EEG d'adultes jeunes, d'adultes âgés entraînés et non entraînés en prétest et en post test afin d'évaluer l'effet spécifique de l'entraînement exécutif chez les adultes âgés, et d'examiner la possibilité d'une réduction des effets du vieillissement sur ces mesures. Avant d'explorer les bénéfices de l'entraînement exécutif à l'utilisation de stratégies efficaces à l'encodage en mémoire épisodique, nous avons étudié le lien entre les fonctions exécutives et l'utilisation de stratégies efficaces à l'encodage. Nous avons ensuite examiné les effets d'un entraînement exécutif sur le niveau exécutif lui-même, sur la mémoire épisodique et notamment l'utilisation de stratégies à l'encodage et l'activité cérébrale lors d'une tâche de rappel en mémoire épisodique.

Chapitre 1 : Effet de la pratique répétée de
tests exécutifs

L'objectif des deux expériences de ce chapitre était de confirmer s'il est possible d'améliorer les performances à des tests exécutifs à travers la pratique de ces mêmes tests. Pour cela, des adultes jeunes et âgés ont été soumis à 9 séances de pratique du TMT (Expérience 1) et du Stroop (Expérience 2). Dans ces deux expériences, le rythme de progression au fur et à mesure des sessions de pratique a été analysé afin d'examiner s'il diffère en fonction de différents critères individuels comme l'âge (Expérience 1 et 2), le niveau d'étude (Expérience 2) ou en fonction du protocole et du nombre de sessions (Expérience 1 et 2).

1. Expérience 1 : La pratique répétée du Trail Making Test réduit les différences liées à l'âge sur la performance à ce test

Burger, L., Taconnat, L., Angel, L., Plusquellec, P., & Fay, S. (en révision). La pratique répétée du Trail Making Test réduit les différences liées à l'âge sur la performance à ce test. The practice of the Trail Making Test reduces the age-related differences in the performance to this test. *Psychologie Française* (IF : 0.44 ; quartile 4).

Les fonctions exécutives déclinent avec le vieillissement et expliquent en partie la diminution des performances cognitives liée au vieillissement. Dans la présente étude, nous avons analysé les effets de la pratique du Trail Making Test (TMT, test de flexibilité) sur la performance à ce test et le rythme d'amélioration de la performance au cours du vieillissement. Deux groupes (adultes jeunes et âgés) ont pratiqué le TMT et ont été comparés à deux groupes contrôles. Les résultats ont montré une amélioration des performances 1) plus importante dans les groupes de pratique que dans les groupes contrôles et 2) dans les groupes de pratique, plus importante chez les personnes âgées. Les adultes jeunes et âgés progressent autant au début des sessions de pratique mais les jeunes atteignent plus vite leur niveau optimal. Ces résultats pourraient contribuer à l'amélioration des programmes de stimulation cognitive en prenant en compte des caractéristiques individuelles comme l'âge.

1. Introduction

Le vieillissement est un processus complexe, conduisant à une diminution des performances dans de nombreuses tâches cognitives. Cependant, tout au long de notre vie, nous

continuons d'apprendre et de progresser pour atteindre au mieux nos objectifs, et les adultes âgés possèdent toujours des capacités d'apprentissage. Par conséquent, il apparaît possible de trouver des moyens de stimuler ces capacités pour ralentir le déclin cognitif, par la pratique d'exercices spécifiques (c'est-à-dire l'exécution de tâches à plusieurs reprises pour améliorer les performances à ces mêmes tâches) ou d'un entraînement non spécifique (c'est-à-dire l'exécution de différentes tâches à plusieurs reprises pour améliorer les performances à des tâches non entraînées). Les objectifs de cette étude étaient d'examiner si les bénéfices liés à la pratique répétée d'une tâche de flexibilité cognitive évoluent avec l'âge et permettent de diminuer les différences de performance liées à l'âge à cette même tâche. Le deuxième objectif était d'étudier le rythme de progression des performances au test du Trail Making Test (TMT, Reitan, 1958, un test mesurant la flexibilité cognitive) liée à la pratique répétée (10 sessions) chez des adultes jeunes et âgés afin de déterminer si l'évolution des bénéfices liés à cette stimulation dépend de caractéristiques propres à un individu, comme l'âge par exemple. L'enjeu est important pour adapter au mieux les protocoles de stimulation cognitive aux personnes qui pourraient en bénéficier.

L'altération des fonctions exécutives est considérée comme un déterminant majeur du déclin cognitif dans le vieillissement normal (Rhodes, 2004; West, 1996). Les fonctions exécutives jouent un rôle crucial dans les habiletés cognitives générales, elles permettent la production de réponses adaptées en contrôlant et régulant d'autres processus cognitifs (Moscovitch & Winocur, 1992). Ces fonctions cognitives sont diminuées au cours du vieillissement (Carlson, Xue, Zhou, & Fried, 2009; Fisk & Sharp, 2004; Tombaugh, 2004) et participent à l'explication du déclin cognitif lié à l'âge. Les adultes âgés de haut niveau exécutif effectuent généralement mieux des tâches cognitives que ceux qui possèdent un plus bas niveau exécutif (par exemple, en mémoire : Angel, Fay, Bouazzaoui, & Isingrini, 2011; Bouazzaoui et al., 2014; Tacconnat et al., 2006; Tacconnat et al., 2007; Uittenhove, Burger, Tacconnat, & Lemaire, 2015; organisation en mémoire épisodique : Tacconnat et al., 2009; en arithmétique : Duverne & Lemaire, 2004; Hodzik & Lemaire, 2011). Un haut niveau de fonctionnement exécutif pourrait ainsi jouer un rôle protecteur contre le déclin cognitif lié à l'âge (Angel et al., 2011). Miyake et al. (2000) ont identifié trois fonctions distinctes : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la capacité de mise à jour de la mémoire de travail. Parmi elles, la fonction de flexibilité cognitive permet d'alterner entre différentes tâches cognitives. Cette fonction est primordiale car elle permet d'adapter au mieux son fonctionnement cognitif lors de l'exécution

d'une tâche en alternant entre différents processus cognitifs. Par conséquent, il est important d'explorer la possibilité de stimuler et d'améliorer ces fonctions, notamment chez les personnes âgées. La littérature sur la pratique de tâches exécutives a montré qu'il était possible d'améliorer les performances à des tâches exécutives chez des adultes jeunes et âgés et même parfois de réduire les différences liées à l'âge sur les performances obtenues à ces tâches (par exemple, Kramer, Hahn, & Gopher, 1999, pour la flexibilité).

Plusieurs études ont évalué chez des personnes jeunes et âgées les effets de pratique et ont montré que le niveau de performance à une tâche exécutive d'adultes jeunes et âgés pouvait être amélioré par la pratique répétée de cette tâche exécutive (par exemple, l'inhibition, évaluée avec le test de Stroop : Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Expérience 1, Dulaney & Rogers, 1994; Rogers & Fisk, 1991; Wilkinson & Yang, 2012; la flexibilité évaluée avec le TMT : Buck, Atkinson, & Ryan, 2008; Dye, 1979 ; ou la mise à jour de la mémoire de travail : Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013; Karbach, Mang, & Kray, 2010; voir Beglinger et al., 2005 pour un résultat contradictoire chez des adultes jeunes). Cependant, les effets du vieillissement sur les bénéfices de la pratique sont contradictoires dans la littérature. Plus spécifiquement, McComb et al. (2011) ont examiné les effets test-retest liés à deux passations consécutives d'une même tâche de flexibilité (TMT), séparées d'une semaine d'intervalle. Cette étude comprenait des jeunes adultes âgés (65 à 75 ans) et des adultes âgés très âgés (76-85 ans), les adultes très âgés présentant de plus faibles performances que les jeunes adultes âgés lors de la première passation du TMT. Dans cette étude, dès la deuxième passation du TMT, les deux groupes d'adultes âgés bénéficiaient dans les mêmes proportions de la pratique et donc présentaient une amélioration de leurs performances à ce test de flexibilité. Néanmoins, Kramer et al. (1999, Expérience 2) ont montré que trois sessions de pratique d'un test de flexibilité cognitive bénéficiaient plus aux adultes âgés qu'aux adultes jeunes ce qui a permis d'annuler la différence liée à l'âge sur la performance à une tâche de flexibilité après seulement trois séances de pratique. En effet, les performances des adultes jeunes et âgés étaient identiques après les trois sessions de pratique. Dans la première expérience de cette même étude, il a été démontré, au cours de trois sessions de pratique d'un test de flexibilité cognitive, que les adultes âgés bénéficiaient plus rapidement de la pratique par rapport aux adultes jeunes, ceux-ci progressant de façon plus régulière au cours des différentes sessions. Karbach et Kray (2009) ont aussi constaté que les adultes âgés avaient davantage bénéficié de la pratique que leurs homologues plus jeunes après quatre

séances de pratique répétée d'une version modifiée du TMT. Cependant, les adultes âgés présentaient toujours des capacités de flexibilité inférieures à celles des jeunes adultes.

Les études montrent un effet de pratique équivalent (McComb et al., 2011) ou supérieur chez les adultes âgés par rapport aux jeunes adultes, avec dans ce cas une diminution (Karbach & Kray, 2009) ou une annulation des différences liées à l'âge (Kramer et al., 1999, Expérience 2). Un des facteurs qui pourrait expliquer ces divergences concerne le nombre de sessions de pratique. En effet, ce facteur pourrait moduler les effets du vieillissement sur les gains liés à la pratique, et donc la différence liée à l'âge dans l'exécution de certaines tâches cognitives. La grande variabilité des protocoles (le nombre, la durée, la fréquence des sessions) liés à la pratique de tests de flexibilité cognitive mais surtout la variabilité des résultats de ces études rendent intéressante l'exploration du rythme de progression des performances au fur et à mesure des sessions de pratiques successives et les effets de l'âge sur ce rythme. En effet, ce rythme de progression pourrait être un facteur susceptible d'expliquer ces résultats hétérogènes et parfois contradictoires.

En résumé, les adultes âgés présentent des déficits cognitifs, ils peuvent cependant améliorer leurs performances à des tests de flexibilité cognitive notamment pour ceux qui ont effectué des séances de pratique de ces tests exécutifs, c'est-à-dire qui ont passé de façon consécutive plusieurs fois le même test (par exemple, pour la pratique de flexibilité cognitive voir Buck et al., 2008; Dye, 1979; McComb et al., 2011). Cette amélioration est parfois plus importante chez les adultes âgés que chez les jeunes adultes ce qui permet une diminution, voire une annulation des différences liées à l'âge. Bien que la pratique d'un test exécutif puisse réduire les effets négatifs du vieillissement sur les performances à ce test, le rythme de progression en fonction de l'âge des individus a rarement été exploré dans la mesure où les performances ne sont généralement évaluées qu'en pré- et post-tests. Par conséquent, dans cette étude, nous avons cherché à explorer le rythme de progression lié à la pratique du TMT chez les participants jeunes et âgés en examinant la performance au TMT à la fin de chaque session de pratique.

Pour s'assurer que les effets potentiels de la pratique étaient bien des effets spécifiques et ne résultaient pas simplement d'un effet test-retest, des participants contrôles jeunes et âgés ne pratiquant pas de tâches exécutives entre les pré- et post-tests ont été inclus. Ces groupes ne participaient qu'à la première séance de pré-test composée de différents tests cognitifs ce qui a permis de caractériser le profil cognitif de chacun des groupes d'âge dans chacune des

conditions expérimentales. Cinq jours plus tard, ces deux groupes passaient le post-test. Ces groupes contrôles étaient des groupes passifs (c'est-à-dire qui ne font aucune activité encadrée par l'expérimentateur entre le pré-test et le post-test) et comme les participants des deux groupes de pratique exécutive, ils ont été testés individuellement. De plus, les temps séparant les sessions de pré- et post-tests étaient strictement identiques dans la condition de pratique exécutive et dans la condition contrôle, c'est-à-dire 5 jours. Nous avons choisi d'évaluer la flexibilité avec le Trail Making Test, car ce test est connu pour être pertinent et couramment utilisé pour évaluer spécifiquement la flexibilité cognitive (Kortte, Horner, & Windham, 2002). De plus, il est communément utilisé à la fois dans la recherche expérimentale et clinique. Son administration est simple et rapide, et il est facile de créer des versions différentes en modifiant l'emplacement des stimuli pour les différentes sessions de pratique. La performance à cette tâche est connue pour diminuer avec l'âge (par exemple, voir Tombaugh, 2004). Compte tenu de l'hétérogénéité des protocoles de pratique dans les études précédentes, nous avons choisi un protocole comprenant dix séances de pratique pour nous assurer d'obtenir un bénéfice lié à la pratique pour chacun des groupes d'âge dans la condition pratique.

Cette recherche avait deux objectifs spécifiques. Nous souhaitions dans un premier temps confirmer la possibilité d'améliorer les performances à un test de flexibilité cognitive (Trail Making Test, TMT, partie B) chez des jeunes et des adultes plus âgés grâce à 10 séances de pratique de ce test afin d'examiner s'il est possible de réduire l'effet du vieillissement sur la flexibilité cognitive décrit dans la littérature, c'est-à-dire la diminution des performances au TMT avec l'avancée en âge (Carlson et al., 2009 ; Tombaugh, 2004). En effet, au vu des résultats contradictoires trouvés dans la littérature, où les participants âgés bénéficient en général plus de la pratique diminuant ou annulant ainsi les effets d'âge sur les performances au test pratiqué, ou parfois les effets d'âge sur la flexibilité cognitive ne sont pas réduits, nous avons examiné si les performances des personnes âgées pouvaient rejoindre ou au moins se rapprocher de celles des jeunes adultes. Ainsi, nous nous attendons à une augmentation de la performance entre le pré- et le post-test plus importante dans les groupes de pratique que dans le groupe contrôle, traduisant un effet spécifique de la pratique, et à un bénéfice de la pratique plus important chez les adultes âgés. Ceci devrait donc engendrer une diminution ou une annulation de la différence liée à l'âge sur les performances exécutives au TMT dans le groupe de pratique entre le pré- et le post-test, par rapport aux groupes contrôles dans lesquels cette diminution devrait être moindre. En effet, compte tenu du niveau exécutif déjà élevé chez les

participants jeunes, on pourrait supposer que les potentiels progrès sont limités. Cette hypothèse est en accord avec l'hypothèse de compensation (par exemple, Lövdén et al., 2012) qui suggère que les individus initialement peu performants sont plus en mesure d'améliorer leurs performances avec la pratique.

Le second objectif était d'étudier le rythme de progression des performances résultant de cette pratique exécutive en fonction de l'âge. Pour cela, les performances des participants ont été relevées à l'issue de chaque session de pratique. Dans cette étude, d'après les résultats observés par Kramer et al. (1999), on émet l'hypothèse que les adultes âgés bénéficieront plus rapidement que les adultes jeunes de la pratique du TMT. Cependant, compte tenu du nombre plus important de sessions de pratique (dix sessions) que nous avons par rapport à l'étude de Kramer et al. (1999) qui comprenait trois sessions, ce rythme pourrait différer au fur et à mesure des sessions de pratique. En effet, il est possible que les performances atteignent un seuil de progression maximal, après un certain nombre de session de pratique les performances pourraient cesser de s'améliorer. De plus, ce seuil pourrait être différent selon les groupes d'âge. Si cette stabilisation des performances obtenues au TMT apparaît dans notre étude, cela indiquerait que les séances de pratiques ont permis d'atteindre le niveau optimal de flexibilité cognitive possible pour un individu. Les adultes âgés pourraient bénéficier plus rapidement de la pratique, compte tenu de leur plus faible niveau exécutif initial par rapport à celui des jeunes adultes. Cependant si le nombre de sessions permet d'atteindre un seuil optimal dans les deux groupes d'âge, les jeunes adultes devraient atteindre cette performance maximale après un nombre de sessions de pratique inférieur par rapport aux adultes âgés parce que la marge de progression chez les jeunes adultes est susceptible d'être plus faible.

2. Méthode

2.1. Participants

Quatre groupes de participants ont été formés. Un groupe de participants jeunes et un groupe de participants âgés ont été subdivisés en deux groupes « pratique » et « contrôle » : 15 jeunes adultes (20-35 ans, 8 femmes) et 34 adultes âgés (60-75 ans, 17 femmes) pour les groupes qui effectuaient les séances de pratique, 15 jeunes adultes (20-35 ans, 6 femmes) et 44 adultes plus âgés (60-77 ans, 34 femmes) pour les groupes contrôles. Compte tenu de la grande variabilité dans le processus de vieillissement cognitif (Kalpouzos, Eustache, & Desgranges,

2008), les effectifs des groupes d'adultes âgées sont plus importants que ceux des adultes jeunes. Tous les participants inclus dans les analyses ont effectué toutes les séances de pratique (pour les groupes soumis à la pratique) et présentaient un score d'anxiété ou dépression à l'HADS (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS, Zigmond & Snaith, 1983) inférieur à 11 (aucun participant ne présente donc de symptomatologie anxieuse ou dépressive avérée). Tous les participants âgés étaient autonomes et vivaient à domicile. Ils étaient volontaires et ont été recrutés dans les clubs de loisirs et dans l'Université du troisième âge de Tours (France) par affichage et voie de presse. Tous les participants du groupe d'adultes âgés avaient un score supérieur ou égal à 27 au Mini Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) afin de minimiser le risque d'inclure des personnes atteintes de démence. Les personnes ayant des antécédents d'abus d'alcool, de lésions cérébrales ou prenant des médicaments susceptibles d'affecter leurs capacités cognitives ont été exclus de l'échantillon. Afin de minimiser d'éventuels biais liés à l'habitude des situations d'évaluation, aucun des jeunes participants n'était étudiant. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Tours (France), et tous les participants ont signé un formulaire de consentement éclairé.

Les caractéristiques démographiques et cognitives des quatre groupes (Groupes pratiques : jeunes vs. âgés ; Groupes contrôles : jeunes vs. âgés) sont présentées dans le Tableau I. La santé subjective a été mesurée sur une échelle allant de 0 (mauvaise santé) à 5 (très bonne santé). Afin d'examiner les possibles différences liées aux groupes sur l'âge, le niveau d'étude, l'anxiété, la dépression et la santé subjective, nous avons effectué des ANOVAs 2 (Groupe d'âge: jeune vs. âgé) X 2 (Condition : pratique vs. contrôle). Ces analyses ont montré qu'il y avait un effet significatif du Groupe d'âge sur l'âge réel des participants $F(1,104) = 3861.47, p < .001, \eta_p^2 = .88$, pas d'effet de la condition, ni d'interaction entre ces deux facteurs ($F_s < 1$), ce qui signifie que d'une part les deux groupes de jeunes et d'autre part les deux groupes d'adultes âgés sont comparables en âge mais aussi que les différences d'âge entre participants jeunes et âgés sont équivalentes entre Groupes pratique et contrôle. En ce qui concerne le niveau d'étude, le seul effet significatif est celui du Groupe d'âge $F(1,104) = 27.31, p < .001, \eta_p^2 = .20$, les adultes jeunes ayant un niveau d'étude plus élevé que les adultes âgés (effet de cohorte). Il n'y avait pas d'effet du Groupe d'âge ou de la Condition, ni aucune interaction entre ces deux facteurs sur l'anxiété et la dépression (sous-échelles du test HADS) ou la santé subjective (tous les $F_s < 1$), les 4 groupes indépendants étaient donc équivalents sur ces facteurs.

Tableau I : Moyennes (écart-type) des caractéristiques des participants (haut) et des habilités cognitives (bas) chez les jeunes adultes et les adultes âgés dans les conditions de pratique et de contrôle et les résultats des ANOVAs (Groupe d'âge x Condition)

Table I: Mean (SD) of participants' characteristics (top) and the cognitive abilities (bottom) in young and older adults in practice and control conditions and results of ANOVAs (Age group x Condition)

	Groupes Pratique		Groupes Contrôle		ANOVA 2 (Groupe d'âge) X 2 (Condition)		
	Adultes jeunes (N=15)	Adultes âgés (N=34)	Adultes jeunes (N=15)	Adultes âgés (N=44)	Effet de la condition	Effet du groupe d'âge	Interaction
Age (en années)	25.13 (4.12)	69.06 (6.82)	27.20 (6.90)	69.68 (8.16)	ns	***	ns
Niveau d'étude	12.53 (2.06)	10.29 (2.50)	13.40 (1.72)	9.90 (2.86)	ns	***	ns
Anxiété	5.60 (2.29)	4.82 (1.57)	5.13 (2.80)	5.68 (3.28)	ns	ns	ns
Dépression	5.87 (1.60)	5.00 (2.12)	4.87 (3.14)	5.86 (2.43)	ns	ns	ns
Santé subjective	3.73 (1.03)	3.85 (1.57)	4.20 (.77)	3.91 (.82)	ns	ns	ns
Vocabulaire	23.87 (3.02)	25.29 (2.74)	25.40 (4.81)	23.82 (6.20)	ns	ns	ns
Mémoire de travail	5.27 (.96)	4.21 (.73)	5.67 (2.26)	4.41 (1.69)	ns	***	ns
Vitesse de traitement	32.07 (2.94)	26.15 (3.35)	33.47 (5.90)	23.39 (8.45)	ns	***	ns

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$, ns : non significatif

Pour obtenir un profil général des compétences cognitives des participants jeunes et âgés en Conditions de pratique ou de contrôle et vérifier que les quatre groupes sont comparables d'un point de vue cognitif, nous avons évalué dans chacun de nos groupes expérimentaux l'aptitude verbale (vocabulaire), le contrôle (la mémoire de travail), et l'efficacité cognitive (vitesse de traitement). L'aptitude verbale a été évaluée en utilisant le test de vocabulaire du Mill-Hill (Raven, Court, & Raven, 1986). La vitesse de traitement, reflétant l'efficacité cognitive (Kail & Salthouse, 1994), a été mesurée avec le test de comparaison de lettres (Salthouse, 1990). La mémoire de travail a été évaluée par l'empan envers de la batterie WAIS-III (Wechsler Adult Intelligence Scale-III, Wechsler, 1997). Les profils cognitifs de chaque groupe sont résumés dans le Tableau I.

Les mesures cognitives ont été analysées avec des ANOVAs 2 (Groupe d'âge) X 2 (Condition). Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'effet du Groupe d'âge, de la Condition et pas d'interaction entre ces deux facteurs sur le niveau de vocabulaire ($F_s < 1$), ce qui indique que les quatre groupes de participants étaient équivalents pour le score de vocabulaire. Pour toutes les autres mesures cognitives, seul l'effet du facteur Groupe d'âge était significatif, les jeunes adultes ayant un niveau cognitif supérieur aux adultes âgés (mémoire de travail : $F(1, 104) = 13.43, p < .001, \eta_p^2 = .11$; vitesse de traitement $F(1, 104) = 35.45, p < .001, \eta_p^2 = .25$), il n'y a pas de différence liée à la Condition (pratique vs. contrôle), ni d'interaction entre la Condition et le Groupe d'âge ($F_s < 1$).

Dans l'ensemble, ce profil correspond à celui généralement observé dans la littérature. Il y a un effet lié à l'âge sur la mémoire de travail (Salthouse, 1994), la vitesse de traitement (Salthouse, 2000), alors que la capacité verbale indexée par le vocabulaire reste stable (Craik & Bialystok, 2006; Grégoire, 1993).

Ces analyses confirment que les participants des Conditions contrôle et pratique étaient équivalents aussi bien au niveau de leurs caractéristiques démographiques qu'au niveau de leurs performances cognitives.

2.2. Matériel et Procédure

La partie B du Trail Making Test (TMT; Reitan, 1958) a été utilisée pour évaluer la flexibilité cognitive. Les participants doivent relier le plus rapidement possible alternativement les chiffres dans l'ordre croissant et les lettres dans l'ordre alphabétique en commençant par les chiffres (par exemple, 1a2b3c, etc., 25 items, 12 lettres et 13 chiffres). Ce test est considéré comme une mesure valide de la flexibilité cognitive (Kortte et al., 2002). La performance a été mesurée par le temps nécessaire pour effectuer la partie B en entier. Nous avons choisi d'utiliser la partie B du TMT pour nos séances de pratique car la carte A est une condition de référence et c'est uniquement dans la carte B qu'intervient la fonction de flexibilité cognitive. Les erreurs réalisées au cours de ce test ont été corrigées (par exemple, en cas d'erreur signalée par l'expérimentateur, le participant devait reprendre l'exercice au dernier item correctement traité) et contribuent au score de chacune des parties, puisque cela ajoute du temps au temps total d'une partie.

Dix versions de la partie B du TMT ont été créées, en mélangeant les différents chiffres et lettres au hasard. Ces nouvelles versions ont été testées sur 20 adultes âgés de 60 à 80 ans qui ne participaient pas à l'expérience. Des analyses de corrélation ont été menées pour veiller à ce que les nouvelles versions et les versions originales permettent d'évaluer et de solliciter la même fonction. Les coefficients de Bravais-Pearson étaient tous significatifs et variaient entre 0,53 et 0,78. Nous avons donc considéré que toutes les nouvelles versions mesuraient la flexibilité cognitive de façon comparable à la partie B originale du TMT.

Lors de chaque séance de pratique, les participants remplissaient cinq versions de la partie B du TMT, pseudo-aléatoirement choisies parmi les dix nouvelles versions, avec une courte pause entre les versions. Ainsi, chaque version a été présentée à plusieurs reprises au cours de la semaine. Le programme de pratique durait 5 jours à une fréquence de deux séances par jour, une le matin et une l'après-midi. Lors d'une séance de pratique, les planches B étaient pratiquées cinq fois, le temps total pour faire la cinquième version de la planche B du TMT (dernière version de la séance) a été relevé afin d'évaluer la performance à l'issue de chaque séance de pratique. Le dernier test de la 10ème session de pratique était la partie B originale du TMT. Ce score a été utilisé comme le score obtenu au post-test. Les temps séparant les sessions de pré- et post-tests étaient strictement identiques dans la condition de pratique exécutive et dans la condition contrôle, c'est-à-dire 5 jours.

3. Résultats

L'analyse des données vise à répondre à nos deux objectifs : 1) analyser l'effet de la pratique du TMT sur la performance à ce test et l'effet de l'âge sur le bénéfice lié à cette pratique du TMT, 2) analyser le rythme de progression des performances au TMT B en fonction de l'âge. Les moyennes des scores du pré-test et du post test sont présentées dans le Tableau II.

Afin de répondre à notre premier objectif, nous avons tout d'abord effectué une ANOVA à 3 facteurs sur le score obtenu au TMT (temps utilisé pour réaliser la planche B) pour analyser les effets principaux du Groupe d'âge (jeunes vs. âgés), de la Condition (pratique vs. contrôle) et la Session (pré-test vs. post-test) et les éventuelles interactions. Des ANOVAs partielles permettent de préciser certaines de ces interactions significatives. Tout d'abord, pour contrôler que nos groupes étaient équivalents en pré-test et s'assurer que les adultes âgés présentent bien un déficit de flexibilité avant de commencer les sessions de pratique, nous avons réalisé une ANOVA partielle à deux facteurs Age \times Condition en pré-test uniquement. Afin de nous s'assurer que les 10 sessions de pratique permettent une amélioration supérieure à un simple effet test-retest pour chaque groupe d'âge, nous avons ensuite effectué deux ANOVAs partielles 2 (Session) \times 2 (Condition) dans chacun des groupes d'âge séparément. Enfin, pour analyser les effets en post-test en fonction de l'âge et de la condition, nous avons fait une ANOVA partielle à deux facteurs Groupe d'âge \times Condition en post-test uniquement.

Pour répondre à notre deuxième objectif, après nous être assurés dans la première partie de l'effet spécifique de la pratique dans chacun des groupes d'âge, nous avons effectué des ANOVAs à deux facteurs, Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) et Session (pré-test, chacune des 9 sessions de pratique et post-test), mais cette fois-ci uniquement dans les groupes en condition de pratique, les groupes contrôles n'ayant que des scores en pré- et en post-test. Dans un premier temps, afin de préciser les effets d'âge sur les performances obtenues à la carte B du TMT à chaque session de pratique, des comparaisons planifiées ont été effectuées entre les adultes jeunes et âgés à chaque session. Dans un second temps, le rythme de progression des performances au TMT B a été analysé séparément chez les adultes jeunes et âgés en réalisant des comparaisons planifiées entre les sessions n et n+1 (pré-test/ session1 ; session 1/session 2...) dans chacun des groupes d'âge séparément (voir Figure 1). Enfin, toujours dans l'objectif de caractériser les différents rythmes de progression en fonction de l'âge, nous avons effectué

dix ANOVAs à deux facteurs Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) × Session en modifiant un par un le nombre de modalités du facteur Session. Ainsi, en ajoutant une modalité à chaque fois, la variable Session passait de deux modalités (pré-test/session 1) pour la première ANOVA à 11 modalités (Pré-test/ session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6/ 7/ 8/ 9/ Post-test) pour la dernière. L'objectif de cette décomposition de l'ANOVA à deux facteurs Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) et Session (pré-test, chacune des 9 sessions de pratique et post-test) était d'identifier à partir de quelle session l'interaction Groupe d'âge × Session devenait significative. Cela donnait une indication sur le nombre de sessions nécessaires pour que les adultes âgés bénéficient plus des effets de la pratique que les plus jeunes.

Tableau II: Moyennes (écart-type) des temps utilisés (en secondes) pour effectuer la planche B du TMT en pré- et post- test chez les jeunes adultes et les adultes âgés dans les conditions de pratique et de contrôle et résultats des ANOVAs (Groupe d'âge x Condition)

Table II: Mean (SD) of the times used (in seconds) to execute the part B of the TMT in pre- and post-test in young and older adults in practice and control conditions and results of ANOVAs (Age group x Condition)

	Groupes Pratique		Groupes Contrôle		ANOVA 2 (Groupe d'âge) X 2 (Condition)		
	Adultes jeunes (N=15)	Adultes âgés (N=34)	Adultes jeunes (N=15)	Adultes âgés (N=44)	Effet de la Condition	Effet du Groupe d'âge	Interaction
Pré-test	93.93 (1.91)	119.65 (10.21)	84.75 (24.55)	123.39 (45.37)	ns	***	ns
Post-test	65.53 (7.54)	78.79 (9.32)	67.22 (29.00)	110.79 (37.52)	***	***	*

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$, ns : non significatif

3.1. Effets de la Condition (pratique vs. contrôle) et du Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) sur les performances obtenues dans la partie B du TMT.

Pour examiner l'effet spécifique de la pratique sur le temps de réalisation de la partie B du TMT, une ANOVA 2 (Groupe d'âge: jeunes vs. âgés) X 2 (Condition: pratique vs. contrôle) X 2 (Session: pré-test vs. post-test) a été effectuée (voir Tableau II).

L'effet de la Session était significatif $F(1,103) = 110.17, p < .001, \eta_p^2 = .52$, révélant que la performance était meilleure au post-test qu'au pré-test, c'est-à-dire que le temps utilisé pour faire la partie B était plus faible au post-test qu'au pré-test. L'effet global de la Condition n'était pas significatif $F(1,103) = 1.37, ns$. L'effet du Groupe d'âge était significatif $F(1,103) = 26.32, p < .001, \eta_p^2 = .21$, les participants jeunes présentaient globalement de meilleures performances (temps plus court pour effectuer la planche B) que les personnes âgées. L'interaction entre les variables Age et Session était non significative $F(1,103) = 0.46, ns$ ainsi que l'interaction entre les variables Age et Condition $F(1,103) = 1.37, ns$. L'interaction entre Session et Condition était significative $F(1,103) = 18.58, p < .001, \eta_p^2 = .15$ indiquant que l'amélioration des performances entre les pré- et post-tests était plus élevée dans la Condition pratique $F(1,103) = 106.11, p < .001, \eta_p^2 = .51$, que dans la Condition contrôle, $F(1,103) = 19.79, p < .001, \eta_p^2 = .16$. L'interaction double Groupe d'âge X Session X Condition était également significative $F(1,103) = 3.95, p < .05, \eta_p^2 = .04$, indiquant que l'effet de l'âge diffère selon la condition et la session. Cette double interaction sera explorée via des ANOVAs partielles dans les paragraphes suivants.

3.2. Les groupes étaient-ils équivalents au pré-test pour la partie B test du TMT ?

Des ANOVAs à deux facteurs Age X Condition ont été réalisées sur le temps pour effectuer la partie B du TMT afin de s'assurer que les groupes de participants jeunes et âgés sont comparables entre les 2 conditions (pratique/contrôle) en pré-test et que l'effet classique de l'âge sur la flexibilité est présent en pré-test (voir Tableau II).

Seul l'effet de l'âge était significatif en pré-test sur la partie B du TMT $F(1,104) = 23.11, p < .001, \eta_p^2 = .18$, indiquant que les jeunes ont de meilleures performances pour la partie B du

TMT. Ni l'effet de la Condition, ni l'interaction Groupe d'âge X Condition n'étaient significatifs ($F_s < 1$).

Cette ANOVA nous a permis de nous assurer que nos groupes en condition de pratique et en condition contrôle ont les mêmes profils cognitifs en pré-test, c'est-à-dire qu'ils présentent les mêmes performances à la planche B du TMT. Nous observons des effets d'âge couramment observés dans la littérature. Ceci signifie que si en post-test des différences sont observées entre les conditions (pratique vs. contrôle), elles résulteront bien de la pratique et non pas de différences préexistantes.

3.3. Y a-t-il un effet spécifique de la pratique dans chaque groupe d'âge?

Afin de mieux comprendre l'interaction double Groupe d'âge X Session X Condition et de tester l'effet spécifique de la condition, et plus précisément de la pratique, sur l'amélioration des performances obtenues au TMT dans chaque groupe, une ANOVA partielle 2 (Session) X 2 (Condition) a été menée dans chaque groupe d'âge.

Dans le groupe des jeunes adultes, l'effet de la Condition n'était pas significatif $F(1,28) < 1$, ns. L'effet de la Session était significatif $F(1,28) = 63.70$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .69$, ce qui indique que la performance au TMT était meilleure au post-test qu'au pré-test (temps plus petit utilisé pour effectuer la partie B). L'interaction entre la Session et la Condition était marginalement significative $F(1,28) = 3.56$, $p = .07$, $\eta_p^2 = .11$, indiquant que les jeunes adultes dans la Condition pratique avaient tendance à améliorer davantage leurs performances entre pré et post-test $F(1,28) = 48.70$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .63$ que les participants dans la Condition contrôle $F(1,28) = 18.57$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .40$.

Dans le groupe des adultes âgés, l'effet de la Condition était significatif $F(1,75) = 6.51$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .08$ indiquant que les participants du groupe pratique mettaient globalement moins de temps pour exécuter la partie B du TMT que le groupe contrôle. L'effet de la Session était significatif $F(1,75) = 93.68$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .56$, révélant un temps inférieur pour exécuter la partie B au post-test qu'au pré-test. L'interaction entre ces deux facteurs était également significative $F(1,75) = 29.78$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .28$, ce qui indique que l'amélioration de la performance du pré-test au post-test était plus importante dans la Condition pratique $F(1,75) = 102.55$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .58$ que dans la Condition contrôle $F(1,75) = 10.09$, $p < .01$, $\eta_p^2 = .12$.

Ces analyses nous permettent de conclure que la pratique répétée de la partie B du TMT a réduit le temps d'exécution de cette tâche pour les deux groupes d'âge, et que cette amélioration des performances au TMT était plus grande qu'un simple effet de test-retest (observé dans la Condition contrôle) dans le groupe des adultes âgés. Le même profil global de résultats a été obtenu dans le Groupe de jeunes adultes ($p = .07$).

3.4. Les groupes étaient-ils équivalents au post-test?

Afin d'analyser l'évolution des effets d'âge en post-test dans les deux Conditions : pratique vs. contrôle, une ANOVA 2 (Groupe d'âge) X 2 (Condition) a été réalisée sur le temps utilisé pour effectuer la partie B du TMT au post-test (voir le Tableau II).

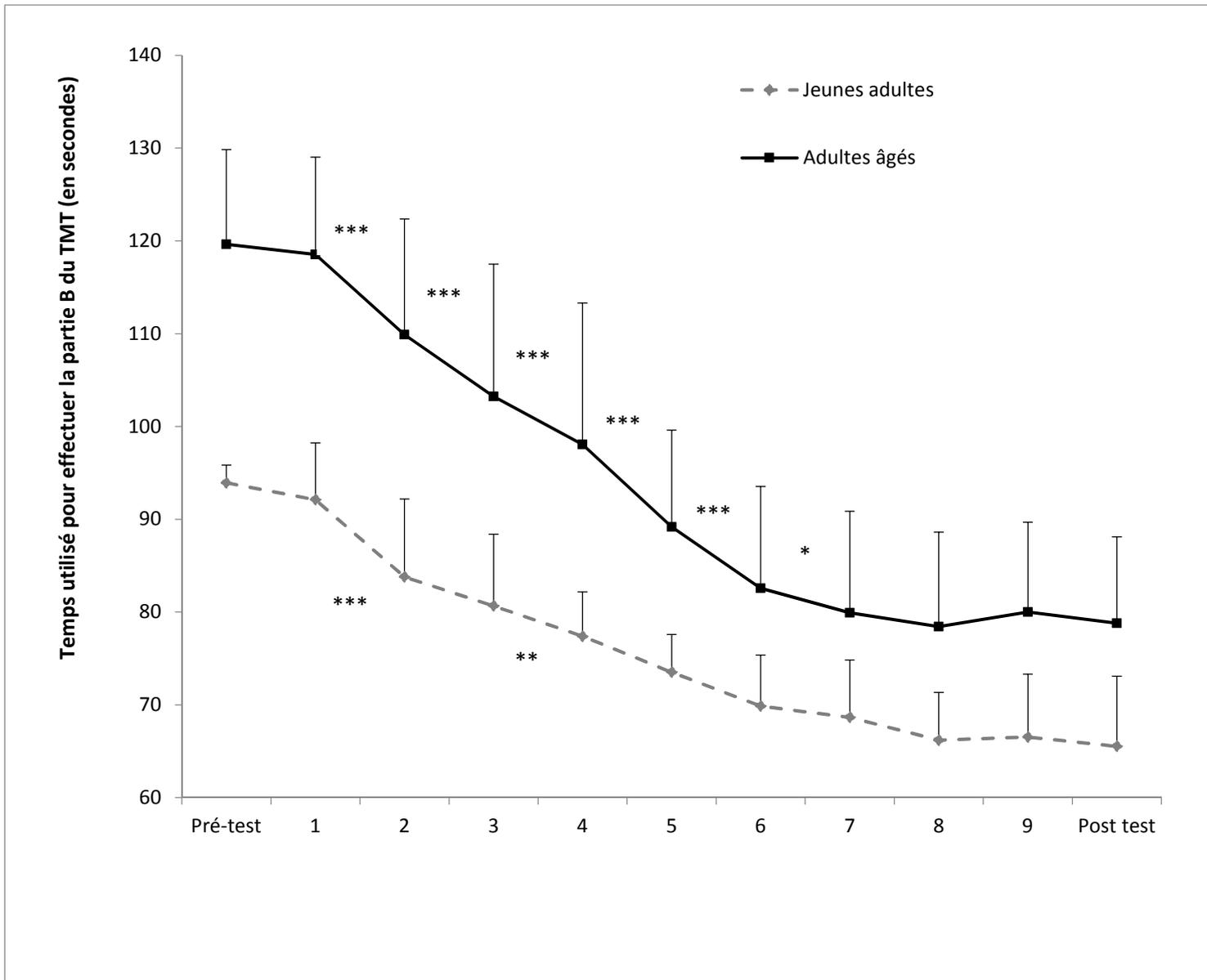
Au post-test, l'analyse a révélé un effet du Groupe d'âge $F(1,103) = 23.99, p < .001, \eta_p^2 = .19$, le temps d'exécution de la partie B était plus faible dans le groupe de jeunes adultes que dans le groupe d'adultes âgés. L'effet de la Condition était significatif $F(1,103) = 8.43, p < .01, \eta_p^2 = .08$, indiquant que le temps utilisé dans l'exécution de la partie B était plus faible dans la Condition pratique que dans la Condition contrôle. L'interaction entre la Condition et le Groupe d'âge était significative $F(1,103) = 6.82, p < .05, \eta_p^2 = .06$, ce qui met en évidence qu'au post-test, les différences de performances entre jeunes adultes et adultes âgés sont plus importantes dans la Condition contrôle $F(1,103) = 29.17, p < .001, \eta_p^2 = .22$, que dans la Condition pratique $F(1,103) = 2.53, ns$. Les personnes âgées ont davantage bénéficié de la pratique que les adultes plus jeunes puisque la pratique répétée de la partie B du TMT a permis de réduire les effets d'âge sur le score de cette partie B. En Condition de pratique, les adultes âgés présentent de meilleures performances à la partie B du TMT en post-test que la performance des jeunes adultes en pré-test ($t(1,33) = -9.47, p < .001$), contrairement aux adultes âgés en Condition contrôle.

3.5. Rythme de variation des performances entre les différentes séances de pratique en fonction de l'âge

Des analyses axées sur le rythme de variation de la performance au fur et à mesure des séances de pratique dans chaque groupe d'âge ont été réalisées. Pour cela, une ANOVA pour mesures répétées a été menée uniquement dans la condition de pratique, avec

pour variables indépendantes le Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) et la Session (pré-test, chacune des 9 sessions de pratique et post-test) et comme variable dépendante le temps pour réaliser la planche B du TMT. Les données sont présentées dans la Figure 1. Cette analyse a montré un effet significatif de la Session $F(10,470) = 113, p < .001, \eta_p^2 = .71$, indiquant que le temps mis pour effectuer la planche B ont diminué au cours de la pratique. L'effet du Groupe d'âge était significatif $F(1,47) = 77.85, p < .001, \eta_p^2 = .62$, indiquant de meilleures performances (et donc des temps plus courts pour effectuer la planche B) chez les adultes jeunes par rapport aux adultes âgés. L'interaction Session X Groupe d'âge était significative $F(10,47) = 6.11, p < .001, \eta_p^2 = .12$ indiquant que, bien que les deux groupes aient bénéficié de la pratique, le bénéfice des adultes âgés était supérieur à celui des jeunes adultes (voir Figure 1).

Figure 1 : Evolution du temps mis pour effectuer la partie B du TMT au cours des sessions de pratique chez les jeunes adultes et les adultes âgés Figure 1: Evolution of the time used to execute the B part of the TMT across the practice sessions in young and older adults



Valeur des p des comparaisons planifiées inter-sessions (entre n et $n+1$): * : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Pour examiner cette interaction plus en détails, des comparaisons planifiées ont été menées pour examiner les effets d'âge sur le temps de réalisation de la planche B au pré-test, à chaque session et au post-test. Ces analyses ont montré que les différences entre les adultes jeunes et âgés, même si elles diminuent, persistent significativement au cours des 11 sessions (tous les $p < .05$). Afin de préciser le rythme de progression des performances dans les deux

groupes d'âge, des comparaisons planifiées ont également été réalisées entre les sessions n et $n+1$ (différence inter-sessions) séparément chez les jeunes adultes et chez les adultes âgés. Les valeurs des p sont représentées sur la Figure 1. On observe que les adultes jeunes progressent significativement, et donc diminuent leurs temps pour effectuer la partie B du TMT, de la première à la deuxième session de pratique, de la troisième à la quatrième session puis les performances se stabilisent. Les personnes âgées progressent régulièrement et significativement de la première à la septième session de pratique, c'est-à-dire qu'ils diminuent significativement leur temps pour effectuer la planche B du TMT au cours de ces six sessions puis les temps n'évoluent plus significativement pour les dernières sessions.

Enfin, l'objectif de la dernière série d'analyses était de déterminer à partir de quand (de quelle session) une interaction Groupe d'âge x Session est observable indiquant que le bénéfice associé au programme de pratique est plus important chez les adultes âgés et donc réduit les effets d'âge. Ainsi, afin de caractériser l'évolution des performances au cours des différentes sessions de pratique en fonction des groupes d'âge, plusieurs ANOVAs Groupe d'âge (jeunes vs. âgés) X Session ont été réalisées en faisant varier la variable Session de deux modalités (pré-test – session 1) à 11 modalités (pré-test- 9 sessions- post test) en ajoutant une modalité à chaque fois (voir Tableau III). La première ANOVA avait donc pour facteurs la variable Groupe d'âge et le facteur Session avec deux modalités, pré-test et session 1. La deuxième ANOVA était composée des deux mêmes facteurs, mais le facteur Session était composé de trois modalités (une modalité de plus : pré-test - session 1 - session 2), ainsi de suite jusqu'à la dixième ANOVA incluant toujours les mêmes facteurs, avec 11 modalités pour le facteur Session (pré-test – 9 sessions – post-test).

Tableau III: Série d'ANOVAs présentant les effets du Groupe d'âge, de la session et l'interaction entre ces 2 facteurs sur les performances au TMT en fonction du nombre de sessions de pratique incluses dans l'analyse (1 à 10)

Table III: Set of ANOVAs presenting the effects of Age group, Session and the interactions of this two factors on the TMT performances as function of the number of practices sessions included in the analysis (1 to 10)

ANOVA 2 Groupe d'âge (Jeunes vs. Âgés) × Session :

	Effet Groupe d'âge $F(1,47)$	Effet Session $F(1,47)$	Interaction $F(1,47)$
Pré/session 1	143.94***	0.69, ns	0.03, ns
Pré/session 1/ 2	133.64***	17.89***	0.02, ns
Pré/session 1/ 2/ 3	108.68***	29.54***	0.47, ns
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4	85.89***	42.95***	1.02, ns
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5	84.72***	64.79***	2.88*
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6	82.24***	84.84***	4.67***
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6/ 7	80.51***	95.10***	5.85***
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6/ 7/ 8	79.68***	105.47***	6.22***
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6/ 7/ 8/ 9	78.31***	110.17***	6.22***
Pré/session 1/ 2/ 3/ 4/ 5/ 6/ 7/ 8/ 9/ Post	77.85***	113***	6.13***

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$, ns : non significatif

Ces analyses ont montré que les effets de la pratique du TMT n'apparaissaient qu'après la deuxième session d'entraînement (pas d'effet test-retest dans le groupe de pratique) aussi bien pour les adultes jeunes que les adultes âgés. Lors du début des sessions de pratique (1 à 5), les adultes jeunes et âgés progressent de façon similaire, en effet les interactions entre le Groupe d'âge et la Session n'étaient pas significatives. A partir de la session 5 et jusqu'à la fin du protocole de pratique, les participants âgés bénéficient plus de la pratique que les adultes jeunes (interactions Groupe d'âge X Sessions significatives), il faut donc au moins 5 sessions de pratique pour que le bénéfice soit plus important pour les adultes âgés que pour les jeunes adultes et donc réduire les effets d'âge.

La pratique de la partie B du TMT a permis une amélioration des performances chez les adultes jeunes et âgés, les adultes âgés bénéficiant plus de la pratique. De plus, les adultes jeunes progressent essentiellement au début de la pratique (jusqu'à la 4ème session) alors que les adultes âgés progressent plus et plus régulièrement jusqu'à la septième session.

4. Discussion

Les études examinant l'amélioration possible des fonctions cognitives par le biais de la pratique sont importantes car elles contribuent au perfectionnement des protocoles de stimulation cognitive, notamment dans le contexte du vieillissement. Ces études ont montré qu'il était possible dans certains cas de réhabiliter certaines fonctions cognitives et notamment les fonctions exécutives, indispensables à la réalisation optimale d'un grand nombre de tâches cognitives dans la vie quotidienne. Les études sur les effets de la pratique de tests exécutifs et plus précisément de tests de flexibilité cognitive au cours du vieillissement ont abouti à des résultats contradictoires. Ces contradictions pourraient être expliquées par la grande variabilité des protocoles tant en termes de quantité, de fréquence que de durée des séances de pratique. La présente étude avait donc pour but d'expliquer cette hétérogénéité dans les protocoles de pratique notamment par l'étude des différences liées à l'âge, c'est-à-dire d'analyser l'évolution des performances d'adultes jeunes et âgés au fil des sessions de pratique. Son originalité était d'analyser cette évolution des performances liée à la pratique en mesurant la performance à la planche B du TMT à chaque session de pratique en fonction de l'âge. Ces analyses sont centrales pour déterminer si la possibilité de réduire les différences liées à l'âge sur une tâche exécutive par la pratique est fonction du nombre de sessions de pratique de cette tâche. Cette question est essentielle compte tenu de l'implication des fonctions exécutives dans la cognition générale et de leur importance dans le vieillissement. Cette étude avait plusieurs objectifs. Tout d'abord, nous avons voulu confirmer la possibilité d'améliorer les performances à un test de flexibilité cognitive (Trail Making Test, TMT, Reitan, 1958, partie B) chez des jeunes et des adultes plus âgés grâce à 10 séances de pratique de ce test. Plus précisément, nous avons examiné dans quelle mesure les adultes âgés pouvaient atteindre ou se rapprocher de la performance des plus jeunes et donc compenser leur déficit avec la pratique. De plus, le rythme de progression des performances résultant de cette pratique exécutive en fonction de l'âge a été analysé et décrit au fur et à mesure des sessions.

Notre premier objectif consistait à analyser s'il était possible d'annuler ou réduire les effets d'âge sur les performances à la carte B du TMT, cette carte représentant une mesure de flexibilité cognitive, par la pratique de ce test. En pré-test, les groupes contrôles et les groupes pratique étaient équivalents, c'est-à-dire qu'ils avaient les mêmes profils cognitifs. Nous avons aussi confirmé en pré-test les effets d'âge couramment observés dans la littérature sur la flexibilité (Carlson et al., 2009 ; Tombaugh, 2004). En effet, les adultes âgés avaient de plus faibles performances à la carte B du TMT que les jeunes adultes. Ces résultats en pré-test nous ont ainsi permis de mettre en évidence un effet spécifique de la pratique à la fois chez les adultes jeunes (tendance) et âgés. L'absence d'effet significatif lié à la pratique dans le groupe de jeunes adultes pourrait être expliquée par le manque de puissance statistique résultant d'un faible effectif. L'amélioration des performances du pré-test au post-test n'est pas liée à un simple effet test-retest, puisque nos groupes étaient équivalents en pré-test et que l'amélioration des performances est plus importante chez les participants de la condition pratique que dans la condition contrôle. L'effet test-retest est significatif après cinq jours de pratique mais n'est pas présent après une demi-journée de pratique (pré-test/session 1), à la fois chez les adultes jeunes et âgés. En post-test, l'amélioration des performances également observée à la carte B du TMT dans les groupes contrôles représente l'effet test-retest. Cet effet test-retest est souvent observé lors de la passation successive du même test. Il serait lié à différents facteurs comme par exemple la diminution du stress liée à la répétition des passations (Sindi et al., 2013) ou encore à la connaissance du test (Collie, Maruff, Darby, & Mc Stephen, 2003). L'amélioration des performances au TMT est donc possible à tout âge, au-delà d'un effet test-retest (e.g., Buck et al., 2008; Dye, 1979). Nos données sont conformes à nos attentes et à la plupart des études antérieures sur le déclin lié à l'âge des fonctions exécutives (Fisk & Sharp, 2004 ; Isingrini & Taconnat, 2008; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003) et les effets de la pratique sur ces fonctions, notamment la fonction de flexibilité cognitive (par exemple, Buck et al., 2008; Dye, 1979; Kramer et al., 1999; McComb et al., 2011).

D'autre part, en ce qui concerne notre objectif visant à déterminer s'il était possible de réduire les effets du vieillissement sur la flexibilité cognitive, nos résultats ont montré que les adultes âgés ont davantage bénéficié de la pratique du TMT que les adultes plus jeunes, comme le montre l'interaction significative entre le groupe d'âge et la session. Nous confirmons dans notre étude les résultats de certaines données de la littérature où les adultes âgés bénéficiaient plus des effets de pratique (Karbach & Kray, 2009; Kramer et al., 1999 ; McComb et al., 2011).

Cependant contrairement à l'étude de Kramer et al. (1999) où les effets d'âge sur la flexibilité cognitive n'étaient plus présents après trois séances de pratique, nous avons toujours des effets d'âge significatifs malgré un bénéfice plus important chez les adultes âgés. Cela suggère que lorsque les performances à un test exécutif sont faibles (ici de la flexibilité cognitive), comme c'est le cas pour les adultes âgés (par exemple, Fisk & Sharp, 2004 ; Isingrini & Taconnat, 2008; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003), elles sont plus faciles à améliorer. En effet, le niveau exécutif faible des participants âgés permet une marge de progression plus importante par rapport aux adultes jeunes qui ont un niveau exécutif plus élevé. Les jeunes adultes auraient peut-être plus bénéficié de la pratique d'un test exécutif si la tâche avait été plus difficile. Cette idée est en accord avec l'hypothèse de compensation (par exemple, Lövdén et al., 2012) qui suggère que les individus ayant un niveau initial faible (ici, les personnes âgées) sont plus en mesure d'améliorer leurs performances avec la pratique que ceux avec un niveau initial supérieur, conduisant à une réduction des différences liées à l'âge après la pratique. Ces résultats suggèrent qu'une forme de plasticité cognitive reste possible au cours du vieillissement (Wilkinson & Yang, 2012). En effet, le niveau exécutif, ici évalué par la flexibilité cognitive, peut être modulé et amélioré par la pratique d'un test exécutif, ici le TMT. Pour corroborer cette suggestion, il serait nécessaire d'étudier les effets de transfert de la pratique sur d'autres tâches spécifiques non pratiquées de flexibilité cognitive (near transfer effect) mais aussi sur des tâches cognitives plus éloignées de la flexibilité comme des tâches d'inhibition ou de mise à jour qui sont d'autres fonctions exécutives (far transfer effect). Il n'existe pas de consensus à propos de cette question d'effet de transfert chez les adultes âgés. Par exemple, Wilkinson et Yang (2012) ont montré que, bien que les adultes plus âgés aient amélioré leur capacité d'inhibition avec la pratique, il n'y avait ni transfert à des fonctions cognitives proches de la tâche pratiquée, ni à d'autres tâches cognitives plus éloignées fonctionnellement. En revanche, les effets de transfert à des tâches proches d'un entraînement cognitif ont été trouvés avec d'autres tâches exécutives comme le transfert d'effets bénéfiques d'un entraînement des capacités en double-tâche à un autre test non entraîné mesurant les capacités de division de l'attention (Bherer et al., 2005) ou le transfert d'un entraînement d'une tâche de flexibilité à d'autres tâches exécutives (Korbach & Kray, 2009). En effet, dans cette étude de Korbach et Kray (2009) où des jeunes et des adultes âgés ont été entraînés à effectuer des tâches de flexibilité cognitive, les effets bénéfiques ont été transférés à d'autres tâches de flexibilités non entraînées (near transfert), à d'autres tâches exécutives et à des tâches mesurant les connaissances fluides (far transfert). La question du transfert est intéressante car elle suggère que la pratique de certaines tâches cognitives

notamment exécutives pourrait conduire à l'amélioration d'autres tâches connexes non pratiquées. Il est cependant intéressant de noter que lorsqu'on pratique un test, les effets peuvent être expliqués par la stimulation d'une fonction particulière, dans notre étude la flexibilité cognitive, mais une partie de l'amélioration des performances pourrait être expliquée par l'amélioration d'autres fonctions intervenant dans l'exécution du test pratiqué. Par exemple, dans notre étude sur la pratique de la carte B du TMT, il est possible que la réduction du temps au fil des sessions et surtout chez les personnes âgées ne provienne pas uniquement de l'amélioration des capacités de flexibilité cognitive mais partiellement de l'amélioration de la vitesse de traitement. Pour explorer cette hypothèse, il serait intéressant d'effectuer une évaluation cognitive aussi en post-test ce qui permettrait de caractériser l'évolution des profils cognitifs après des séances de pratique.

Afin de répondre à notre deuxième objectif, le rythme d'amélioration de la performance à la planche B du TMT au cours des dix séances de pratique a été analysé. Nos résultats indiquent que l'évolution des bénéfices liée à la pratique est fonction de l'âge. Les adultes jeunes bénéficient des séances de pratique jusqu'à la session 4 alors que les adultes âgés en bénéficient jusqu'à la session 7. Les adultes jeunes parviennent à leur performance maximale plus rapidement que les plus âgés. Les dernières analyses effectuées, notamment les diverses ANOVAs à deux facteurs Groupe d'âge x Session nous ont permis d'observer qu'il faut au moins 5 sessions pour que le programme de pratique profite davantage aux adultes âgés. Si le post-test avait été relevé avant la cinquième session, aucune réduction des effets d'âge n'aurait été observé. Nos résultats seraient plutôt inverses à ceux obtenus par Kramer et al. (1999, Expérience 1) qui démontraient que les adultes âgés après trois sessions de pratiques bénéficiaient plus rapidement que les adultes jeunes. En effet, dans notre étude qui comportait plus de sessions de pratiques, les jeunes adultes ont besoin de moins de séances pour atteindre leur niveau de performances optimales, par rapport aux adultes âgés qui bénéficient plus longtemps des sessions de pratique. Une explication possible de cette différence de rythme d'amélioration des performances pourrait être les meilleures capacités exécutives chez les adultes jeunes. Les adultes jeunes ont un niveau initial plus élevé au TMT que les plus âgés, ceci pourrait expliquer qu'ils atteignent leur niveau de performance optimale au TMT avec un nombre plus restreint de séances de pratique. On peut donc supposer que les adultes âgés bénéficient plus de la pratique parce qu'ils en bénéficient plus longtemps et que la marge de progression est plus importante. Les adultes âgés bénéficient plus de l'entraînement car lorsque

les adultes jeunes ont atteint le seuil de progression, leurs performances n'évoluent plus, les adultes âgés vont alors bénéficier plus de la pratique ce qui a permis une réduction des effets d'âge. Ainsi, à l'issue des sessions de pratique, l'effet du vieillissement sera réduit ou non, en fonction du nombre de séances de pratique. Le nombre de séances de pratique pourrait donc être un facteur essentiel pour expliquer les résultats divergents concernant les effets de la pratique cognitive relevés dans la littérature.

En conclusion, en soumettant des adultes jeunes et âgés à 10 sessions de pratique du Trail Making Test, nous avons confirmé que l'amélioration des performances au TMT était possible à la fois chez des adultes jeunes et des adultes âgés, et nous avons mis en évidence que les adultes âgés bénéficient plus de cette pratique, ce qui permet de réduire les différences liées à l'âge. De plus, les performances à chaque séance de pratique ont été prises en compte. Cela a permis de mettre en évidence différents rythmes d'évolution des performances au cours des sessions de pratique en fonction de l'âge. En effet, les jeunes atteignent leur score maximal avec un nombre de sessions de pratique plus restreint (4 sessions) que les adultes âgés (7 sessions). Cependant les adultes âgés bénéficient des sessions de pratique de façon continue jusqu'à la session 7, probablement parce qu'ils ont plus de marge de progression compte tenu de leurs capacités initiales plus faibles au TMT.

Ces questions sont importantes, car nos résultats indiquent qu'il est possible d'améliorer les performances des personnes jeunes et âgées à un test exécutif. De plus, ils pourront contribuer au développement de protocoles à visée de réhabilitation cognitive. En effet, au-delà de la pratique de tests exécutifs, il serait intéressant d'effectuer le même type d'étude sur le rythme de progression à travers un entraînement cognitif plus complexe. Comme il l'a déjà été montré dans de nombreuses études, les entraînements cognitifs sont efficaces, notamment au cours du vieillissement (e.g., Ball et al., 2002 ; Bherer et al., 2005 ; Bherer et al., 2008 ; Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010 ; Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009 pour revue) et chercher à analyser le rythme de progression et les facteurs influençant les gains liés à cet entraînement serait bénéfique dans un contexte de remédiation cognitive au cours du vieillissement. Les programmes cognitifs d'entraînement efficaces devraient tenir compte des différences individuelles telles que l'âge (jeunes vs. âgés) ou le niveau initial d'un individu, en ajustant le nombre de sessions en conséquence.

References

Voir références bibliographiques en fin de thèse (page 235)

2. Expérience 2 : Les adultes âgés bénéficient plus de la pratique du Stroop test par rapport aux jeunes adultes et avec un rythme de progression différent, leurs niveau d'étude module leurs bénéfices

Les déficits liés à l'âge dans le fonctionnement exécutif expliquent en partie la diminution des performances cognitives avec le vieillissement. Cependant, la pratique répétée de tests exécutifs peut améliorer les performances à ce même test. De plus, les personnes âgées ayant un niveau élevé d'éducation formelle montrent moins de déficience cognitive que celles avec un faible niveau. Dans la présente étude, nous avons examiné les effets de la pratique répétée du Stroop test dans un groupe d'adultes jeunes et âgés ainsi que le rythme de progression des performances au fur et à mesure des sessions. Le potentiel rôle médiateur du niveau d'étude sur les gains liés à la pratique a aussi été analysé. Deux groupes de participants (adultes jeunes et âgés) ont pratiqué une tâche d'inhibition (test de Stroop, carte C), et ont été comparés à deux groupes de contrôle (i.e. pas de pratique entre les pré- et post-test). Les scores du groupe de pratique ont été relevés à la fin de chaque session. Globalement, les résultats ont montré une plus grande amélioration de la performance dans le groupe de pratique que dans le groupe contrôle. Les personnes âgées ont bénéficié plus de la pratique et plus que les jeunes adultes qui ont bénéficié de la pratique uniquement à la fin du programme de pratique (trois dernières séances). De plus, le niveau d'étude semble expliquer le gain lié à la pratique chez les adultes âgés. Les résultats de cette étude pourraient avoir des implications importantes pour une meilleure adaptation des programmes de pratique cognitifs à des caractéristiques spécifiques des personnes âgées afin d'en améliorer l'efficacité.

Burger, L., Taconnat, L., Angel, L., Borella, E., Plusquellec, P., & Fay, S. (en préparation). Older adults benefit more from practice of the Stroop task than the younger ones and at a different rate, and their educational level modulates their benefit.

Older adults benefit more from practice of the Stroop task than the younger ones and at a different rate, and their educational level modulates their benefit

Lucile Burger¹, Séverine Fay¹, Lucie Angel¹, Erika Borella², Pierrich Plusquellec³,
& Laurence Taconnat¹

¹Université François-Rabelais de Tours, Université de Poitiers, Poitiers, France ; and UMR 7295 « Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage », CNRS

²: Department of General Psychology, University of Padova, Italy,

³ : Centre for Studies on Human Stress, Research Center of the Mental Health Institute, Montreal, Quebec, and Etholabs, School of Psychoeducation, University of Montreal, Montréal, Québec, Canada

This study was supported by grants from the ANR (*Agence Nationale pour la Recherche*) 2013: Role of executive functions on strategic variations during aging: Studies in problem solving, memory, and motor behaviors (**ANR-13-BSH2-0005-03**). We thank Elizabeth Yates for reviewing the use of English in this article.

Running Head: AGING, PRACTICE AND EXECUTIVE FUNCTIONS

Corresponding author

Lucile BURGER, email: lucile.burger@etu.univ-tours.fr

Université de Tours

UMR-CNRS 7295 : CeRCA, équipe 'Vieillesse et Mémoire'

Département de Psychologie

3, rue des Tanneurs

37000 Tours, France

Phone: +33 2 47 36 81 54

Abstract

The decrease of cognitive performance with aging has been shown to depend in part on the age-related decline of executive functioning. However, practice tests sessions can improve performance on the same executive function tests. The goal of this study was to examine how the repeated practice of an inhibition test (C card of the Stroop test) could improve the performance in this test in young and older adults. In particular, we wanted to explore whether the rate of gain during a practice program varies between age groups, and how the educational level may influence the gain resulting from practice. 33 Younger adults and 60 older adults were divided into two groups: 1) Practice groups, practicing different versions of the C card of the Stroop Test for ten sessions, 2) Control groups, with no practice between pre- and post-test. Globally, results showed a greater improvement of performance in the practice groups than in the control group, for both young and older adults. The older adults however benefited more from practice than the young adults, at the early stage and improved regularly significantly session by session until the end of the ten sessions. On the contrary, the young adults benefited from practice only at the end of the practice session. Moreover, educational level explained a significant part of variance of the total gain (pre-test – post-test) resulting from inhibition practice in older adults, higher was educational level, higher was the total gain. The present pattern of findings could have important implications for adapting cognitive practice programs to the age or the educational level of older adults.

Key words: Executive functions, inhibition, practice, aging, rate of gain, educational level

Introduction

Aging is a complex process, leading to a decrease in performance in many cognitive tasks, despite older adults' many life experiences. Hence, there is a growing need to find ways of slowing down cognitive decline, for instance through specific practice (i.e., performing tasks repeatedly to improve performance of these tasks) or training (i.e., performing tasks repeatedly to improve performance of untrained tasks: transfer effects). The characteristics of the programs as the number of sessions or on specific individual characteristics as age or educational level may influence age-related differences in practice gain. The aim of the present study was (1) to investigate whether the repeated practice (10 sessions of practice) of an inhibition task (Stroop test, Stroop, 1935) may improve the performance of young and older adults in this inhibition task, (2) to explore the rate of improvement in the performance to the Stroop test which was explored across the 10 sessions and (3) to examine whether this benefit may be influenced by the cognitive reserve of the older participants, indexed by the level of education (e.g., Albert et al. 1995; Stern, 2002).

Executive functions are high level cognitive processes. They are crucial for general cognitive abilities, enabling the production of adapted responses by controlling and regulating cognitive processes (Moscovitch & Winocur, 1992). Luria (1966) defined for the first time the executive functions. These complex functions are involved in the other cognitive abilities by regulating and controlling them. They are involved when an individual must achieve a goal and when the task requires the synchronization of different processes (Elliott, 2003). Tasks require executive functions when an individual is confronted with a new situation in which the usual operations do not allow performing the task efficiently (Damasio, 1985; Shallice & Burgess, 1991). Among executive functions, inhibition ability, by enabling individuals to ignore irrelevant information that competes for attention with relevant information is one of the most important functions, allowing the individual to be adapted to his/her environment. Some studies have highlighted a stronger interference effect on several inhibition tests in older adults compared to young adults (e.g.; Houx, Jolles, & Vreeling, 1993, 2002; Verhaeghen, & De Meersman, 1997; West, 2004).

The Stroop test, used to evaluate the inhibitory processes on irrelevant responses, is the most used and one of the most relevant tasks to evaluate cognitive inhibitory functions (Boon, 1999, Derrfuss, Brass, & Von Cramon, 2004, Hasher & Zacks, 1988). To complete this task, participants have to name as fast and accurately as possible the color of the ink displayed in an

incongruent ink color (e.g., “red” written in blue). The performance in this “incongruent” condition (C card) is usually compared with the performance assessed in a baseline or control condition where participants have to name the color of crosses of printed characters (e.g., “++++” in blue, B card).

Several studies have shown that the executive function performance of both young and older adults can be improved and regenerated by practice (e.g., inhibition, assessed with the Stroop test : Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Dulaney & Rogers, 1994, Experiment 1; Rogers & Fisk, 1991; Wilkinson & Yang, 2012; flexibility assessed with TMT : Buck, Atkinson, & Ryan, 2008; Dye, 1979 ; or working memory updating: Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013; Karbach, Mang, & Kray, 2010; see Beglinger et al., 2005 for negative findings in young adults). One important question is whether young and older adults benefit similarly from executive practice. Two hypotheses proposed opposite predictions. According to the magnification model (Bissig & Lustig, 2007; Kliegl, Smith, & Baltes, 1990; Verhaeghen & Marcoen, 1996), group differences should be increased after training, with the best performers before training will gain more (i.e., the younger group). The magnitude of inter-individual differences should increase as a function of practice because differences between the high and low-performing individuals should be greater after practice than at baseline assessment. On the other hand, the compensation hypothesis proposes that individuals with high performance are already functioning at an optimal level and thus have less potential for improvement (Lövdén, Brehmer, Li, & Lindenberger, 2012). According to the compensation hypothesis, the lowest performers before training gain more with training. Consequently, age differences, and other interindividual differences should be reduced after practice programs.

Experiments comparing the age-related effect on the benefits of practice of an inhibition a task, which is the focus of the present study have reported contradictory findings, following either the compensation (e.g., Davidson et al., 2003) or the magnification (e.g., Rogers and Fisk; 1991) hypothesis. More specifically, Davidson et al. (2003, Experiment 1) found that older adults benefited more from six practice sessions of the Stroop Test than their younger counterparts, which reduced, but not eliminated age-related differences in the performance in this test after the six practice sessions, in agreement with the compensation hypothesis. Dulaney and Rogers (1994), with ten practice sessions of the Stroop test, found similar practice effects in young and older groups. On the contrary, Rogers and Fisk (1991) did not find any practice effect (3 sessions) in the older adults whereas the young adults improved significantly, which would support the magnification hypothesis. One important question is to identify the factors

that may explain these discrepant findings across studies. It might be suggested that the number of practice sessions or specific characteristics of participants may modulate age-related differences on practice gains.

On the one hand, one factor that could explain the heterogeneity of the literature is the variety of protocols. The few studies that analyzed the effect of inhibition practice used a different number of practice sessions. These different practice programs were associated with different results, with a benefit of 3 practice sessions only in young adults for a Stroop arithmetic practice (Rogers & Fisk, 1991), a similar benefit in young and older adults with 6 sessions practice (Dulaney & Rogers, 1994) or greater benefit for older adults with 10 practice sessions (Davidson et al., 2003, Experiment 1). Wilkinson and Yang (2012) found an improvement of inhibition capacities in older adults after 6 inhibition practice. The hypotheses of magnification and compensation could be complementary and might explain the discrepancies found in practice task protocols. Data could follow the magnification model at the beginning of training, where individuals with better initial cognitive level would benefit more from practice. After enough training sessions, the effect of practice could follow the compensation model, with individuals with the smallest initial cognitive level could benefit more from the practice. Thus, the exploration of the rate of gain resulting from inhibition practice session by session may highlight different profiles of age-related differences on the practice gain.

On the other hand, one individual characteristic that appears to have a major influence on the effects of aging on cognition is the level of formal education. This factor has been found to be one of the strongest predictors of cognitive decline during aging (see Ardila, Ostrosky-Solis, Rosselli, & Gómez, 2000, Stern, 2002 and Anstey & Christensen, 2000 for reviews), with cognitive deficits occurring later and less extensively in people with a high educational level (e.g., Cagney, & Lauderdale, 2002; Foubert-Samier et al., 2012; Kalpouzos, Eustache, & Desgranges, 2008; Lam et al., 2013; Manly, Touradji, Tang, & Stern, 2003; Stern, 2002; 2009; Staff, Murray, Deary, & Whalley, 2004; but see Zahodne et al., 2011 for different results) and this result was found in many cognitive domains such as memory (e.g., long term memory: Angel, Fay, Bouazzaoui, Baudouin, & Isingrini, 2010; Desgranges, Eustache, & Rioux, 1994; short term memory: Pacaud, 1990), short-term memory (Pacaud, 1990; Delbecq-Derousné & Beauvois, 1989; Desgranges et al., 1994), verbal aptitude (Verhaeghen, 2003) and language (Leibovici et al., 1996). However, there is no consensus regarding the extent to which education

contributes to specific cognitive control processes such as executive functioning, some studies showing a positive effect of educational level (e.g., Dorbath et al., 2013; Mejia, Pineda, Alvarez, & Ardila, 1998; Plumet, Gil, & Gaonac'h, 2005; Lenehan, Summers, Saunders, Summers, & Vickers, 2015), in particular on the Stroop Test (Houx et al., 1993; Van Der Elst, Van Boxtel, Van Breukelen, & Jolles, 2008) while others found no such effect (e.g., Hashimoto et al., 2006; Rönnlund, Lövdén, & Nilsson, 2001; Van Gerven, Meijer, & Jolles, 2007). Actually, a study by Tombaugh (2004) showed that the relationship between level of education and executive functions (in this study, flexibility assessed the TMT) appears mainly after the age of 54 years, suggesting that the level of education may influence executive functioning particularly in older adults. Based on the protective role of educational level on cognitive aging, it might be suggested that this factor may influence the benefit of a practice or training. According to the magnification hypothesis, because a high level of education is often associated with better cognitive skills (see studies cited above) involved in learning new procedures. High educational level may be more likely to improve their performance with practice. According to this idea, older participants with the highest educational level may benefit more from practice

Only one study has specifically tested the effect of educational level on executive practice gain. Dorbath et al. (2013) analyzed the effect of educational level (by contrasting high and low-educated older groups) on a practice gain after 4 sessions of switching practice task. They found an educational level effect on performances at pre-test but unexpectedly, they failed to find a significant effect of educational level on the training gain in older adults. A possible explanation is that the older adults in the low education level group had up to 15 years of formal education, compared to more than 17 years in the high-level group. It is possible that the contrast between the two groups was not sufficient to highlight the effect of educational level. Indeed, the cut-off used for the low educated groups seems quite high and participants of this group might in fact be also considered as highly educated. Belleville et al.'s study (2006) adds weight to this suggestion because their results showed a positive association between the level of education and the effect of episodic memory strategies training (8 sessions) on episodic memory abilities, participants with more years of formal education benefiting more from the program. Unfortunately, this result was not discussed in detail because the role of education on the benefits of training was not the main objective of this study. The influence of educational level on the benefit of practice has never been explored on an inhibition task. Given the protective role of education on cognitive aging, in agreement with the magnification hypotheses, we can expect that the educational level may be correlated with the practice gain

and that it may be a strong predictor of the practice gain in older adults. In other words, we expected that older adults' practice gain would be at least partly explained by their level of education. Indeed, older adults with a high educational level have been faced with more learning experiences during their studies, more cognitive stimulation, possibly more opportunities for brain plasticity that allows them to get more gain.

Thus, the main aim of the present study was to examine how the repeated practice of an inhibition test (Stroop test) can improve performance to this test across practice sessions in young and older adults. Moreover, the originality of this study was to determine whether the rate of gain during a practice program may vary between age groups and explore how the educational level may influence the gain resulting from these ten practice sessions. To do so, we conducted an experiment in which two groups of participants (younger adults and older adults) practiced an inhibition task (Stroop Test), and were compared to two passive control groups (i.e., no practice between pre- and post-test, participants came in the laboratory only for the pre- and the post-test sessions). These participants who did not practice the inhibition tasks were included to disentangle between the potential effects of practice and a test/re-test effect. Moreover, performance to this task is known to decrease with advancing age (e.g., Houx, Jolles, & Vreeling, 1993; Wolf et al., 2014). Given the heterogeneity of the practice protocols in previous studies, we chose a protocol with ten practice sessions to ensure the possibility of observing the profile of practice gains for each participant, whatever their age and their educational level.

This research had three specific aims. Taking into account the effect of aging in the inhibition capacities, we wanted first to confirm the possibility of improving performance on an inhibition test in young and older adults through practice (Davidson et al., 2003; Dulaney & Rogers, 1994; Wilkinson & Yang, 2012). As predicted by the compensation hypothesis, we expected performance in the executive test to increase from pre- to post-test and more in the practice group than the control group. Moreover, we investigated whether the performance of older adults could get closer or even reach that of younger adults. We hypothesized that if we proposed enough sessions to improve the older adults' performance, as Davidson et al. (Experiment 1, 2003) found with 6 sessions, we will show with ten sessions a better improvement in older adults, as proposed by the compensation hypothesis. As the older adults should benefit more than the younger adults, thus age-related difference in Stroop test should be reduced after practice. Furthermore, we explored the effect of aging on the rate of gain across

the ten practice sessions. In accordance with Kramer et al. (1999), we expected a faster increase of performance in older adults than in younger adults, following the compensation hypothesis.

Finally, as the level of education may particularly influence inhibition functioning in older adults, the effect of educational level on the practice gain in older participants was also explored.

Method

Participants

Ninety-three participants have been recruited for this experiment. Four independent groups were formed: 33 young and 60 older adults participated in this experiment and each age group was divided into two experimental groups. 16 young (8 women) and 30 older adults (11 women) were included in the practice groups, and 17 young (7 women) and 30 older adults (14 women) in the passive control groups. Given the variability in cognitive aging process (Kalpouzos, Eustache, and Desgranges, 2008), the number of older adult groups was more important than those of young adults. All older participants reached the cut-off score of 27 on the Mini Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) which minimized the risk of including people with preclinical dementia. All participants from the practice groups completed all the practice sessions. All the older participants lived in their own homes. They were volunteers and were recruited from leisure clubs and the Senior Citizens' University. The young adults were acquaintances of the older participants. In order to minimize any cohort effect, none of the young participants were university students. None were taking medication likely to affect their intellectual abilities. Individuals with a history of alcohol abuse, brain injury or taking medication likely to affect their intellectual abilities were also excluded from the sample. The study was approved by the ethics committee of the University of Tours (France), and all participants signed a consent form.

Table 1: Means (and Standard deviations) of characteristics (top) and of cognitive abilities (bottom) in Young adults and in Older Adults in the practice and in the control conditions and P-values of ANOVAs effects.

	Practice Group		Control Group		ANOVA 3 (Group) x 2 (Condition)		
	Younger adults (N=16)	Older adults (N=30)	Younger adults (N=17)	Older adults (N=30)	Condition effect	Group effect	Interactio n
Age (in years)	26.94 (4.85)	68.67 (6.76)	25.00 (5.50)	769.77 (5.93)	ns	.001	ns
Education level	11.88 (1.54)	10.70 (2.76)	13.00 (1.21)	10.5 (3.12)	ns	.01	ns
Anxiety	4.25 (1.81)	5.07 (1.46)	6.35 (4.39)	5.00 (3.03)	ns	ns	ns
Depression	3.88 (1.96)	4.33 (1.37)	4.82 (2.90)	4.73 (2.72)	ns	ns	ns
Subjective health	4.00 (.97)	3.97 (.89)	4.12 (.86)	3.80 (.81)	ns	ns	ns
Vocabulary	23.68 (1.85)	24.43 (3.16)	22.11 (2.87)	25.53 (5.58)	ns	ns	ns
Pre-tests							
Stroop B	46.50 (6.51)	62.70 (13.88)	49.54 (4.86)	62.95 (11.55)	ns	.001	ns
Stroop C	75.94 (4.78)	114.40 (12.78)	79.43 (9.77)	120.71 (23.48)	ns	.001	ns
Inhibition index	.67 (.28)	.90 (.42)	.61 (.23)	.93 (.26)	ns	.001	ns

The demographic and cognitive characteristics of the four groups (practice and control groups of young and elderly participants) are presented in Table 1. Participants have been assessed for depression and anxiety (Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS, Zigmond & Snaith, 1983) and for self-reported health measured on a five-point scale from 0 (poor health) to 5 (very good health).

ANOVAs 2 (Group: younger adults vs. older adults) X 2 (Condition: practice vs. control) were conducted on age, educational level, subjective health, scores on HADS Anxiety, HADS Depression and Vocabulary (Table 1).

There was a main effect of Group on age, $F(1,89) = 1112,8, p < .001, \eta_p^2 = .93$, but there were no effect of Condition, $F(1,89) < 1$, or interaction Group x Condition, $F(1,89) < 1$, indicating that Age Group differences did not differ across conditions. Moreover, there was a significant effect of Group on the Educational level, $F(1,89) = 10.957, p < .01, \eta_p^2 = .11$, the younger adults having completed more years of education than the older adults. There were no effects of either Group or Condition, nor any interaction between these two factors on Anxiety, Depression (HADS test), subjective health or Vocabulary indicating no significant differences between the groups on these measures.

Regarding the Stroop test, there was also a group effect on the scores in B card ($F(1,89) = 39.67, p < .001, \eta_p^2 = .31$) and C card ($F(1,89) = 139.16, p < .001, \eta_p^2 = .61$) and on the inhibition index (calculating by the subtraction B card and C card and the division by B card) $F(1,89) = 16.06, p < .001, \eta_p^2 = .15$, indicating that older adults have lower inhibition capacities than their younger counterparts. These results are in accordance with previous research showing that inhibition capacities (Houx, Jolles, & Vreeling, 1993) decrease with aging. These results confirmed that, although the control of the processing speed by including the score of the B card in the inhibition index, there was age effects on inhibition capacities. It justified the practice and the used of the congruent condition (C card) in the practice protocol. On the other cognitive measures, there was only a significant effect of Group, the younger adults performing slightly better than the older adults:

Globally, in each condition (Practice vs. Control), the 2 groups present the same demographic and cognitive profiles.

Material and Procedure

The color-word interference subtests (B card and C card, 100 items per card) of the standard Stroop Color-Word Test (SCWT; Stroop, 1935) were used. In this subtest participants have to name aloud as fast as possible the color of the ink used to write color-words while ignoring the name of the printed word. Participants were stopped when they made errors and then they continued the test after having corrected their error. The time to complete C card was recorded. Higher was this time smaller was the score. The B card used as reference card was composed by color crosses. Participants had to name the printed color of the cross. Taking the cross condition as the baseline, the raw scores were transformed into proportion scores (inhibition index) for each participant as follows: $[(\text{color-naming baseline condition score} - \text{color-naming word-color interference score}) / \text{color-naming baseline condition score}]$. We chose this more conservative measure of interference, focusing on conditions requiring the same tasks, in this case, naming the color of the ink of each item (Cards B & C), as recommended by Li & Bosman (1996) rather than absolute difference scores, in order to take into account the lower baseline scores of the older adults. Here, the higher the score, the lower the inhibition capacity.

This experiment involved several practice and testing sessions. In the first session the participants were interviewed to collect demographic data, and they took the tests assessing their cognitive abilities and the original Stroop test (B and C cards).

The week after the first session, the participants of the practice condition performed ten practice sessions, two 30-minute sessions per day for five days (one in the morning, and one in the afternoon, to eliminate potential chronopsychological effects, e.g., Guerrien, Leconte-Lambert, & Leconte, 1993; Schmidt, Peigneux, Cajochen, & Collette, 2012). All the participants were tested individually to limit the positive effect of group interaction. To this end, ten versions of the C card of the Stroop test were specially created. In each version of the C card used for the pre-test, practice sessions, and post-test, there were 100 items by card. The modified versions differed only in the order in which the items were presented. The colors (blue, green and red) remained the same. Thus, the ten versions were similar, but the items were randomly mixed to avoid test-retest effects. These ten version were used to do the ten sessions of the practice, the pre-test and the post-test were the classical version of the C card. These versions were tested on 20 people who did not participate in this experiment in order to determine whether performance correlated with the original version. Bravais-

Pearson correlation coefficients calculated between the original version and the new versions varied between .83 and .97, and we considered that the new versions evaluated a cognitive ability comparable to the original version (Stroop test C card).

In both the practice and control conditions, the pre- and post-test sessions were 5 days apart. In each practice session, participants completed five C card versions of the Stroop test, pseudo-randomly chosen among the ten new versions, with a short break between sessions. Thus, each version was presented several times during the week. The time taken to complete the last (the 5th) test in each session was used to calculate the inhibition index for each session. The last test of the 10th practice session was the original Stroop test C card. A Total gain was calculated for each participants in practice group by the formula: [time C card at pre-test - time the C card at post-test]. The control groups were passive groups, and were assessed only at pre-test and post-test sessions.

Results

Data analyses aimed to answer to our three objectives: 1) analyzing age-related differences on the improvement of performance in the Stroop test through practice, 2) exploring whether the rate of increase in performance in the Stroop test depends on age, 3) examining how the educational level may influence the gain resulting from the practice in older adults. To answer our first objective, we conducted a 2 (Group: younger adults vs. older adults) x 2 (ANOVA (Condition : practice vs. control) x 2 (Session : pre-test vs. post-test) ANOVA on the performance to the C-card. First, to test whether the control and practice groups were equivalent in pre-test and to confirm an inhibition deficit in older adults before starting practice sessions, we performed a partial two-factor ANOVA Age X Condition on pre-test performance only. In order to confirm that the 10 practice sessions allowed a greater improvement than a simple test-retest effect for each age group, we conducted two partial ANOVAs 2 (Session) X 2 (Condition) in each age group separately. Finally, to analyze the post-test differences according to age and condition, we performed a partial two-factor ANOVA Group X Condition on post-test performance only. To specify the size of practice effect, we calculated the *d* of Cohen. To answer our second objective, we performed ANOVA with the Group (young vs. old) and Session (pre-test, each of the 9 practice sessions and post-test) factors, only in the practice groups . In order to clarify the effects of age across the practice sessions, planned comparisons were performed between young and older adults for each session. Then, to examine the rate of increase in performance

in the Stroop test separately in young and older adults, planned comparisons between sessions n and $n + 1$ (pre-test / session1; session 1 / session 2 ...) in each age group separately (see Figure 1). Finally, always with the aim of characterizing the different rates of improvement according to age, we conducted several ANOVA with Group (young vs. old) and Gain (9 practice gains) factors. As a reminder, the gain was calculated by subtracting performance from the pre-test and from the trial n (e.g., gain 1: pre-test – trial 1). Then, planned comparisons between gain n and gain $n+1$ in each age group were calculated. Lastly, in order to determine whether practice effects in older adults depend on educational level, Bravais-Pearson correlations between the gains resulting from the practice and the educational level were conducted only in older participants. Then, hierarchical regression analyses also helped to precise the contribution of the educational level to practice gains variance in the older group in the practice condition.

Effects of practice and group on the score in the Stroop test

Table 2: Means (and SD) of time used to do the C card at pre-test and post-test for each group in the Practice and Control Condition

	Practice Group		Control Group		ANOVA 3 (Group) x 2 (Condition)		
	Younger adults (N=16)	Older adults (N=30)	Younger adults (N=17)	Older adults (N=30)	Condition effect	Group effect	Interaction
Pre-test	75.94 (4.78)	114.40 (12.78)	79.43 (9.77)	120.71 (23.48)	Ns	.001	ns
Post-test	61.88 (4.27)	81.1 (9.43)	78.51 (11.71)	119.24 (23.19)	.001	.001	.001
Cohen's <i>d</i>	1,75	2,93	0,05	0,06			

To examine the specific effect of practice and Group on the performance in Stroop test, a 2 (Group: younger adults vs. older adults) X 2 (Condition: practice vs. control) x 2 (Session: pre-test vs. post-test) mixed ANOVA was conducted on the Stroop test performance (performance to the C

card). In the following analyses, only the significant results are reported. The effect of Session was significant, showing that the performance of Stroop test was better at post-test than at pre-test $F(1,89) = 82.49, p < .001, \eta_p^2 = .48$, indeed the time used to do the C card was smaller at post-test than at pre-test. There was a significant effect of Condition $F(1,89) = 27.95, p < .001, \eta_p^2 = .24$ indicating a better performance in the practice than the control condition. The interaction between Session and Condition was significant $F(1,89) = 67.44, p < .001, \eta_p^2 = .43$, reflecting a significant difference between pre- and post-test in the practice condition $F(1,89) = 146.68, p < .001, \eta_p^2 = .53$ but not the control condition: $F(1,89) = .39, ns$. Moreover, a large effect size was found in the two practice groups (see Table 2), respectively $d = 1.75$ in the young adults and $d = 2.93$ in the older adults, contrary to the control groups, that presented small effect size (young $d = 0.05$ and older adults $d = 0.06$). Further analyses showed that Condition had no significant effect on the Stroop test performance at pre-test $F(1,89) = 2.05, ns$, suggesting that the Control and Practice groups had similar performance, whereas this effect was significant at post-test, with a lower performance in the control group than in the practice group $F(1,89) = 68.79, p < .001, \eta_p^2 = .44$. The interaction between Group and Session was significant $F(1,89) = 13.13, p < .001, \eta_p^2 = .13$, thus older adults increased more their performance from pre-test to post-test $F(1,89) = 113.83, p < .001, \eta_p^2 = .56$ than the younger ones $F(1,89) = 11.54, p < .01, \eta_p^2 = .11$. The two-way Group X Session X Condition interaction was also significant $F(1,89) = 11.71, p < .01, \eta_p^2 = .12$, indicating that the increase of performance from pre-test to post-test differed as a function of Group and Condition. To better understand this interaction, two types of partial ANOVAs have been conducted to highlight the specific effect of practice on the increase of performance in Stroop test in each group.

Were the groups equivalent at pre-test?

Partial ANOVAs (Group) X 2 (Condition) were conducted on the performance at pre-test to ensure that practice and control groups had similar inhibition performance and that younger adults outperformed older adults in the pre-test session.

The effect of Group on the scores in C card ($F(1,89) = 139.16, p < .001, \eta_p^2 = .61$) was significant, older adults needed more time to complete this task than their younger counterparts (see Table 2). The effect of condition ($F(1,89) = 2.1, ns$) and the interaction Group X Condition ($F(1,89) = 0.2, ns$) were not significant. These results are in accordance with previous research showing that performance on the C card decrease with aging.

This ANOVA allowed us to ensure that our practice and control groups had similar cognitive profiles at pre-test. The age-related deficit in inhibition abilities commonly described in the literature (Houx, Jolles, & Vreeling, 1993) was supported by the present data. This suggests that if differences between the two conditions (practice vs. control) were revealed in post-test, they would result from practice and not from pre-existing differences.

Was there a specific effect of Condition in each group?

To answer that question, ANOVAs 2 (Condition) X 2 (Session) were conducted in each group separately.

In the younger group, the effect of Condition was significant $F(1,31) = 14.10, p < .001, \eta_p^2 = .31$, the practice group had higher performance in the Stroop C card than the control group. The effect of Session was significant $F(1,31) = 42.88, p < .001, \eta_p^2 = .58$, indicating that the C card performance was higher at post-test than at pre-test. The interaction between these two factors was significant $F(1,31) = 33.03, p < .001, \eta_p^2 = .52$, revealing an increase of performance in C card from pre-test to post-test only in the practice condition ($F(1,31) = 73.36, p < .001, \eta_p^2 = .70$ and $F(1,31) = .33, ns$ in the control condition).

In the older group, the effect of Condition was significant $F(1,58) = 27.13, p < .001, \eta_p^2 = .32$, indicating that as in young group, older participants obtained better performance in the practice condition than in the control Condition. The effect of Session was significant $F(1,58) = 81.85, p < .001, \eta_p^2 = .59$, indicating that the time used to do the C card was smaller at post-test than at pre-test. The interaction between these two factors was significant $F(1,58) = 68.61, p < .001, \eta_p^2 = .54$, revealing an increase of the performance in C card from pre-test to post-test only in the practice condition ($F(1,58) = 150.17, p < .001, \eta_p^2 = .72$ and $F(1,58) = .29, ns$ in the control condition).

These results showed that young and older adults increased their performance after the practice session. On the contrary, we did not observe any improvement from pre to post-test session in the control condition. Thus, there is a specific effect of practice on the time required to complete the Stroop C card in both young and older adults.

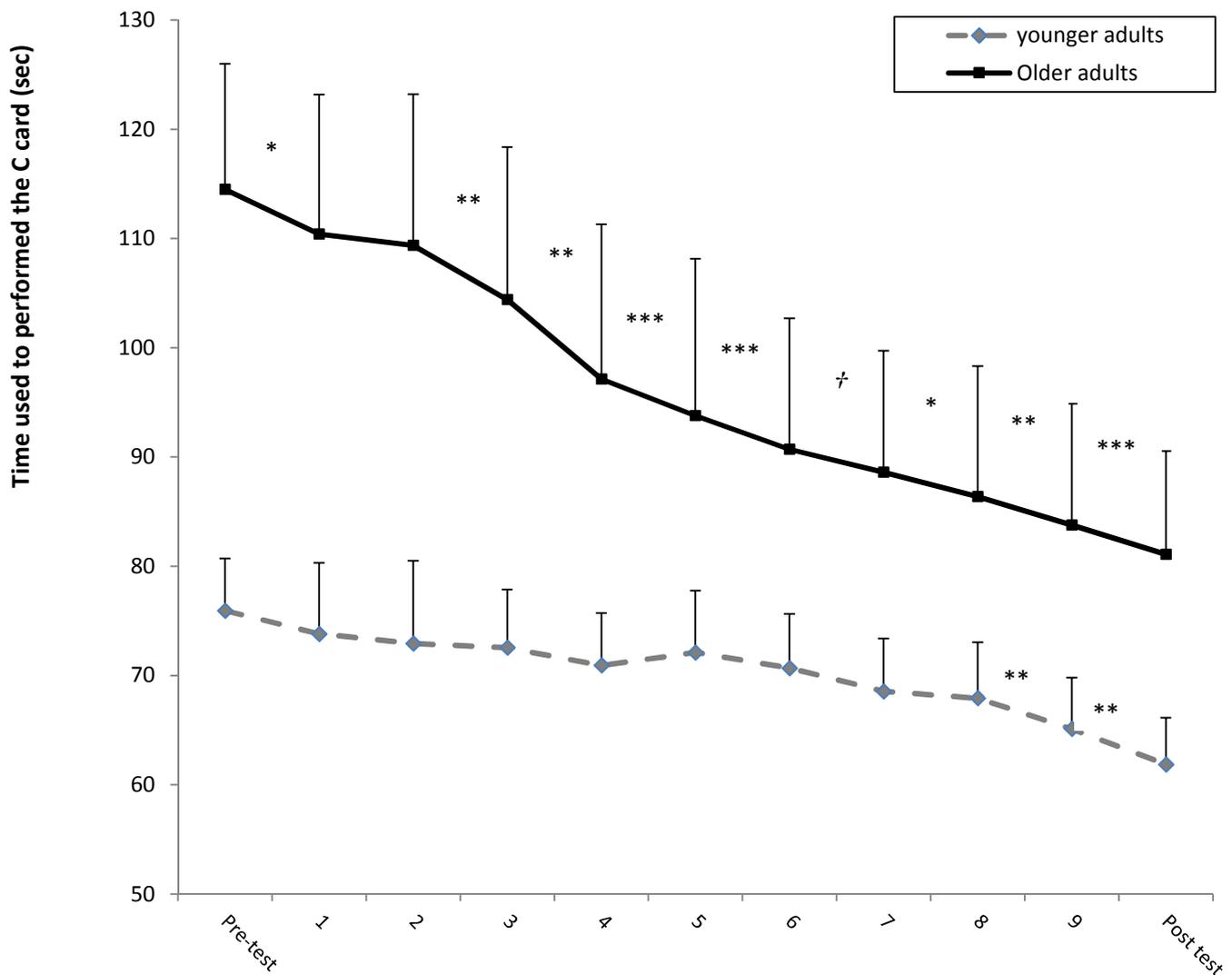
Were the groups equivalent at post-test?

A two-way ANOVA (Group: younger adults vs. older adults) X 2 (Condition: practice vs. control) was conducted on the performance in C card at post-test. The analysis showed a significant effect of Group $F(1,89) = 82.41, p < .001, \eta_p^2 = .48$. The time used to perform the C Card was lower for the younger adults than for the older adults. The effect of Condition was significant $F(1,89) = 68.80, p < .001, \eta_p^2 = .44$, the performance in C card was higher in the practice condition than in the control condition. The interaction between Condition and Group was also significant $F(1,89) = 10.60, p < .01, \eta_p^2 = .11$, indicating that the effect of Group was more important in the control condition $F(1,89) = 77.58, p < .001, \eta_p^2 = .47$, than in the practice group ($F(1,89) = 16.63, p < .001, \eta_p^2 = .16$). The effect of practice was greater in the older adults than in the younger adults. Age-related deficit was thus reduced thanks to practice, although it was still significant. The d of Cohen presented in the Table 2 highlight important effect size ($>.80$) in the practice group in young ($d=1.75$) and older adults ($d=2.93$) compare to control groups (young adults: $d=.05$: older adults: $d=.06$).

From these analyses, we can conclude that practice resulted in an improvement of the performance obtained in the Stroop test for the two practice groups, older adults benefited more from this practice than the younger ones, and that this improvement was greater than the simple effect of test-retest (not observed in the control condition). Furthermore, the age effect observed at the pre-test was reduced, even if this effect was always significant.

Rate of change of performance across practice sessions in young and older adults

Figure 1: Evolution of the time used to perform the C card of the Stroop test across practice sessions in the younger adults and older adults



† : $p = .08$, * : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

In order to examine the rate of change in performance across practice sessions in each age group, a mixed ANOVA was conducted on the time to complete the Stroop C card only in the practice condition, with the Group (young vs. older) and Session (pre-test, each of the 9 practice sessions and post-test) factors. Data are presented in Figure 1. This analysis showed a significant effect of Session $F(10,440) = 55.65$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .69$, indicating that the time to perform the C card declined during practice. The Group effect was significant $F(1,44) = 99.04$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .62$, performance was better among young adults than the older ones. The Session X Group interaction was significant $F(10,44)$

= 15.48, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = .26$, although both groups have benefited from the practice, the benefit of older adults was higher than that of young adults (see Figure 1).

Table 3: *P-values of planned comparisons between pre-test and the n-trial to test the gain in C card of the Stroop test in the two experimental groups.*

		Younger adults <i>F(1,44)</i>	Older adults <i>F(1,44)</i>
Planned Comparisons between pre-test and performance in trial n	gain 1	ns	.05
	gain 2	ns	.01
	gain 3	ns	.001
	gain 4	ns	.001
	gain 5	ns	.001
	gain 6	†	.001
	gain 7	.01	.001
	gain 8	.001	.001
	gain 9	.001	.001
	gain 10	.001	.001

*N.B: gain 1: pre-test compared to trial 1; gain 2:pre-test compared to trial 2; ...
ns: $p > .05$; † : $p = .08$, * : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$*

To examine this interaction in greater detail, we wanted to test whether the effect of age remained significant during all practice sessions. Thus, planned comparisons were conducted to compare the between-group differences in the performance at pre-test, at each session and at post-test. These analyses showed that the differences between young and older adults remained significant from the pre-test, during all the practice sessions, to the post- test ($F_s > 30$; $p < .001$). Secondly, planned comparisons were calculated separately in young and older adults to examine whether the two groups

progressed between all consecutive sessions. Thus, we compared session n with session $n+1$, in young and older adults. The results of these planned comparisons are presented in the Figure 1 and in the Table 3. The young adults progressed more at the end of the practice sessions, from the Session 8 to the post-test. Older adults progressed more regularly along the sessions from the pre-test to the post-test.

Relationship between practice gain and educational level in whole sample and older adults

To explore the relationship between the educational level and the total gain (Pre-test minus Post-test) in the Stroop test, we conducted Bravais-Pearson correlation analyses in the older groups. In older adults only, the Total gain was significantly correlated with Educational level ($r = .40, p < .05$), the higher was educational level, the higher was the total gain. Note that the Educational level was correlated with Vocabulary ($r = .40, p < .05$), as it is frequently observed in the literature (Grégoire, 1993; Craik & Bialystock, 2006). Partial correlations with age partialled out revealed the same pattern of results, which helped to be sure that the relationship between the total gain and Educational level was independent of age.

A hierarchical regression analysis was conducted on the performance to the C Card, the number of years of education level entered in the equation and revealed that educational level accounted for 13% ($p < .05$) of the variance in total gain in the older adults.

Discussion

The current study had several objectives. First, we wanted to confirm that performance of young and older adults on an inhibition task could be improved by practice, specifically with ten practice sessions of the Stroop test. Secondly, the present study examined whether older adults could reach younger adults' performance and thus compensate for their deficit with practice, as predicted by the compensation hypothesis. Finally, our main aim was to determine whether the rate of gain during a practice program may vary between age group and to explore how the older adults' educational level may influence the gain of performance after practising Stroop task.

Young and older adults benefited from the practice, this confirm the existence of plasticity in all age. Plasticity correspond to the possibility for an individual to change their cognitive abilities. Our data are in line with these expectations and with most previous studies regarding the age-related decline of executive functions (Fisk & Sharp, 2004) and the effects of practice on these functions

(e.g., Davidson et al., 2003). These results are crucial given the involvement of executive functions in general cognition and their importance in aging. More specifically, at pre-test in both the practice and control conditions, the younger group achieved significantly better performance on the inhibition test than the older participants, while at the end of the executive practice period, the age effect only decreased in the practice condition suggesting that the older adults benefited more from the practice than the younger ones. The effect of practice on inhibition was higher than a simple test-retest effect. In the practice group, the significant interaction between group and session showed a greater improvement following cognitive practice in the older adults than in the young group in accordance with results from Davidson et al. (Experiment 1, 2003)'s study. That suggests that when executive function capacities are low, as it is the case for older adults (e.g., Isingrini & Taconnat, 2008; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003), they are easier to improve. This could be due to the high performance of younger adults, leaving limited scope for progress. It is possible to suggest that they may have benefited more from practicing the executive tests if the task had been more difficult. This finding also corroborates the compensation hypothesis (e.g., Lövdén et al., 2012) because initially low-performing individuals (here, the older adults) were more able to improve their performance with practice, leading to a reduction of age-related differences after practice. These results suggest that a form of cognitive plasticity remains possible in older adults (Wilkinson & Yang, 2012).

One originality of the present study was to examine different variables such as the number of sessions and the educational level that may influence age-related differences in the benefits of practice. In most studies on the effects of training or practice, only pre-test and post-test scores are analysed, and it was therefore not possible to explore different profiles of gain across the whole training or practice period as a function of participants' age or other individual characteristics. In the present study, performance was evaluated at the end of each practice session. The rate of gain differed depending the age of participants. Indeed, the young adults progressed more at the end of the practice sessions, from the Session 8 to the post-test. Older adults progressed more regularly along the sessions from the pre-test to the post-test. This pattern of results would explain the discrepancies regarding the age-related effect on practice gains found in different experiments: a smaller (Rogers and Fisk, 1991), a similar (Dulaney & Rogers, 1994) or a greater (Davidson et al., 2003, Experiment 1) inhibition practice effect in the older compared to the young adults. By taking into account the rate of gain across ten practice sessions, our results indicate that age-related differences in both performance and practice gains may depend on the number of practice session completed between pre- and post-test.

Thus, depending on the number of practice sessions, one may or may not find an aging effect on the performance of the executive tests.

Second, we explored the impact of educational on the benefits of practice in older adults. Our results are in line with a previous study showing a positive correlation between the benefits of a cognitive stimulation program and the level of education (Belleville et al., 2006). Indeed, the educational level modulates the total practice gain and explains 13% of the variance in older adults' scores. This is supported by several studies showing a strong relationship between education and cognitive capacities (e.g., Kalpouzos et al., 2008). As shown in many previous studies (e.g., Kalpouzos et al., 2008; Lam et al., 2013; Manly et al., 2003), educational level could contribute to cognitive reserve, which protects cognitive performance from the negative effects of aging (see an example on IQ, Ritchie et al., 2013). This cognitive reserve could increase the capacity to learn fast and well. In that sense, the present findings could also deal with the magnification hypothesis; older individuals with a higher level of cognitive reserve indexed by educational level are those benefiting more from practice. This result is in line with those of Bartels, Wegrzyn, Wiedl, Ackermann, & Ehrenreich (2010), who found that variables such as Intelligence Quotient could influence the practice gains. These are important observations, suggesting that it is possible not only to improve the performance in an inhibition task in older adults, but also that effective cognitive programs should take into account individual differences such as level of education, adjusting the number of sessions accordingly. Our results seem to be in accord with the compensation or the magnification according to the variables analyzed. Comparing two age groups (young vs. older) is not like comparing characteristics in the same age group (i.e., educational level). Thus, when the age effect on the practice gain and the rate of gain is taken into account, the results followed the compensation model, because the older adults (the lower performers before training) gain more. On the contrary, when the educational level effect on the practice gain is taken into account, the data followed the magnification model, because individuals with the highest cognitive level gain more with training.

One limitation of this study was that near transfer effects (i.e., transfer to tasks similar in underlying processes tapped by the trained tasks) and far transfer effects (i.e. transfer to tasks different in underlying processes tapped by the trained tasks) on unpractised tasks have not been examined. No consensus has been found about this question of transfer in older adults. For instance, Wilkinson and Yang (2012) showed that although the older adults improved their inhibition capacity with practice, there was neither near nor far transfer of this ability to other tasks. By contrast, near transfer

effects have been found with other trained executive tasks as transfert of dual-tasks training on no trained task as divided attention (Bherer et al. 2005) , transfert of task-switching on other non-trained task-switching (Karbach & Kray, 2009). Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni (2010) showed near transfer of the training of working memory on short term memory and far transfer on fluid intelligence or inhibition capacities. Karbach and Kray (2009) showed also far transfer effects after training in older adults. The question of transfer is interesting because it suggests that practicing some cognitive tasks could lead to improvement of a variety of other related or not related unpracticed tasks. In particular, it would be important to explore the possibility of transfer as a function of cognitive reserve. Given that higher cognitive reserve generally lead to higher cognitive competencies, and that transfer may depend on these competencies (e.g., Zinke, et al., 2014), one could expect a modulation of transfer effect by cognitive reserve, and in particular, educational level.

Our findings have several important implications. To ensure that older adults achieve optimum benefit from cognitive practice, their individual characteristics should be taken into account. In particular, more extended practice. In conclusion, by examining the practice gain at each practice session, we revealed differences between young and older adults, with more and faster benefices in older adults which were modulated by the educational level. Thus, age and educational level appear to be crucial factors to adapt optimally practice programs in a cognitive rehabilitation objective.

Conclusion Chapitre 1

En conclusion, ces deux études nous ont permis de confirmer que des effets tes-retests peuvent apparaître. Afin de pouvoir bénéficier d'un programme de pratique, les adultes âgés ont besoin d'un nombre plus important de séances de pratique que les jeunes adultes. Certains facteurs individuels expliquent les gains liés à la pratique comme le niveau d'étude. Il est donc nécessaire pour étudier les effets de transfert d'un entraînement cognitif d'avoir des exercices différents de ceux utilisés en pré- et post-tests. Compte tenu du nombre restreint de tests exécutifs disponibles dans la littérature, l'objectif du chapitre suivant était donc de valider des nouveaux tests afin de les utiliser dans un programme d'entraînement exécutif.

Chapitre 2 : Validation de nouveaux tests
exécutifs

Compte tenu des effets tests-retests observés lors de passations consécutives du même test (Chapitre 1), il est nécessaire pour avoir un réel entraînement exécutif de disposer de tests différents de ceux utilisés avant l'entraînement (pré-test) et après l'entraînement (post-test). Il est donc nécessaire de créer des nouveaux tests pour pouvoir faire différentes séances d'entraînement. Cependant, il est primordial de s'assurer que ces tests entraînent bien la fonction voulue. C'est pourquoi dans ce chapitre, deux expériences ont été mises en place afin de valider différents tests exécutifs créés.

Dans une première expérience (Etude 3), nous nous sommes assurés que deux nouveaux tests de mise à jour créés (le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back) respectent les trois critères psychométriques de validité : la sensibilité (corrélations avec des tests de référence), la fidélité (corrélations entre les performances à la première moitié du test et celles obtenues à la seconde moitié du test) et la validité (suit la loi normale). Cette expérience avait aussi pour second objectif la mise en évidence d'une diminution des scores obtenus aux nouveaux tests dans une population d'adultes âgés présentant des déficits exécutifs liés au vieillissement normal.

La seconde expérience (Etude 4) avait pour objectif de valider des nouveaux tests mesurant les capacités de mise à jour, de flexibilité et d'inhibition de la même façon que la première expérience en contrôlant que ces nouveaux tests sont corrélés avec trois tests validés et couramment utilisés dans la littérature ainsi qu'en confirmant que ces tests permettent de différencier une population ayant un niveau exécutif optimal de deux populations connues pour avoir un déficit exécutif : des adultes schizophrènes et des adultes âgés.

1. *Etude 3 : Proposition de nouvelles mesures de mise à jour en mémoire de travail : Le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back*

Burger, L., Taconnat, L., Bouazzaoui, B., Plusquellec, P., & Fay, S. (soumis). Validation de nouveaux tests exécutifs ludiques mesurant les capacités de mise à jour de la mémoire de travail. *Canadian Journal of Behavioral Science* (IF : 1.015 ; quartile 1)

Les fonctions exécutives contrôlent et régulent les autres processus cognitifs pour produire des réponses adaptées. Le développement de différents tests exécutifs est primordial dans l'identification et la compréhension de ces fonctions essentielles. Certains tests exécutifs de référence sont classiquement utilisés en psychologie expérimentale et en psychologie clinique. Cependant des effets d'apprentissage peuvent apparaître lors de passations répétées d'un même test. Ce travail avait pour but d'évaluer la validité de deux nouveaux tests mesurant la mise à jour en mémoire de travail. Dans l'Etude 1, un groupe d'adultes jeunes a passé trois tests de référence mesurant la *capacité de mise à jour*, et deux nouveaux tests « 3 Derniers Proverbes » et « Proverbes-Back » à valider. Dans l'Etude 2, 30 jeunes adultes et 30 adultes âgés ont été soumis aux mêmes tests que dans l'Etude 1. Les données de l'Etude 1 montrent que les nouveaux tests sont valides car ils respectent trois critères de validation: la sensibilité (corrélations avec des tests de référence), la fidélité (corrélations entre les performances à la première moitié du test et celles obtenues à la seconde moitié du test) et la validité (suit la loi normale). L'Etude 2 confirme la validité de ces tests à travers le respect des critères de validité et la mise en évidence d'une diminution des scores obtenus aux nouveaux tests dans une population d'adultes âgés présentant des déficits exécutifs liés au vieillissement normal. Nos nouveaux tests présentent une bonne validité et peuvent contribuer à établir le profil exécutif d'un individu.

Proposition de nouvelles mesures de mise à jour en mémoire de travail :

Le test des 3 Derniers Proverbes et le Proverbes-Back

Proposition of new updating of working memory measures: The test of the 3 Last Proverbs and the Proverbs-Back

Lucile Burger^{1,3}, Laurence Taconnat¹, Badiâa Bouazzaoui¹, Pierrich Plusquellec^{2,3}, & Séverine Fay¹

¹ Université François-Rabelais, Tours, France, Université de Poitiers, France, et UMR 7295 Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, CNRS

² Centre de recherche de l'Institut universitaire en santé mentale de Montréal, et École de Psychoéducation, Canada

³ Université de Montréal, Canada

Cette recherche a été possible grâce à un financement de l'Agence Nationale pour la Recherche:

Role of executive functions on strategic variations during aging: Studies in problem solving, memory, and motor behaviors (**ANR-13-BSH2-0005-03**).

Address correspondence to

Lucile BURGER,

Laurence TACONNAT,

Psychologie Cognitive

Université de Tours

UMR-CNRS 6234 : CeRCA, équipe 'Vieillesse et Mémoire'

Département de Psychologie

3, rue des Tanneurs

37000 Tours, France

Téléphone: +33 2 47 36 81 54

Email: lucile.burger@etu.univ-tours.fr

laurence.taconnat@univ-tours.fr

INTRODUCTION

Fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des fonctions de haut niveau qui supervisent et contrôlent de nombreuses autres fonctions cognitives (Bäckman & Karlsson, 1986; Lezak, 1995; Luria, 1966; Luszcz & Bryan, 1999; Moscovitch & Winocur, 1992 ; Shallice, 1988) ou sociales (Le Gall, Besnard, Havet, Pinon, & Allain, 2009). Ces fonctions interviennent lorsqu'un individu est confronté à la nouveauté, où l'action habituelle, routinière, n'est pas suffisante pour parvenir à un but prédéfini (i.e., mémoriser, calculer, lire etc.). Par exemple, les fonctions exécutives interviendraient dans les aspects stratégiques des processus d'encodage et de récupération en mémoire épisodique (Bugajska et al., 2007; Bunce, 2003; Glisky, Polster, & Routhieaux, 1995; Taconnat et al., 2006; Taconnat, Clarys, Vanneste, Bouazzaoui & Isingrini, 2007 ; Velanova, Lustig, Jacoby, & Buckner, 2007), au moment de l'encodage du contexte temporel (Shimamura, Janowsky, & Squire, 1990), et dans ses aspects autobiographiques (Piolino et al., 2007), en mémoire de travail (Baddeley, Della Sala, Papagno, & Spinnler, 1997; Collette, Van der Linden, & Salmon, 1999, pour une revue), dans le langage (Peter-Favre & Dewilde, 1999) et dans la résolution de problème (Barbey et al., 2012 ; Isingrini & Vazou, 1997 ; Jeantin & Pennequin, 2006). Miyake et al. (2000) ont identifié trois fonctions exécutives spécifiques. L'*inhibition* a pour fonction d'empêcher l'activation de processus automatiques et d'ignorer des informations non pertinentes pouvant interférer avec une tâche en cours d'exécution. La *flexibilité* permet d'alterner entre différentes tâches cognitives. La *mise à jour en mémoire de travail* consiste à modifier le contenu en mémoire de travail de façon à pouvoir intégrer de nouvelles informations entrantes. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la mise à jour en mémoire de travail ainsi qu'à son mode d'évaluation.

Les fonctions exécutives sont majoritairement sous-tendues par les régions cérébrales frontales. En effet, Luria, Karpov, & Yarbuss (1966) ont mis en évidence un déficit des capacités exécutives chez des patients cérébro-lésés au niveau de ces régions. Ces déficits ont été observés chez des patients avec des lésions frontales (Grafman, Jonas, & Salazar, 1990, utilisant le WCST qui est une mesure globale des capacités exécutives; Perret, 1974, utilisant le Stroop qui mesure l'inhibition ; Owen, Downes, Sahakian, Polkey, & Robbins, 1990, utilisant la Tour de Londres qui implique la flexibilité ; Van der Linden, Brédart, & Beerten, 1994, utilisant une tâche de type empan mnésique à l'envers qui mesure la capacité de mémoire de travail).

Par ailleurs, il est actuellement admis que les fonctions exécutives sont les dernières à être complètement développées mais aussi les premières à être altérées avec l'avancée en âge. En effet, le cortex préfrontal serait la première structure cérébrale à être atteinte dans le vieillissement (Fuster, 1989 ; Raz, 2000). Ainsi, les fonctions exécutives diminuent au cours du vieillissement (voir pour revue Collette & Salmon, 2014), notamment les performances aux tâches de mise à jour en mémoire de travail (Van der Linden et al., 1994). En outre, les fonctions exécutives ont été identifiées comme un déterminant majeur du vieillissement cognitif (Rhodes, 2004 ; West, 1996). Par conséquent, dans des domaines cognitifs variés, de nombreuses études ont montré que les personnes âgées avec un haut niveau exécutif présentaient de meilleures performances cognitives par rapport aux individus âgés de bas niveau exécutif (e.g., mémoire épisodique, Angel, Fay, Bouazzaoui, & Isingrini, 2011; Tacconat et al., 2006; Tacconat et al., 2007; organisation en mémoire épisodique, Tacconat et al., 2009; arithmétique, Duverne & Lemaire, 2004 ; Hodzik & Lemaire, 2011).

Validation de tests : intérêts clinique et expérimental

Il existe actuellement plusieurs tests validés pour caractériser le profil exécutif d'un individu. Cependant, des effets d'apprentissage peuvent biaiser les résultats obtenus du fait de la présentation successive de ces tests dans le but par exemple d'examiner l'évolution des performances de patients. En effet, l'augmentation des performances d'une session d'évaluation à une autre pourrait s'expliquer par un effet d'apprentissage (effet test-retest), et non pas par une réelle amélioration des fonctions exécutives. L'évaluation cognitive pourrait donc être biaisée si un même test est utilisé plusieurs fois de suite avec un même individu. Effectivement, plusieurs études montrent une amélioration des performances avec la pratique de tests exécutifs. Cela a été montré notamment pour la fonction de mise à jour en mémoire de travail (Li et al., 2008). La validation de nouveaux tests spécifiques présente alors un double intérêt.

Le premier est d'ordre clinique, car la multiplication des tests permettrait d'éviter les effets test retest lorsque le suivi régulier des patients nécessite l'évaluation répétée au cours du temps d'une même fonction cognitive. Le déficit des fonctions exécutives se rencontre dans de multiples pathologies neurologiques, comme par exemple lors d'infarctus, d'hémorragie, ou d'anévrisme (Godefroy, Jeannerod, Allain, & Le Gall, 2008), psychiatriques (Godefroy, 2008), de maladies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer : Bherer, Belleville, & Hudon, 2004, maladie de Parkinson : Lévy & Pillon, 2006 ; développementales (troubles du spectre autistique : Valeri &

Speranza, 2009). Ainsi, dans une approche clinique, disposer d'une batterie de tests exécutifs variée permettrait d'estimer au plus près les dysfonctionnements exécutifs et d'évaluer leur évolution avec le temps afin de pouvoir mieux prendre en charge ce type de pathologies.

Le second intérêt de valider de nouveaux tests exécutifs est expérimental. En effet, étant donné le rôle crucial des fonctions exécutives dans la cognition, de nombreuses études cherchent à mesurer les fonctions exécutives des participants, ce qui nécessite l'utilisation de multiples tests exécutifs. Par ailleurs, dans le domaine du vieillissement cognitif, de nombreuses études proposent des séances d'entraînement cognitif afin de réhabiliter le fonctionnement cognitif des adultes âgés. Ainsi, compte tenu de l'implication des fonctions exécutives dans la cognition, les études interventionnelles explorent de plus en plus la possibilité d'améliorer des fonctions «transversales» comme les fonctions exécutives (e.g., Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010; Karbach & Kray, 2009), l'objectif de ces études étant d'examiner plus particulièrement si le bénéfice des interventions est susceptible d'être transféré à d'autres fonctions. Lors de l'entraînement, les protocoles nécessitent l'utilisation de tâches différentes de celles utilisées lors de l'évaluation en pré-test et en post-test. Les entraînements utilisés ne sont alors pas les mêmes outils que ceux utilisés pour évaluer la progression des performances avant et après l'entraînement. Ainsi, pour répondre à l'objectif d'une réhabilitation cognitive par la pratique de tests exécutifs ou par l'entraînement cognitif, il est nécessaire de disposer de différents tests exécutifs afin d'être en mesure de multiplier les séances de stimulation exécutive.

Critères de validation de tests

Les tests doivent respecter trois propriétés psychométriques : la sensibilité, la fidélité et la validité (Cook & Beckman, 2006).

La sensibilité d'un test correspond à sa capacité à pouvoir caractériser les spécificités individuelles. Elle s'observe à partir de la dispersion des scores qui doivent présenter une certaine variabilité et se distribuer selon la loi normale. Pour éprouver la sensibilité d'un test, les performances obtenues à ce test par un échantillon d'individus suffisamment important doivent suivre une distribution normale. Par ailleurs, cette distribution normale permet d'attester que le test ne conduit pas à des effets plafond (test trop facile) ou plancher (test trop difficile). Ainsi, la mesure doit être suffisamment précise pour permettre une discrimination fine des variations inter- et intra-individuelles.

La fidélité vise à minimiser les erreurs aléatoires de mesure. Elle peut être mesurée par la consistance externe qui permet de s'assurer que les mêmes performances sont obtenues dans des conditions similaires. La consistance interne mesure la fidélité, révélée par un coefficient de corrélation significatif entre les différents items du test, entre un item et l'ensemble des items du test ou encore entre les deux moitiés du test (Split-Half, Anastasi & Drake, 1954). Dans cette recherche, nous avons choisi de tester la consistance interne en testant la fidélité fractionnée (Split-half).

La validité a pour but de s'assurer que le test est bien un instrument adapté à la fonction mesurée. Il existe deux types de validité, la validité de différenciation c'est-à-dire que le test à valider se différencie bien du construit des autres tests similaires et la validité convergente que nous avons choisi d'étudier ici. Cette validité est démontrée empiriquement lorsque les performances obtenues à un test sont significativement corrélées à celles obtenues à un test identifié comme évaluant la même fonction (Allen & Yen, 1979).

Ce travail comporte deux études visant à valider deux tests de mise à jour de mémoire de travail, le « 3 Derniers Proverbes » et le « Proverbes-Back ». L'objectif de la première étude était de valider des nouveaux tests exécutifs de mise à jour en mémoire de travail en s'assurant que ces nouveaux tests respectent les trois propriétés psychométriques de validation d'un test. Nous avons donc proposé ces tests à un échantillon d'individus afin de tester leur sensibilité (distribution normale des scores). Leur fidélité a été testée par la mesure de leur consistance interne (corrélation entre la première et la seconde partie du test), et leur validité en examinant les corrélations entre les performances à ces tests et celles obtenues à trois tests de référence évaluant la mise à jour en mémoire de travail : Running Span, Morris & Jones, 1990 ; PASAT, Gronwall & Sampson, 1974 ; et N-Back, Kirchner, 1958). Ces trois tests de référence ont été utilisés car ils ont été déjà validés dans la littérature et respectent les trois critères de sensibilité, de validité, et de fidélité (e.g., Broadway & Engel, 2010 ; Redick et al., 2012 pour le Running Span ; Sherman, Strauss, & Spellacy, 1997 ; Tombaugh, 2006 pour le PASAT ; Jaeggi, Buschkuhl, Perrig, & Meier, 2010 ; Kane, Conway, Miura, & Cloflesh, 2007 pour le N-Back).

L'objectif de la seconde étude était de confirmer la validité des deux nouveaux tests en examinant comment les scores étaient affectés par l'âge. En effet, comme cela est attesté dans la littérature, les fonctions exécutives incluant la mise à jour en mémoire de travail, diminuent au cours du vieillissement (e.g., Raz, 2000). Ainsi, dans cette deuxième étude, nous attendions un effet négatif

du vieillissement sur les performances obtenues aux tests de référence (Running Span, PASAT et N-Back) mais aussi sur les performances obtenues aux nouveaux tests (« 3 Derniers Proverbes » et « Proverbes-Back ») en accord avec la littérature. Nous avons également examiné la validité convergente à travers la mise en évidence de corrélations entre les tests de référence et les nouveaux tests dans une population expérimentale présentant une plus grande variabilité : des adultes jeunes et des adultes âgés.

Etude 1 : Sensibilité, fidélité et validité des nouveaux tests

METHODE

Participants

Cent participants ont été recrutés pour cette étude, mais seuls les résultats de 92 participants ont été pris en compte (53 femmes et 39 hommes, âgés entre 19 et 51 ans (moyenne : 29.92, écart-type : 9.53), 8 ne respectant pas les critères d'inclusion. Le niveau d'études des participants était en moyenne de 14.10 années (écart-type : 1.86). Les participants étaient des volontaires recrutés en majorité par voie de presse. Tous les participants, de langue maternelle française, ont signé une feuille de consentement éclairé. Ils étaient inclus dans l'étude s'ils rapportaient être en bonne santé physique et mentale, ne prenaient pas de traitements médicamenteux psychotropes, et n'étaient pas atteints de pathologies susceptibles d'agir et/ou de modifier le fonctionnement normal du système nerveux central. Cette étude a été validée par le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI) de l'Université de Tours (France).

Matériel et Procédure

Tests psychométriques de référence

- Le *Running Span test* (Morris & Jones, 1990) est un test de mise à jour constitué de 12 séries de lettres de longueur variable (5 à 11 lettres). Le nombre de lettres par série n'est pas connu du participant. L'expérimentateur lisait chaque série de lettre et le participant avait pour consigne de retenir et restituer les quatre dernières lettres de chaque série dans l'ordre énoncé sans savoir quand la suite de lettres se terminait. Le score calculé était composé de trois indices: un score « item entier » sur 12 indiquant le nombre de listes correctement restituées en entier, un score « ordre » sur 48

indiquant le nombre de lettres rappelées dans le bon ordre (la lettre rappelée est juste et à la bonne position), et un dernier score « quantité » sur 48 évaluant le nombre de lettres correctement rappelées par liste même si elles ne sont pas dans le bon ordre.

- Le *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT, Gronwall & Sampson, 1974) est un test de mise à jour informatisé composé de 30 items. Un chiffre était affiché à l'écran toutes les deux secondes et le participant devait l'additionner au chiffre présenté précédemment. Le score, sur 30, correspondait au nombre de bonnes réponses. Les différents items défilaient sur un écran grâce au logiciel Microsoft PowerPoint 2010.

- Le *N-Back test* (Kirchner, 1958) est un test évaluant les capacités de mise à jour composé de 30 items. L'expérimentateur énonçait une liste de lettres une par une et le participant devait dire à voix haute si cette lettre était la même que la N lettre qui précédait (réponse : Oui ou Non). Dans cette étude, N correspondait à 2, le participant devait donc dire si la lettre qu'il entendait était la même que celle placée 2 rangs avant. Le participant doit donner une réponse à partir de la 3^{ème} lettre, ainsi sur 30 lettres, le score maximal était de 28, correspondant au nombre total de bonnes réponses possibles. Notons que le N-Back a été choisi pour valider essentiellement le « Proverbes-Back » car ces deux tests reposent sur le même principe.

Nouveaux tests à valider

Deux tests ont été créés, les « 3 Derniers Proverbes » et le « Proverbes-Back ». Au préalable, une centaine d'étudiants de première et deuxième années de Psychologie à l'Université François Rabelais de Tours a servi de juge afin de ne sélectionner que les proverbes les plus faciles à compléter (les plus connus). Ainsi, les proverbes ayant été correctement complétés par un minimum de 95% d'étudiants ont été retenus pour créer ces tests. Ces proverbes ne dépassent pas 10 syllabes afin de s'assurer d'une équivalence du temps entre chaque proverbe lu et de ne pas augmenter la difficulté.

- Le test des *3 Derniers Proverbes* est composé de 10 listes de proverbes incomplets auxquels il manque le dernier mot. Les listes sont de taille variable allant de 4 à 6 proverbes à compléter. Pour chaque liste, les participants avaient pour consigne de compléter mentalement chaque proverbe et de mémoriser les mots produits de manière à pouvoir restituer les trois derniers mots à la fin de la liste, sans en connaître au préalable la taille suivant le principe du Running Span. Il était précisé aux participants qu'ils devaient rappeler ces mots dans l'ordre dans lequel ils avaient été produits. Le premier score « item entier » du participant était sur 10 et correspondait au nombre de listes

correctement restituées (tous les compléments de proverbes sont correctement restitués et dans le bon ordre). Un second score « ordre » sur 30 correspondait au nombre de mots rappelés dans le bon ordre (le mot rappelé est correct et à la bonne position). Enfin, un dernier score « quantité » sur 30 correspondait au nombre de mots correctement rappelés, même si ces mots n'étaient pas restitués dans le bon ordre. La durée de passation de ce test était d'environ 5 minutes. L'exemplaire de ce test est présenté en Annexe 1.

- Le *Proverbes-Back* est un test de mise à jour constitué de 21 items. L'expérimentateur devait lire au participant un proverbe incomplet auquel il manque le dernier mot. Le participant devait compléter ce proverbe avec le mot manquant du proverbe précédent (Proverbes 1-Back). Si le participant ne connaissait pas le proverbe, il pouvait le compléter avec le mot qu'il souhaitait puisque l'objectif du test n'était pas de mesurer la connaissance des proverbes mais la capacité de mise à jour des participants. Cependant, une vérification des compléments de proverbe était effectuée à la fin du test. Le score maximum était de 20 et correspond au nombre total de réponses correctes, sur les 21 items, seuls 20 nécessitent une réponse car le participant répond à partir du 2^{ème} proverbe. La durée de passation de ce test était d'environ 5 minutes. Un exemplaire de ce test est présenté en Annexe 2.

Les tests étaient présentés selon un ordre aléatoire pour éviter les effets d'ordre. Tous les scores des nouveaux tests ont été séparés en deux parties égales (1^{ère} et 2^{ème} parties correspondant au début du test et à la fin du test) après la passation afin de pouvoir tester la fidélité (Split-Half, Anastasi & Drake, 1954).

RESULTATS

Dans l'objectif de valider les tests « 3 Derniers Proverbes » et « Proverbes-Back », nous avons réalisé des analyses statistiques en trois temps, chacune permettant de répondre à un critère : *la sensibilité, la fidélité et la validité*.

Pour tester la sensibilité des deux nouveaux tests, nous avons appliqué un test de Kolmogorov-Smirnov à nos performances. Ce test permet de calculer l'ajustement de notre distribution à la loi normale en calculant la différence entre une distribution normale théorique et la distribution de nos scores, différence qui ne doit pas être significative ($p > .05$).

Pour être valides, les nouveaux tests devaient aussi respecter le critère de fidélité. La fidélité fractionnée a été utilisée parce qu'elle constitue un bon indicateur de la cohérence interne (Anastasi & Drake, 1954). Ainsi, un test fidèle doit être homogène et de difficulté régulière du début jusqu'à la

fin. Pour cela, nous avons séparé les scores obtenus aux nouveaux tests en deux parties (première moitié, seconde moitié). Nous avons ensuite appliqué un test *t* de Student pour comparer les moyennes obtenues aux 1^{ères} et 2^{èmes} parties d'un même test, les performances à ces deux parties ne devant pas différer significativement pour attester d'une bonne fidélité. Nous avons aussi examiné les corrélations (*r* de Bravais-Pearson) entre ces deux moitiés afin de s'assurer qu'elles étaient significativement corrélées.

Dans un troisième temps, pour rendre compte de la validité des nouveaux tests, c'est-à-dire la capacité de ces tests à mesurer la fonction que l'on souhaite mesurer, nous avons analysé le degré de corrélation (*r* de Bravais-Pearson) entre les performances aux nouveaux tests et celles obtenues à trois tests de référence qui mesurent la mise à jour en mémoire de travail (N-Back, Running Span et PASAT).

Les moyennes, écart-types, étendues des performances obtenues à chacun des tests de référence (N-Back, Running Span, PASAT) et à chacun des nouveaux tests (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back) sont présentés dans le Tableau 1 (partie droite du tableau).

Tableau 1 : Moyennes, écarts-types, minimum et maximum obtenus pour les tests de référence : N-Back, Running Span et PASAT et pour les tests à valider : 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back (partie gauche du tableau), ainsi que les scores *d* des tests de Kolmogorov-Smirnov obtenus pour les tests à valider (partie droite du tableau).

Table 1: Mean, standard deviations, minimum and maximum achieved for reference tests: N-Back, Running Span and PASAT and tests to validate: 3 Last proverbs and Proverbs-Back (left part of the table), *d*-scores of the Kolmogorov-Smirnov tests obtained for the tests to validate (right part of the table).

	N = 92				<i>test de Kolmogorov- Smirnov</i>
	Moyenne s	Ecart types	Minimum	Maximum	
<i>Tests de référence</i>					
N-Back	24.67	1.87	20	28	
Running Span					
item entier	4.89	2.51	0	12	
ordre	32.29	7.1	11	48	
quantité	39.11	4.33	28	48	
PASAT	26.38	2.71	15	30	
<i>Tests à valider</i>					
3 Derniers Proverbes					
item entier	5.01	2.54	0	10	.12
ordre	21.24	5.3	6	30	.12
quantité	23.71	3.57	14	30	.11
Proverbes-Back	8.12	3.4	0	19	.09

a. Sensibilité

Les résultats des tests de Kolmogorov-Smirnov sont présentés dans le Tableau 1 (partie droite du tableau).

Pour le test des 3 Derniers Proverbes, quel que soit le score retenu (item entier : nombre de listes correctement restituées ; ordre total : mots correctement rappelés et dans le bon ordre ; quantité totale : mots correctement rappelés indépendamment de l'ordre), les tests de Kolmogorov-Smirnov n'étaient pas significatifs, ce qui atteste du fait que la distribution des performances suivait bien la loi normale (respectivement $d=.12$; $d=.12$; $d=.11$, ns). Les mêmes résultats ont été obtenus pour le test du Proverbes-Back, la distribution des performances (score de bonnes réponses totales) suivait la loi normale ($d=.09$, ns).

Les deux nouveaux tests respectent donc le critère de sensibilité.

b. Fidélité

La fidélité d'un test est avérée lorsque les scores obtenus à la première et à la deuxième partie d'un même test ne diffèrent pas significativement et corrélient entre eux. La méthode *Split-Half* a donc été appliquée à nos données. Les moyennes, écarts-types, étendues des scores obtenus dans chacune des deux parties (1^{ère} et 2^{ème} parties) d'un même test sont présentés dans la partie gauche du Tableau 3. Nous avons testé la fidélité en effectuant des tests *t* pour comparer les moyennes obtenues entre les 1^{ères} et 2^{èmes} parties du test des 3 Derniers Proverbes (pour chacune des trois sous-mesures) et pour le Proverbes-Back. Nous avons ensuite calculé des corrélations de Bravais-Pearson entre les scores obtenus aux deux parties d'un même test. Les résultats sont présentés dans la partie droite du Tableau 2.

Tableau 2: Moyennes, écarts-types, minimum et maximum obtenus à chacune des deux parties des tests à valider : 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back (partie gauche du tableau), valeur des tests *t* comparant la 1^{ère} partie et la 2^{ème} partie de chacun des tests à valider ainsi que les valeurs *r* des corrélations de Bravais-Pearson entre la première et la deuxième partie de chacun des tests à valider (partie droite du tableau)

Table 2: Mean, standard deviations, minimum and maximum obtained either party of the tests to validate: 3 Last Proverbs and Proverb-Back (left part of the table), value of *t* tests comparing the first part and the second part of each new test and the values of *r* of Bravais- Pearson's correlations between the first and the second part of each new test (right part of the table)

	N = 92				test	<i>Corrélation de Bravais- Pearson r</i>
	Moyennes	Ecart types	Minimum	Maximum	<i>t</i> (1,91)	
3 Derniers Proverbes						
item entier 1 ^{ère} partie	2.61	1.46	0	5	1.47	.56***
item entier 2 ^{ème} partie	2.4	1.41	0	6		
ordre 1 ^{ère} partie	10.67	3.08	3	15	.36	.61***
ordre 2 ^{ème} partie	10.58	2.81	3	15		
quantité 1 ^{ère} partie	12.07	2.2	6	15	1.73	.41***
quantité 2 ^{ème} partie	11.65	2.01	5	15		
Proverbes-Back						
1 ^{ère} partie	4.27	1.96	0	10	1.94	.32**
2 ^{ème} partie	3.79	2.11	0	10		

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Les résultats ont montré que pour les deux tests, les performances obtenues à la première partie ne différaient significativement pas de celles obtenues à la deuxième partie (voir Tableau 2).

L'analyse corrélationnelle montre que les premières et deuxièmes parties de chaque nouveau test étaient toutes significativement et positivement corrélées entre elles. Cela suggère que les deux parties d'un même test mesurent bien la même chose pour toutes les mesures des deux tests. Ces résultats confirment que les deux nouveaux tests 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back remplissent les critères de fidélité.

c. Validité

Les coefficients de corrélations de Bravais-Pearson sont présentés dans le Tableau 3¹.

Tableau 3: Corrélations de Bravais-Pearson entre les scores obtenus aux tests exécutifs de référence (N-Back, Running Span, PASAT) et ceux obtenus aux tests à valider (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back) dans l'Etude 1.

Table 3: Bravais-Pearson's correlations between the scores obtained in the reference tests (N-Back, Running Span, PASAT) and those obtained in the new tests (3 Last proverbs and Proverbs-Back) in the Study 1.

		<i>N-Back</i>	<i>Running Span</i>			<i>PASAT</i>	<i>3 Derniers Proverbes</i>		
			item entier	ordre	quantité		Item entier	ordre	quantité
<i>N-Back</i>		-							
<i>Running Span</i>	item entier	.26*	-						
	ordre	.13	.83***	-					
<i>Span</i>	quantité	.07	.74***	.77***	-				
		.30**	.04	.03	-.02	-			
<i>3 Derniers Proverbes</i>	Item entier	.07	.35**	.47***	.35**	.24*	-		
	ordre	.02	.29**	.45***	.35**	.18	.89***	-	
	quantité	.11	.35**	.47***	.32**	.23*	.86***	.86***	
<i>Proverbes-Back</i>		.22*	.35***	.38***	.22*	.25*	.56***	.56***	.55***

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Pour les nouveaux tests, les résultats indiquaient que les trois scores au test des 3 Derniers Proverbes (item entier, ordre, quantité) étaient significativement corrélés aux trois scores similaires obtenus au Running Span. Deux des trois mesures du test des 3 Derniers Proverbes (item entier et quantité) corrélaient significativement avec les performances obtenues au test PASAT. Toutefois, aucune des mesures de ce nouveau test n'était significativement corrélée avec les scores du N-Back.

Le score obtenu au test Proverbes-Back était significativement corrélé aux performances du N-Back, aux 3 mesures du Running Span et au score obtenu au PASAT.

¹ Des résultats identiques ont été obtenus en effectuant des corrélations partielles sous contrôle de l'âge et du niveau d'études.

Ainsi, le profil des corrélations obtenues entre les scores des tests de mise à jour de référence et ceux obtenus aux nouveaux tests (les scores de chaque nouveau test corrèlent avec au moins ceux de 2 tests de référence), suggère que les nouveaux tests respectent bien le critère de validité, excepté la mesure « ordre » du test des 3 Derniers Proverbes qui ne corrèle qu'avec les scores du Running Span.

Etude 2 : Effet du vieillissement sur les performances aux nouveaux tests

L'Etude 1 a montré que les qualités psychométriques des nouveaux tests soutiennent la validité de ces outils. Dans l'Etude 2, nous avons voulu confirmer la validité des tests « 3 Derniers Proverbes » et « Proverbes-Back » en évaluant les effets de l'âge sur les performances à ces deux tests. En effet, l'effet du vieillissement, classiquement observé sur les tests évaluant la mise à jour de la mémoire de travail, devrait se révéler également significatif sur les nouveaux tests. En accord avec les précédents travaux s'intéressant aux effets du vieillissement sur la mise à jour en mémoire de travail (Running Span : Bopp & Verhaeghen, 2005 ; Parkinson, 1980 ; PASAT : Ghonheim & Mewaldt, 1990 ; Fluck, Fernades & File, 2001 ; N-Back : Schmiedek, Li, & Lindenberger, 2009 ; Verhaeghen & Basak, 2005), nous attendions une diminution des performances chez les adultes âgés par rapport aux jeunes adultes pour toutes les mesures de mise à jour (tests de référence et nouveaux tests). Pour cela, nous avons examiné les effets d'âge sur les scores obtenus aux tests de référence et à ceux obtenus aux deux nouveaux tests de mise à jour en mémoire de travail. De la même façon que dans l'Etude 1, nous avons voulu confirmer la validité des tests en effectuant des corrélations entre les nouveaux tests et les tests de références. Ainsi, nous attendons des corrélations significatives entre les performances obtenues aux tests de référence (N-Back, PASAT, Running Span) et celles obtenues aux nouveaux tests (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back)

METHODE

Participants

Trente participants jeunes et 30 participants âgés recrutés par voie de presse ont été examinés dans cette étude. Tous les participants étaient de langue maternelle française et ont donné leur consentement écrit. Les adultes âgés étaient autonomes et vivaient à domicile. Les participants présentant des troubles visuels et / ou auditifs non corrigés ont été écartés de l'étude. Il en était de même pour les participants prenant des médicaments pouvant altérer leurs capacités cognitives, présentant des troubles neurologiques et / ou psychiatriques. Les participants âgés ont été soumis au MMSE (Mini Mental State Evaluation, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), un test rapide d'évaluation cognitive. Aucun d'entre eux n'a obtenu de score inférieur à 27/30 ce qui minimise le risque d'inclure des participants âgés atteints de démence. Afin d'évaluer le niveau culturel des participants, plusieurs épreuves ont été utilisées. Plus précisément, le Mill-Hill (Deltour, 1993) et la version française de la NART (Mackinnon & Mulligan, 2005) évaluent le niveau de vocabulaire et les subtests Information et Similitudes (WAIS-IV, Wechsler, 2011) évaluent les connaissances générales. Les caractéristiques des participants sont présentées dans le Tableau 4. Comme indiqué dans le Tableau 4, les deux groupes de participants étaient équivalents en termes de niveau d'étude et pour toutes les épreuves culturelles.

Comme l'Etude 1, cette étude a été validée par le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI) de l'Université de Tours (France).

Tableau 4 : Moyennes (et écarts-type) des caractéristiques des deux groupes d'âge de l'Etude 2, ainsi que les résultats des tests *t* les comparant (partie droite)

Table 4 : Means (and Standard deviations) of the characteristics of each two age groups and the results of the *t* tests comparing the scores of the two age groups (right part of the table) in the Study 2.

	Adultes jeunes (n=30, 18H/12F)	Adultes âgés (n=30, 11H/19F)	<i>tests</i>	<i>t</i>
				<i>t(1,58)</i>
Age	26,23 (5.25)	70,16 (6,74)	-	
NAE	12.70 (3.18)	12.93 (3.405)	.27	
MMSE	-	28,47 (1.20)	-	
Mill Hill	23.60 (3.31)	26.87 (4,27)	2.76**	
FNART	10,55 (4,12)	8.08 (5,45)	1.65	
Information	15.50 (4.68)	18.91 (4.15)	2.53*	
Similitudes	23.05 (3.88)	23.47 (4,39)	.33	

* : $p < .05$; ** : $p < .01$

NAE : nombre d'années d'études

MMSE : Mini Mental State Evaluation (Folstein et al., 1975)

FNART : version française de la NART (Mackinnon & Mulligan, 2005), nombre d'erreurs

Information : subtest de la WAIS-III (2000)

Similitudes : subtest de la WAIS-IV (2011)

Matériel et Procédure

Les mêmes tests et le même protocole que ceux présentés dans l'Etude 1 ont été utilisés dans cette deuxième étude. Les participants jeunes et âgés ont passé dans un ordre aléatoire les trois tests de référence (Running Span, Morris & Jones, 1990; PASAT, Gronwall & Sampson, 1974; N-Back, Kirchner, 1958) et les deux nouveaux tests (Proverbes-Back et 3 Derniers Proverbes).

RÉSULTATS

Afin de valider les deux nouveaux tests, plusieurs analyses ont été effectuées. Dans un premier temps, après nous être assurés que les scores aux différents tests suivaient la loi normale pour utiliser des tests statistiques paramétriques, nous avons réalisé des tests *t* de Student pour comparer les scores des deux groupes d'âge afin d'examiner si les performances des participants âgés étaient

significativement inférieures à celles des plus jeunes, en accord avec nos hypothèses. Les moyennes obtenues aux différents tests sont représentées dans le Tableau 5.

Dans un second temps, nous avons testé la validité des nouveaux tests en examinant les corrélations (r de Bravais-Pearson) entre les scores obtenus aux nouveaux tests et les scores obtenus aux tests de référence. Des corrélations significatives entre les deux groupes de tests répliqueraient des résultats de l'Etude 1, indiquant que les nouveaux tests et les tests de référence mesurent bien une même fonction qui est celle de mise à jour de la mémoire de travail.

a. Effet de l'âge sur les tests de référence et les nouveaux tests

Le Tableau 5 présente les scores obtenus aux tests de référence (Running Span, PASAT et N-Back) et aux deux nouveaux tests (Proverbes-Back et 3 Derniers Proverbes) chez les jeunes adultes et les adultes âgés.

Tableau 5 : Moyennes (et écarts-type) des scores obtenus aux tests de référence (N-Back, Running Span et PASAT) et aux deux nouveaux tests (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back) chez les jeunes adultes et les adultes âgés, ainsi que la valeur des tests *t* comparant les deux groupes d'âge (partie droite).

Table 5: Means (and Standard deviations) of the scores obtained in the reference tests (N-Back Running Span and PASAT) and in the two new tests (and 3 Last Proverbs and Proverbs-Back) in young and older adults and the *t* tests values comparing the two age groups (right part of the table).

	Adultes jeunes	Adultes âgés	tests <i>t</i> <i>t</i>(1,58)
<i>Tests de référence</i>			
N-Back	24,53 (2.02)	22,43 (2,23)	2.80*
Running Span			
item entier	5.90 (2,46)	4.6 (2,29)	2.11*
ordre	36.06 (6.08)	31.06 (6.48)	2.82**
quantité	40.86 (3.99)	38.36 (4,80)	2.19*
PASAT	27.68 (3.54)	23,48 (5,05)	3.65***
<i>Nouveaux tests</i>			
3 Derniers Proverbes			
item entier	4,97 (2.91)	2,70 (2.07)	3.34**
ordre	21,60 (5.43)	17.44 (4.61)	3.09**
quantité	23,33 (4.16)	20,62 (3.88)	2.53*
Proverbes-Back	16.23 (2,62)	12.29 (3,38)	3.79**

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Dans la partie de droite du Tableau 5 sont représentés les résultats des tests *t* effectués en comparant les scores des adultes jeunes à ceux des plus âgés aux différents tests de mise à jour en mémoire de travail (tests de référence et nouveaux tests). En ce qui concerne les effets d'âge sur les tests de référence, les analyses ont montré que les adultes âgés présentent de plus faibles performances de mise à jour que les adultes jeunes pour le PASAT, les trois scores du Running Span (item entier, ordre et quantité) et le N-Back.

En ce qui concerne les deux nouveaux tests de mise à jour (« 3 Derniers Proverbes » et « Proverbes-Back »), toutes les mesures permettent de mettre en évidence un effet d'âge, c'est-à-dire que les adultes jeunes obtiennent des scores supérieurs à ceux des adultes âgés à ces deux tests.

Ces résultats confirment que les nouveaux tests permettent de différencier les performances exécutives de participants jeunes et âgés, en accord avec ce qui est habituellement observé avec les tests de référence utilisés.

b. Validité des nouveaux tests

Afin d'étudier la validité des nouveaux tests, des corrélations de Bravais-Person ont été effectuées entre ces tests et les tests de référence. Les coefficients de corrélations (*r* de Bravais-Person) sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Corrélations de Bravais-Pearson entre les scores obtenus aux tests exécutifs de référence (N-Back, Running Span, PASAT) et ceux obtenus aux tests à valider (3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back) dans l'Etude 2.

Table 6: Bravais-Pearson's correlations between scores obtained in reference executive tests (N-Back, Running Span, PASAT) and those obtained in the new tests (3 Last proverbs and Proverbs-Back) in the Study 2.

	N-Back	Running Span			PASAT
		items entier	ordre	quantité	
3 Derniers Proverbes					
item entier	.67***	.67***	.54***	.55***	.48***
ordre	.65***	.64***	.65***	.62***	.46**
quantité	.68***	.64***	.58***	.58***	.49***
Proverbes-Back	.33**	.26*	.29*	.31*	.57***

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Les résultats révèlent que les trois scores obtenus au test des 3 Derniers Proverbes et celui obtenu au test BackProverbes-Back corréleront tous significativement aux trois tests de référence (N-Back, 3 scores obtenus au Running Span, PASAT).

Ils nous permettent de confirmer, à travers cette deuxième étude, que les deux nouveaux tests respectent le critère de validité.

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de valider deux nouveaux tests mesurant la mise à jour en mémoire de travail. Pour cela, deux études ont été réalisées. Dans la première, la sensibilité, la validité, et la fidélité de deux nouveaux tests exécutifs ont été évaluées auprès de 92 adultes âgés de 19 à 51 ans. Dans une seconde étude, l'objectif était de confirmer la validation de ces tests en comparant les performances à ces tests de participants de deux groupes d'âge connus pour être de

niveau exécutif différent, des adultes jeunes et âgés. Dans cette étude, la confirmation de la validité des nouveaux tests reposait (1) sur l'observation de différences significatives entre les scores des individus jeunes et ceux des individus âgés à ces tests et (2) sur l'observation de corrélations significatives entre les scores aux deux nouveaux tests et les scores aux tests de référence, en accord avec les résultats de l'Etude 1.

Les analyses statistiques réalisées dans la première étude ont montré que les trois propriétés de validation définies dans la littérature sont respectées (Cook & Beckman, 2006). Ainsi, globalement, les performances obtenues aux nouveaux tests suivent bien la loi normale (*sensibilité*), les performances aux deux moitiés de chaque test ne diffèrent pas en moyenne et sont significativement corrélées (*fidélité*) et elles corrélaient aussi à des mesures de mise à jour en mémoire de travail de référence (*validité*). Il faut cependant noter que dans cette première étude, certaines corrélations sont faibles (e.g., $r=.24, p<.05$), par exemple entre les scores du PASAT et les scores des deux nouveaux tests. Ces faibles corrélations sont toutefois observées aussi entre les tests de référence eux même (e.g., scores N-back et Running Span pour la variables item en entier : $r=.26, p<.05$). Il est possible qu'en augmentant l'effectif du groupe expérimental on puisse augmenter les coefficients de corrélation afin de s'assurer d'une meilleure puissance statistique.

Dans l'Etude 2, nous avons voulu vérifier la validité des deux nouveaux tests à travers la comparaison des performances d'adultes âgés à celles d'adultes plus jeunes. Les adultes âgés ont obtenu des scores plus faibles que les plus jeunes, aussi bien aux tests de référence qu'aux nouveaux tests. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature et confirment un effet du vieillissement sur la capacité de mise à jour de la mémoire de travail aussi bien lorsque cette fonction est mesurée par les tests de référence (Running Span : Bopp & Verhaeghen, 2005 ; Parkinson, 1980 ; PASAT : Ghonheim & Mewaldt, 1990 ; Fluck, Fernades & File, 2001 ; N-Back : Smiedek, Li, & Lindenberger, 2009 ; Verhaeghen & Basak, 2005) que lorsqu'elle est mesurée par les deux nouveaux tests. Les deux nouveaux tests permettent donc la distinction des scores obtenus par deux groupes de niveaux exécutifs différents (jeunes vs. âgés). De plus, les corrélations significatives observées entre les scores aux nouveaux tests et ceux obtenus aux tests de référence au sein de deux populations de niveaux exécutifs différents confirment le critère de validité qui s'était déjà avéré respecté lors de la première étude. Notons que dans l'Etude 2, contrairement à l'Etude 1, tous les scores des nouveaux tests corrélaient avec ceux des tests de référence. Cela pourrait être expliqué par le fait que la présence de données d'adultes de plus de 60 ans ajoute de la variabilité dans les scores des populations étudiées.

L'Etude 2 a donc permis de renforcer les résultats obtenus dans l'Etude 1 et ainsi la validation des tests 3 Derniers Proverbes et Proverbes-Back.

Ces deux nouveaux tests mesurant la mise à jour en mémoire de travail sont d'utilisation simple et rapide à faire passer et ne nécessitent pas de matériel spécifique (une fiche de passation suffit). Ils sont ludiques et il est possible que cela soit plus attractif de compléter des proverbes tout en mémorisant et en mettant à jour certains éléments de ces proverbes que de mémoriser des suites de lettres sans signification comme dans les tests de référence (les tests de N Back et de Running Span sont constitués de suites de lettres ou de chiffres). L'utilisation de tests avec des caractéristiques ludiques peut avoir des retombées non négligeables dans l'évaluation cognitive. Cette caractéristique pourrait rendre la réalisation d'un test plus agréable et donc moins stressante. Ceci pourrait ainsi diminuer le stress lié à la passation de tests (Sindi, Fiocco, Juster, & Lupien, 2013) et limiter les biais associés (e.g., sous-estimation des performances à cause du stress engendré). Les nouveaux tests pourraient aussi être utilisés dans un programme de remédiation cognitive car ils sont plus agréables à pratiquer que d'autres tests utilisant des stimuli plus abstraits.

Ce travail conforte l'idée que ces tests peuvent être utilisés pour mesurer spécifiquement la fonction de mise à jour. Leur validation psychométrique permet d'avoir des outils fiables supplémentaires, nécessaires dans l'identification de profils cognitifs à la fois dans le domaine de la recherche mais aussi dans le domaine clinique. De plus, ces tests pourraient permettre d'éviter la répétition du même test exécutif pour un même individu en augmentant la batterie de tests exécutifs déjà existants. Ceci permettrait ainsi la diminution du risque d'avoir d'éventuels biais liés à la connaissance des tests par le participant ou le patient (effet test-retest : Li et al., 2008). Enfin, ces nouveaux tests sont un réel atout pour adapter au mieux les modalités d'évaluation des capacités exécutives d'un individu à sa pathologie ou à ses capacités autres qu'exécutives. Par exemple, une personne avec de faibles capacités motrices sera en mesure d'effectuer ces nouveaux tests car ils reposent sur une réponse orale uniquement et ne font pas appel aux habiletés motrices.

En conclusion, cette étude propose de nouveaux tests exécutifs sensibles, valides et fidèles pouvant être utilisés pour mesurer ou stimuler la capacité de mise à jour en mémoire de travail. Des études complémentaires seraient intéressantes pour identifier et confirmer la validité de ces tests exécutifs notamment en testant la possibilité d'identifier et donc de différencier grâce à ces nouveaux tests une population pathologique dysexécutive (patients schizophrènes ou cérébrolésés) par rapport à une population saine comme l'ont fait par exemple Catale, Lejeune, Schmitz, & Meulemans (2014).

BIBLIOGRAPHIE

Voir références bibliographiques en fin de thèse (page 235)

2. Etude 4: Validation de tests exécutifs chez une population souffrant de schizophrénie et chez des adultes âgés sans pathologie

INTRODUCTION

Les fonctions exécutives ont été définies pour la première fois par Luria (1966), elles interviennent dans le fonctionnement d'autres fonctions cognitives, notamment lorsqu'un individu est confronté à une situation nouvelle pour laquelle les processus routiniers ne permettent pas d'accomplir la tâche (Damasio, 1985 ; Shallice, Burgess, 1991) et lorsque la tâche à effectuer nécessite la synchronisation de différents processus (Elliott, 2003). Ces fonctions contrôlent et régulent d'autres processus cognitifs (mémorisation : Bäckman & Karlsson, 1986; Lezak, 1995; Luria, 1966; Luszcz & Bryan, 1999; Moscovitch & Winocur, 1992 ; Shallice, 1988 ; le langage : Peter-Favre & Dewilde, 1999 ; la résolution de problème Barbey et al., 2012 ; Carpenter et al., 1990 ; De Frias et al., 2006 ; Elliott, 2003 ; Isingrini & Vazou, 1997 ; Jeantin & Pennequin, 2006). Les fonctions exécutives sont sous-tendues par le lobe frontal (Luria, 1966). Miyake et al. (2000) ont identifié trois fonctions exécutives distinctes. L'inhibition a pour fonction d'empêcher l'activation de processus automatiques et d'ignorer des informations non pertinentes pouvant interférer avec une tâche en cours d'exécution. La flexibilité permet d'alterner entre différentes tâches cognitives. La mise à jour en mémoire de travail consiste à modifier le contenu en mémoire de travail de façon à intégrer de nouvelles informations entrantes pertinentes pour la tâche en cours.

L'objectif de cette étude était de valider six nouveaux tests évaluant les trois fonctions exécutives identifiées par Miyake et al. (2000). Les fonctions exécutives sont primordiales dans la réalisation de tâches cognitives complexes. Les déficits exécutifs se retrouvent dans plusieurs pathologies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson (Lévy & Pillon, 2006) ou psychiatriques telles que la schizophrénie ou le trouble bipolaire (Franck, 2012). Avoir à disposition des tests exécutifs plus variés permettrait alors d'évaluer les fonctions exécutives de manière plus précise et d'adapter la prise en charge d'une pathologie en fonction des capacités des patients. En effet, les mêmes tests sont généralement utilisés afin d'évaluer le niveau exécutif d'un individu et l'évolution des déficits exécutifs au cours du temps. Cela peut entraîner un effet d'apprentissage et biaiser les résultats. Les performances exécutives ne seraient alors pas représentatives de l'évolution

de ses capacités exécutives dans le temps mais illustreraient plutôt un effet d'habituation au test. Dans ce cas, un individu pourrait présenter une altération du fonctionnement exécutif sans que ses performances à un test exécutif soient modifiées. En effet, plusieurs études ont montré les bénéfices que pouvaient présenter les passations successives d'un même test sur les performances à ce test (par exemple l'inhibition, évaluée avec le test de Stroop : Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Expérience 1, Dulaney & Rogers, 1994; Rogers & Fisk, 1991; Wilkinson & Yang, 2012; la flexibilité évaluée avec le TMT : Buck, Atkinson, & Ryan, 2008; Dye, 1979 ; ou la mise à jour de la mémoire de travail : Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013; Karbach, Mang, & Kray, 2010).

Dans notre étude, nous avons voulu nous assurer que les tests à valider pouvaient discriminer des populations de niveaux exécutifs différents : une population d'adultes jeunes présentant un niveau exécutif optimal, une population d'adultes âgés et d'adultes souffrant de schizophrénie connues pour présenter des déficits exécutifs (pour les adultes âgés : Colette & Salmon, 2014 ; pour les adultes souffrant de schizophrénie : Besnier, 2014). En effet, les fonctions exécutives sont touchées précocement par le vieillissement (Fuster, 1989 ; Raz, 2000) et nombreuses sont les études qui ont mises en évidence les effets de l'avancée en âge sur les fonctions exécutives (e.g., inhibition : Houx, Jolles, & Vreeling, 1993, Andrès & Van der Linden ; flexibilité : Buck, Atkinson, & Ryan, 2008; Dye, 1979 ; mise à jour : Schmiedek, Li, & Lindenberger, 2009 ; Verhaeghen & Basak, 2005).

La deuxième population étudiée dans cette expérience est présente une pathologie appelée schizophrénie paranoïde. Cette pathologie est caractérisée par des symptômes positifs de types hallucinations ou pensées délirantes et de symptômes négatifs de type repli sur soi ou l'émoussement de l'affect. Pour cette étude, nous avons interrogé des patients schizophrènes dont la personnalité est dite schizoïde, c'est-à-dire qu'elle se caractérise principalement par un retrait social, une restriction de la variation des expressions émotionnelles et une absence de nécessité à établir des liens affectifs. Ces individus présentent classiquement un déficit exécutif (Kerns, Nuechterlein, Braver, & Barch, 2008) expliqué en partie par des anomalies du lobe frontal observées dans de nombreuses études (voir la méta-analyse de Shenton, Dickey, Frumin, & McCarley, 2001). En outre, cette pathologie est caractérisée par une atteinte des trois fonctions exécutives identifiées par Miyake et al. (2000) (Raffard & Bayard, 2012).

Les déficits exécutifs présents dans la schizophrénie et ceux présents au cours du vieillissement normal seraient similaires (Morice & Delahunty, 1996).

L'objectif était de valider ces tests auprès d'une population jeune et sans pathologie, d'une population clinique d'adultes souffrant de schizophrénie, et auprès de participants âgés de plus de 60 ans sans pathologie, qui présentent classiquement un déficit exécutif (adultes schizophrènes : McGurk, Twamley, Sitzer, McHugo, & Mueser, 2007 ; Morice & Delahunty, 1996; Wilk et al., 2005 ; adultes âgés : Raz, 2000, West, 1996).

Dans cette étude, nous avons évalué la validité des tests en s'assurant que les nouveaux tests mesurent bien la fonction voulue. Pour cela, un test créé doit fortement être corrélé à un test classiquement utilisé mesurant les mêmes concepts (Allen & Yen, 1979). De plus un nouveau test à valider devra permettre de mettre en évidence une différence significative entre les résultats obtenus aux tests créés des participants jeunes sans pathologie et ceux des patients atteints de schizophrénie et des participants âgés. En effet, si les performances des participants jeunes sont significativement supérieures, cela permettra de valider les tests. En effet, cela signifie que les nouveaux tests sont assez discriminants pour dissocier une population de niveau exécutif « normal » de populations présentant des déficits exécutifs.

MÉTHODOLOGIE

a) Population

19 participants jeunes ont été examinés pour cette étude ainsi que 25 participants âgés et 19 patients atteints de schizophrénie. Les caractéristiques des participants sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Moyennes (et écarts-type) des caractéristiques des groupes

	Jeunes (n=19, 9/10*)	Schizophrènes (n=19, 12/7*)	Agés (n=25, 10/15*)
Âge (années)	28,78 (10,9)	35,68 (10,17)	71,2 (6,14)
NAE	13,42 (2,06)	11,52 (2,34)	12,2 (3,55)
MMSE	29,46 (0,74)	28,63 (0,59)	28,6 (1,19)
Mill Hill	25,46 (3,04)	22,05 (4,98)	27 (4,29)
FNART	10,2 (4,75)	8,63 (2,67)	7,8 (5,31)
Information	17,46 (6,03)	15,84 (4,16)	19,12 (4,09)
Similitudes	25,26 (3,01)	19,89 (3,07)	23,76 (4,33)

*H/F : nombre d'hommes et de femmes par groupe

NAE : nombre d'années d'études

MMSE : Mini Mental State Evaluation (Folstein et al., 1975)

FNART : version française de la NART (Mackinnon & Mulligan, 2005), nombre d'erreurs

Information : subtest de la WAIS-III (2000)

Similitudes : subtest de la WAIS-IV (2011)

Les participants âgés et jeunes ont été recrutés par annonce et ont passé le protocole à l'université tandis que les patients souffrant de schizophrénie ont été recrutés à la Clinique Psychiatrique Universitaire de Tours. Ces derniers ont été diagnostiqués par un psychiatre.

Tous les participants maîtrisent la langue française et ont donné leur consentement écrit. Les personnes âgées doivent être autonomes et vivre à domicile. Nous avons écarté les participants

présentant des troubles visuels et / ou auditifs non corrigés et qui prendraient des médicaments pouvant altérer leur capacités cognitives. Le traitement médicamenteux des patients schizophrènes est inchangé depuis au moins trois semaines. Les personnes âgées ne doivent pas souffrir de trouble neurologique et / ou psychiatrique. Aucun des participants ne doit avoir un score inférieur à 27 au MMSE (Mini Mental State Evaluation, Folstein et al., 1975). Afin d'évaluer le niveau culturel des participants, plusieurs épreuves sont utilisées à la fin de la passation : le Mill Hill (Deltour, 1993), la version française de la NART (Mackinnon & Mulligan, 2005) et les subtests Information (WAIS-III) (Weschler, 2000) et Similitudes (WAIS-IV) (Weschler, 2011).

L'anonymat est assuré pour tous les participants qui ont été informés de leur droit d'interrompre la participation à tout moment. Ces critères ont été validés par le Comité d'Ethique pour les Recherches Non Interventionnelles (CERNI).

b) Matériel et procédure

L'expérience consiste en une passation de plusieurs tests exécutifs qui sont administrés dans un ordre aléatoire, sur papier ou ordinateur selon le test. Chaque test est composé d'une phase de familiarisation grâce à laquelle on s'assure que les participants ont bien compris les consignes des différentes épreuves. Les tests sont passés généralement en une seule séance de une à deux heures en fonction des participants. Cependant, pour les patients schizophrènes, la passation a pu se dérouler en deux séances du fait de leur faible résistance à la fatigue.

Le matériel se compose de 15 tests évaluant les fonctions exécutives, parmi lesquels se trouvent 9 tests standardisés et 6 nouveaux tests. Les tests évaluent les trois fonctions exécutives spécifiques décrites par Miyake et al. (2000) : l'inhibition, la mise à jour et la flexibilité.

Tests de référence :

Flexibilité

• **Le Trail Making Test (TMT, test papier-crayon)** (Reitan & Wolfson, 1985) est un test de flexibilité mentale qui se divise en deux parties : A et B. Dans la partie A, le participant devra relier des chiffres de 1 à 25 par ordre croissant et dans la partie B, il devra relier des

chiffres par ordre croissant et des lettres par ordre alphabétique en alternance le plus rapidement possible et sans erreur (1-A-2-B-3-C, etc.). En cas d'erreur, le participant est corrigé, et reprend la tâche à l'endroit où il a commis son erreur. Le score est un indice de flexibilité calculé de la façon suivante : $[(\text{Temps B} - \text{Temps A}) / \text{Temps A}]$. Plus le score est élevé et plus les capacités de flexibilité mentale sont faibles. Ce test se déroule sur papier.

• **Le Local-Global** (Kimchi, 1992) s'effectue sur ordinateur. Dans ce test, des grands chiffres sont représentés formés par des plus petits chiffres (ex : plusieurs petits « 3 » forment un grand « 5 »). Il s'agit d'un test de flexibilité mentale qui consiste à identifier un item soit dans sa globalité (grand chiffre) soit de manière locale (petits chiffres qui composent le grand chiffre). Dans une première partie, (1) tous les chiffres sont présentés en bleu, et la consigne est de nommer le grand chiffre qui s'affiche à l'écran (traitement global). Dans la deuxième partie, (2) les chiffres apparaissent en orange, et le petit chiffre qui compose le grand doit être nommé (traitement local). Enfin, dans la dernière partie, (3) le but est de répondre de manière locale lorsque les chiffres sont oranges et de manière globale lorsqu'ils sont bleus (traitement en alternance). L'expérimentateur note les réponses données oralement par le participant. Les résultats de la première étape et de la deuxième étape sont moyennés puis on calcule le score du participant avec : $[(\text{Moyenne Temps 3} - \text{Moyenne Temps 1 et 2}) / \text{Moyenne Temps 1 et 2}]$. Un score élevé à la partie 3 indique de faibles capacités de flexibilité mentale.

• **Le Nombre-Lettres** (Rogers & Monsell, 1995) est un test de flexibilité mentale se déroulant sur ordinateur dans lequel un couple chiffre-lettre apparaît soit dans la partie supérieure de l'écran soit dans la partie inférieure. Dans la phase 1 du test, le participant ne devra d'abord répondre qu'à des stimuli apparaissant dans la partie supérieure, c'est-à-dire qu'il devra indiquer à l'aide des touches 1 et 2 du pavé numérique si le chiffre est pair ou impair. Ensuite dans la phase 2, les items ne se situeront que dans la partie inférieure et le but sera de répondre si la lettre est une consonne ou une voyelle à l'aide des touches 4 et 5. Dans la phase 3, les mêmes touches et les mêmes consignes que les phases 1 et 2 seront utilisées mais les stimuli seront présentés aléatoirement dans la partie supérieure de l'écran (chiffre pair ou chiffre impair) ou dans la partie inférieure de l'écran (consonne ou voyelle). Les sujets doivent

répondre le plus rapidement possible. L'indice de flexibilité est calculé avec : $[(\text{Temps Phase 3} - \text{Moyenne Temps Phases 1 et 2}) / \text{Moyenne Temps Phases 1 et 2}]$. Plus le score est élevé, plus les compétences en flexibilité sont faibles.

Inhibition

• **Le Stroop** (Stroop, 1935) est un test d'inhibition composé de trois parties. Dans la première, le participant doit lire en colonne le plus rapidement possible des noms de couleur écrits en noir sur fond blanc. Ensuite, il devra donner la couleur de l'encre avec laquelle sont écrites des croix. Dans la dernière partie, le participant aura pour but de dénommer la couleur de l'encre des mots représentant des noms de couleur mais cette couleur d'encre n'est pas congruente avec le mot représentant la couleur. À chaque étape, les réponses devront être données le plus rapidement possible dans un temps de 30 secondes. Le nombre de réponses correctes sont comptabilisées dans chacune des conditions. Le score est un indice d'inhibition calculé comme suit : $[(\text{nombre de réponses correctes Phase 2} - \text{Nombre de réponses correctes Phase 3}) / \text{Nombre de réponses correctes Phase 2}]$. S'appuyant sur l'étude de Li et Bosman (Li & Bosman, 1996), le score à la planche A n'est pas pris en compte dans le calcul de l'indice. Peu de réponses correctes lors de la phase 3 indiquent de faibles capacités d'inhibition. Le Stroop se réalise sur papier.

• **Le Hayling Test** (Burgess & Shallice, 1996) est un test d'inhibition réalisé sur papier qui comporte deux étapes. Dans un premier temps, l'expérimentateur lit une liste de 15 phrases dont il manque le dernier mot (par exemple : « Les prisonniers se sont évadés de la ... »). Il est demandé au participant de compléter la phrase par le premier mot qui lui vient à l'esprit (ici, le mot « prison » par exemple). Dans un second temps, l'expérimentateur lit une seconde liste composée de 15 phrases incomplètes. Cette fois, le participant doit également compléter la phrase mais avec un terme qui ne donnerait aucun sens à la phrase en inhibant le mot qui conviendrait. Par exemple, à la phrase « Il fait froid, ferme la ... » le participant ne pourra pas répondre « fenêtre » ou « porte » mais devra plutôt utiliser un mot qui n'a aucun lien sémantique avec la phrase comme « banane ». La consigne donnée lui précisera qu'il ne pourra pas utiliser un mot qu'il a déjà employé dans l'étape 1 ou 2 et qu'il devra respecter le

genre du pronom avant le mot manquant (« Il fait froid, ferme la ... » ne pourra être complétée par un nom masculin). L'expérimentateur chronomètre le temps que le participant met entre la fin de la phrase et la réponse du participant. Le score s'établit également avec le nombre de réponses correctes à chaque partie et une mauvaise réponse entraîne 30 secondes de pénalité. L'indice d'inhibition est calculé ainsi : $[(\text{Temps Phase 2} - \text{Temps Phase 1}) / \text{Temps Phase 1}]$. Un score élevé indique de faibles performances.

• **Le Stop-Signal** (Logan, 1994) est un test d'inhibition composé de quatre listes de noms qui sont suivis soit par un, deux ou trois astérisques (par exemple : « discours* » puis « blague** » etc.). Dans un premier temps, le sujet a pour but d'indiquer si le mot est un nom d'animal ou non en cochant la case appropriée (animal ou non animal). Dans la seconde étape, le participant a pour consigne de ne pas répondre quand le mot est suivi de deux astérisques, et passer à l'item suivant (ex : singe**). Ce test se déroule sur papier et le sujet doit répondre le plus rapidement possible. L'expérimentateur note le nombre de bonnes réponses ainsi que le temps mis pour effectuer chacune des deux listes. L'indice d'inhibition est calculé de la façon suivante: $[(\text{Temps Phase 2} - \text{Temps Phase 1}) / \text{Temps Phase 1}]$. Plus le score est élevé, plus les capacités d'inhibition sont faibles. Il s'effectue sur papier.

Mise à jour

• **Le Running Span** (Morris & Jones, 1990) est un test de mise à jour constitué de 12 séries de lettres et qui se réalise sur papier. Le nombre de lettres par série varie et n'est pas connu du participant. L'expérimentateur lit chaque série et le participant a pour but de retenir et restituer les quatre dernières lettres de chaque série dans l'ordre sans savoir quand la suite de lettre se termine. Le score calculé est composé de trois indices: un score sur 12 indique le nombre de listes correctement restituées en entier (tout le rappel est juste), un score sur 48 indique le nombre de lettres rappelées dans le bon ordre (la lettre rappelée est juste et à la bonne position), et un dernier score sur 48 évalue le nombre de lettres correctement rappelées par liste même si elles ne sont pas dans le bon ordre. Un score élevé indique de bonnes performances de mise à jour.

• **Le Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT)** (Gronwall & Sampson, 1974) est un test de mise à jour informatisé composé de 30 items. Un chiffre est affiché à l'écran toutes les deux secondes et le participant doit l'additionner au chiffre présenté sur l'écran précédent. Le score, sur 30, correspond au nombre de bonnes réponses. Plus le score est élevé, plus les capacités de mise à jour sont élevées.

• **Le N-Back** (Kirchner, 1958) est un test évaluant les capacités de mise à jour composé de 30 items. L'expérimentateur énonce une lettre et le participant doit dire si cette lettre est la même que la deuxième lettre qui la précède (réponse : Oui ou Non). Le score sur 28 correspond au nombre de bonnes réponses. Un nombre important de bonnes réponses indique des performances élevées. Il se déroule sur papier.

Nouveaux tests à valider :

Flexibilité

• **Le « flexibilité majuscule / minuscule ; rouge / vert »** est un test évaluant les capacités de flexibilité. La première phase est l'étape de référence dans laquelle le participant voit une liste de 40 mots apparaissant un par un. Ces mots sont soit écrits en majuscule soit en minuscule, et soit en rouge soit en vert, et ces mots se trouvent soit dans la partie supérieure de l'écran soit dans la partie inférieure. La consigne en phase 1 est qu'il faut appuyer le plus rapidement possible sur la touche 1 lorsque le mot qui apparaît est écrit en majuscule et sur la touche 2 lorsqu'il est écrit en minuscule et ce, peu importe l'endroit où est présenté le mot (en haut ou en bas de l'écran). La seconde phase comporte également 40 mots et il est demandé au participant de répondre à la catégorie majuscule ou minuscule avec respectivement les touches 1 et 2 lorsque le mot apparaît dans la partie supérieure de l'écran et de répondre à la catégorie vert ou rouge avec les touches 4 et 5 lorsque le mot apparaît dans la partie inférieure. Le score du participant est le nombre de bonnes réponses ainsi que son temps de réponse. L'indice de flexibilité est calculé ainsi : $[(\text{Temps Phase 2} - \text{Temps Phase 1}) / \text{Temps Phase 1}]$. Un temps élevé signifie que les performances sont faibles. Ce test se déroule sur ordinateur.

• **Le « flexibilité roule / vole ; couleur / noir et blanc »** comporte une partie de référence (phase 1) dans laquelle le participant voit défiler à l'écran 40 images en couleurs ou en noir et blanc une par une, il doit alors répondre si l'image qu'il voit, soit en haut soit en bas, appartient à la catégorie roule ou vole (touches 1 et 2). Dans la seconde phase, le participant doit également répondre à 40 items. L'expérimentateur donne comme consigne de répondre à la catégorie roule ou vole lorsque l'image est présentée dans la partie supérieure de l'écran avec les touches 4 et 5 et à la catégorie image en couleur ou en noir et blanc lorsqu'elle apparaît dans la partie inférieure avec les touches 1 et 2. Le score du participant correspond au nombre de bonnes réponses qu'il a données et au temps qu'il a mis pour répondre. L'indice de flexibilité est : $[(\text{Temps Phase 2} - \text{Temps Phase 1}) / \text{Temps Phase 1}]$. Un temps élevé indique des capacités de flexibilité mentale faibles. Il s'effectue sur ordinateur.

• **Le « flexibilité mots finissant par i / o ; voix d'homme / voix de femme »** se réalise sur ordinateur et commence également par une phase de référence dans laquelle le participant entend des mots qui finissent soit par le son i soit par le son o dit par une voix de femme ou une voix d'homme. Chaque mot est accompagné d'un écran entièrement rouge ou entièrement jaune. Le participant a pour consigne de choisir si le mot finit par le son i (touches 4) ou le son o (touche 5) et ce, quelle que soit la couleur de l'écran. Dans la deuxième phase, le participant doit répondre à la catégorie mots finissant par le son i ou o lorsque l'écran est jaune avec les touches 1 et 2. Lorsque l'écran est rouge, il doit dire si le mot est prononcé par une voix de femme ou une voix d'homme avec les touches 4 et 5. Le score du participant correspond au nombre de bonnes réponses et au temps de réponse. L'indice de flexibilité est calculé ainsi : $[(\text{Temps Phase 1} - \text{Temps Phase 2}) / \text{Temps Phase 1}]$. Plus le score est élevé, plus les performances sont faibles.

Inhibition

• **La liste d'animaux** est un test d'inhibition sur papier composé de trois listes de 80 noms qui ne dépassent pas trois syllabes d'animaux (4 colonnes de 20 noms d'animaux sur une page A4). Dans un premier temps, l'expérimentateur donne la carte A au participant et

lui demande de lire mentalement le plus rapidement possible les noms des animaux en colonne. Ensuite, une carte B est donnée avec la même présentation que la carte A, la consigne est de lire également les noms d'animaux en colonne le plus rapidement possible mais cette fois à voix haute. Cela permet de comparer les performances entre la lecture mentale et la lecture à haute voix. Enfin, la consigne de la carte C est de lire à haute voix en colonne uniquement les noms d'animaux physiquement plus petits que le chat (exemple : luciole) et lire mentalement ceux qui sont plus gros qu'un chat (exemple : éléphant). Le score du participant est calculé en fonction du temps de lecture et du nombre de bonnes réponses à la carte B et la carte C. L'indice d'inhibition est calculé ainsi : $[(\text{Temps carte C} - \text{Temps carte B}) / \text{Temps carte B}]$. Plus les scores à la carte C sont élevés, plus les capacités d'inhibition sont faibles.

Mise à jour

• **Le Proverbe 2-Back** est un test d'inhibition constitué de 21 items. Chaque item est un proverbe incomplet auquel il manque le dernier mot. Le participant doit compléter mentalement chaque proverbe et retenir sa réponse. Il doit ensuite compléter chaque proverbe mais avec le mot qu'il manquait dans le proverbe précédent. Si le participant ne connaît pas le proverbe il peut le compléter avec le mot qu'il souhaite. Son score est le nombre de réponses correctes. Un nombre de réponses correctes élevé indique de bonnes capacités de mise à jour. Ce test se déroule sur papier.

• **Les 3 Derniers Proverbes** est un test composé de 10 listes de proverbes incomplets écrites sur papier, auxquels il manque le dernier mot. Chaque liste est de taille variable et ne contient pas le même nombre de proverbes. Le participant a pour consigne de compléter mentalement les proverbes et de restituer les trois derniers mots de chaque proverbe à la fin de chaque liste sans connaître la taille de la liste de proverbe. Il lui est précisé qu'il doit les rappeler dans l'ordre dans lequel il les a entendus. Le premier score du sujet est sur 10 et correspond au nombre de listes correctement restituées (la réponse entière est juste). Un second score sur 30 correspond au nombre de mots qui ont été rappelés dans le bon ordre (l'ordre dans lequel les réponses ont été données est correct ainsi que la réponse elle-même).

Enfin, un dernier score sur 30 correspond au nombre de mots correctement rappelés, même s'ils ne sont pas dans le bon ordre. Plus les scores sont faibles, moins les performances sont élevées.

RÉSULTATS

Afin de valider les six tests créés, plusieurs analyses ont été effectuées. Dans un premier temps, nous avons réalisé des ANOVAs pour examiner si les performances des patients atteints de schizophrénie et celles des participants âgés étaient significativement inférieures à celles des participants contrôles pour chacune des fonctions exécutives (flexibilité, inhibition, mise à jour). Des comparaisons planifiées deux à deux ont été effectuées entre chacun des groupes. Les moyennes des résultats obtenus à chacun des tests sont représentées dans le tableau 2 pour la flexibilité, le Tableau 3 pour l'inhibition et le Tableau 4 pour la fonction de mise à jour.

Dans un second temps, afin d'examiner si les tests créés mesure la fonction voulue, nous avons testé la validité des nouveaux tests en analysant si les tests de référence et les nouveaux tests étaient corrélés entre eux à l'aide de corrélations de Bravais-Pearson. Pour que les tests soient valides, les scores obtenus aux nouveaux tests devaient être significativement corrélés aux scores obtenus aux tests de référence.

1. Effets du groupe

Les Tableaux 2 à 4 représentent les performances de chaque groupe par fonction et par test standardisé ou à valider. Des ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés vs. schizophrène) ont été calculées. Globalement pour les trois fonctions, les adultes jeunes présentent de meilleures performances que les adultes âgés et les adultes schizophrènes.

a. Flexibilité cognitive

Tableau 2 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests évaluant la flexibilité mentale

	Jeunes	Schizophrènes	Agés
Tests de référence			
TMT B	66,89 (20,85)	108,36 (44,26)	108,48 (34,55)
Local/Global C	42,26 (8,58)	63,15 (21,78)	83,33 (18,66)
Nombres/Lettres C	71,04 (25,10)	133,04 (44,26)	140,47 (65,19)
Tests à valider			
Minuscules/minuscules – Rouge/vert	76,43 (22,35)	83,97 (31,81)	100,97 (30,16)
Roule/vole – Couleurs/N&B	52,99 (12,51)	116,31 (43,62)	146,73 (56,36)
i/o – Hommes/femmes	63,82 (22,35)	97,51 (30,29)	121,57 (38,89)

L'effet du Groupe sur le Trail Making Test était significatif ($F(2,60) = 9.57 ; p < .001$). Les performances au TMT des participants jeunes étaient supérieures à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 13.66 ; p < .001 ; \eta_p^2=.19$) et à celles des adultes âgés ($F(1,60) = 15.61 ; p < .001 ; \eta_p^2=.21$). Il n'y avait pas de différence significative les groupes d'adultes âgés et de patients atteints de schizophrénie ($F(1,60) = 0.00 ; ns$).

Il y avait un effet du Groupe sur les performances du Local/Global ($F(2,60) = 30.09 ; p < .001 ; \eta_p^2=.33$), les participants jeunes ayant de meilleures performances que les adultes âgés ($F(1,60) = 59.93 ; p < .001 ; \eta_p^2=.50$) et les adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 13.65 ; p < .001 ; \eta_p^2=.19$). Ces derniers ont de meilleures performances que les participants âgés ($F(1,60) = 14.46 ; p < .001 ; \eta_p^2=.19$).

Un effet significatif du Groupe a été identifié sur les performances au Nombres/Lettres ($F(2,60) = 9.46 ; p < .001 ; \eta_p^2=.12$), les performances des participants jeunes étant significativement supérieures à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 11.75 ; p < .01 ; \eta_p^2=.16$) et à celles des adultes âgés ($F(1,60) = 16.75 ; p < .001 ; \eta_p^2=.22$). Il n'y avait pas de différence entre les performances des adultes âgés et des adultes schizophrènes ($F(1,60) = 0.19 ; ns$).

Tests à valider

L'effet du Groupe était significatif pour le test de « minuscules/majuscules ; rouge/vert » ($F(2,60) = 13.39 ; p < .001 ; \eta_p^2=.18$). Le groupe d'adultes jeunes avait des performances significativement supérieures à celles des adultes schizophrènes ($F(1,60) = 7.58 ; p < .01 ; \eta_p^2=.11$) et à celles des adultes âgés ($F(1,60) = 26.78 ; p < .001 ; \eta_p^2=.31$). Le groupe d'adultes schizophrènes présentait des performances significativement supérieures à celles des participants âgés ($F(1,60) = 5.01 ; p < .05 ; \eta_p^2=.08$). De la même façon, l'effet du Groupe était significatif pour le test « flexibilité roule/vole ; couleurs/noir et blanc » ($F(2,60) = 17.51 ; p < .001 ; \eta_p^2=.23$) les adultes jeunes présentaient significativement de meilleures performances que les adultes schizophrènes ($F(1,60) = 12.75 ; p < .001 ; \eta_p^2=.18$) et les adultes âgés ($F(1,60) = 34,77 ; p < .001 ; \eta_p^2=.37$), les adultes schizophrènes ayant de meilleures performances que les adultes âgés ($F(1,60) = 4.36 ; p < .05 ; \eta_p^2=.07$). Enfin, le même effet de Groupe a été identifié pour le test « flexibilité mots finissant par i/o ; voix d'homme/voix de femme » ($F(2,60) = 18.91 ; p < .001 ; \eta_p^2=.24$). Le groupe d'adultes âgés présentait de meilleurs résultats que les groupes d'adultes schizophrènes ($F(1,60) = 11,32 ; p < .01 ; \eta_p^2=.16$) et adultes âgés ($F(1,60) = 37,82 ; p < .039 ; \eta_p^2=.54$), et le groupe d'adultes schizophrène avait de meilleures performances que les adultes âgés ($F(1,60) = 6,56 ; p < .05 ; \eta_p^2=.10$).

b. inhibition

Tableau 3 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests de référence évaluant l'inhibition

	Jeunes	Schizophrènes	Agés
<i>Tests de référence</i>			
Stroop C	35,63 (10,84)	25,63 (6,43)	23,24 (5,93)
Hayling test B	196,68 (61,29)	250 (62,19)	260,76 (70,83)
Stop Signal B	89,84 (17,32)	186,21 (101,83)	153,56 (75,77)
<i>Tests à valider</i>			
Liste des animaux C	49,89 (10,28)	62,21 (14,92)	60,96 (14,65)

Tests de référence

Les performances obtenus au Stroop test ont permis de mettre en évidence un effet du Groupe ($F(2,60) = 4.15 ; p < .05$). Les participants jeunes ont obtenu des performances significativement supérieures à celles des participants âgés ($F(1,60) = 8.26 ; p < .01$). Aucune différence n'a été observée entre les adultes souffrant de schizophrénie et les participants jeunes ($F(1,60) = 1.79 ; ns$) ni entre les performances des participants âgés et des patients atteints de schizophrénie ($F(1,60) = 2.09 ; ns$).

L'effet significatif du Groupe sur les performances au Hayling test était significatif ($F(2,60) = 5.60 ; p < .01 ; \eta_p^2 = .09$). Les comparaisons planifiées indiquent que les participants jeunes avaient des performances significativement supérieures à celles des participants âgés ($F(1,60) = 10.32 ; p < .01 ; \eta_p^2 = .15$) ainsi qu'à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 6.28 ; p < .05 ; \eta_p^2 = .09$). Les performances des patients avec schizophrénie et des participants âgés n'étaient pas différentes ($F(1,60) = 0.29 ; ns$).

Les performances obtenues au Stop Signal ont mises en évidence un effet du Groupe ($F(1,60) = 8.35 ; p < .001 ; \eta_p^2 = .12$). Les participants jeunes ont des performances significativement supérieures à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 16.04 ; p < .001 ; \eta_p^2 = .21$) et à celles des adultes âgés ($F(1,60) = 7.97 ; p < .01 ; \eta_p^2 = .12$) ; il n'y avait pas de différence significative entre les performances des participants âgés et des adultes schizophrènes ($F(1,60) = 2.09 ; ns$).

Tests à valider

L'effet du groupe sur le test « La liste des animaux » était significatif ($F(2,60) = 4.89 ; p < .05 ; \eta_p^2 = .08$). Le groupe d'adultes jeunes avait des performances significativement supérieures à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 7.81 ; p < .01 ; \eta_p^2 = .12$) et à celles des adultes âgés ($F(1,60) = 7.16 ; p < .01 ; \eta_p^2 = .11$). Cependant, il n'y avait pas de différence entre les performances des adultes âgés et les adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 0.09 ; ns$).

c. Mise à jour

Tableau 4 : Moyennes (et écarts-type) des groupes pour les tests évaluant la mise à jour

	Jeunes	Schizophrènes	Agés
<i>Tests de référence</i>			
Running span			
<i>items entier (/12)</i>	6,05 (2,48)	3,78 (1,65)	5,28 (2,71)
<i>ordre (/48)</i>	35,89 (7,54)	31,36 (6,72)	33,68 (7,43)
<i>quantité (/48)</i>	41,31 (4,46)	38,1 (4,39)	39,72 (4,64)
PASAT	28,57 (2,98)	24,57 (4,2)	23,84 (5,01)
N-Back	24,4 (1,98)	23,42 (2,06)	22,48 (2,61)
<i>Tests à valider</i>			
Proverbes 2-Back	17,68 (2,62)	14 (2,82)	13,96 (3,38)
3 Derniers Proverbes			
<i>item entier (/10)</i>	4,47 (1,80)	2,84 (2,19)	2,8 (2,19)
<i>ordre (/30)</i>	21,52 (3,83)	18,05 (4,69)	18,24 (4,87)
<i>quantité (/30)</i>	23,42 (2,56)	20,26 (3,28)	20,8 (4,09)

• *Scores obtenus par les trois groupes aux tests évaluant la mise à jour*

Tests de références

Un effet significatif du Groupe a été trouvé sur le nombre de bonnes réponses total au Running Span ($F(2,60) = 4.50 ; p < .05 ; \eta^2 = .07$), le groupe de participants jeunes ayant des performances significativement supérieures à celles des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 8.65 ; p < .01 ; \eta^2 = .13$), mais pas à celles des participants âgés ($F(1,60) = 1.14 ; ns$). Cependant, les analyses ont montré une différence de performances significative entre les participants âgés et les ceux souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 4,26 ; p < .05 ; \eta^2 = .07$). Il n'y a pas d'effet du Groupe sur le score ordre ($F(2,60) = 1,84 ; ns$) ni sur le score quantité ($F(2,60) = 2,40 ; ns$).

Les analyses ont permis de montrer une différence significative de performances entre les trois groupes au PASAT ($F(2,60) = 7.34 ; p < .01 ; \eta^2 = .11$). Les participants jeunes avaient des résultats significativement supérieurs à ceux des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 8.42 ; p < .01 ; \eta^2 = .12$) ainsi qu'à ceux des adultes âgés ($F(1,60) = 13.43 ; p < .001 ; \eta^2 = .18$). Les scores des

participants âgés et ceux souffrant de schizophrénie n'étaient pas significativement différents ($F(1,60) = 0.32 ; ns$).

Les scores obtenus au N-Back présentaient un effet du Groupe ($F(2,60) = 3.93 ; p < .05 ; \eta_p^2=.06$). Les comparaisons planifiées ont montré que les participants jeunes ont de meilleures performances que les participants âgés ($F(1,60) = 7.83 ; p < .01 ; \eta_p^2=.12$). Cependant, les résultats obtenus n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre les résultats des participants jeunes et ceux des adultes souffrant de schizophrénie ($F(1,60) = 1.82 ; ns$) ni entre les résultats du groupe de participants âgés et du groupe de schizophrènes ($F(1,60) = 1.84 ; ns$).

Tests à valider

Les analyses faites sur le test proverbes 2-Back montre que le groupe d'adultes jeunes présentait des performances significativement supérieures à celles des deux autres groupes ($F(2,60) = 10.07 ; p < .001 ; \eta_p^2=.14$). Les performances des groupes d'adultes jeunes et schizophrènes étaient significativement différentes. Plus précisément, ($F(1,60) = 14.24 ; p < .001 ; \eta_p^2=.19$) ; ainsi que les adultes jeunes et âgés ($F(1,60) = 16.54 ; p < .001 ; \eta_p^2=.22$). Les performances des groupes d'adultes schizophrènes et âgés n'étaient pas différentes ($F(1,60) = 0.00 ; ns$).

Un effet du Groupe était présent sur les performances au test des 3 Derniers Proverbes, que ce soit pour le nombre total de bonnes réponses ($F(2,60) = 4.17 ; p < .05$), pour les réponses correctement ordonnées ($F(2,60) = 3.67 ; p < .05$) ou pour le nombre de mots correctement restitués ($F(2,60) = 4.66 ; p < .05$). Les comparaisons planifiées ont montré que seules les performances des participants âgés et ceux des adultes atteints de schizophrénie n'étaient pas significativement différentes pour le score total ($F(1,60) = 0,00 ; ns$), pour le score ordre ($F(1,60) = 0,01 ; ns$), et pour le score quantité ($F(1,60) = 0.26 ; ns$). Les participants jeunes avaient un score significativement plus élevé que les adultes schizophrènes pour le score total ($F(1,60) = 5.80 ; p < .05$), pour le score de mots correctement ordonnés ($F(1,60) = 5.58 ; p < .05$) et pour le score quantité ($F(1,60) = 7,95 ; p < .01$). De la même façon, les scores obtenus par les adultes jeunes étaient supérieurs à ceux obtenus dans le groupe d'adultes âgés pour le total ($F(1,60) = 6.94 ; p < .05$), pour les mots correctement ordonnés $F(1,60) = 5,67 ; p < .0$ et pour la quantité $F(1,60) = 6,22 ; p < .05$

Ces analyses nous ont permis de confirmer que les adultes âgés et les adultes schizophrènes présentent des scores inférieurs aux tests exécutifs de référence par rapport aux jeunes adultes. Des résultats similaires ont été obtenus sur les performances des différents tests à valider.

2. Validité des tests

Afin d'étudier la validité des tests créés, nous avons calculé les corrélations (r de Bravais Pearson) entre ces tests et les tests standardisés. Les corrélations sont présentées dans les tableaux 5 à 7.

Tableau 5 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests de référence pour la fonction de flexibilité mentale

	TMT B	Local/Global C	Nombres/Lettres C
Roule/vole – Couleurs/N&B	.60***	.72***	.67***
i/o – Hommes/femmes	.56***	.62***	.54***
Minuscules/majuscules –Rouge/vert	.54***	.61***	.64***

*** : $p < .001$

Les nouveaux tests de flexibilité cognitive sont tous positivement corrélés aux tests de référence.

Tableau 6 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests de référence pour la fonction d'inhibition

	Stroop A	Stroop B	Stroop C	Hayling B	Stop Signal A	Stop Signal B
Liste des animaux A	-.36**	-.25*	-.28*	.29*	.29*	.31*
Liste des animaux B	-.26*	-.37**	-.34**	.40**	.31*	.37**
Liste des animaux C	-.39**	-.44***	-.39**	.40**	.45***	.45***

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Les corrélations entre la liste d'animaux et les tests standardisés d'inhibition sont également significatives. Le score à la liste d'animaux est calculé en fonction du temps de lecture du participant alors que le score au Stroop est mesuré en fonction du nombre de bonnes réponses données. La mesure n'est pas la même, ce qui explique la corrélation négative entre ces deux tests. La liste d'animaux

mesure bien la fonction inhibition de la même manière que le Stroop, ce qui signifie que plus le temps de lecture à la liste des animaux est long et moins il y aura de réponses correctes au Stroop.

Tableau 7 : Corrélations entre les performances aux nouveaux tests et celles aux tests de référence pour la fonction de mise à jour

	N-Back	Running Span			PASAT
		<i>items entier (/12)</i>	<i>ordre (/48)</i>	<i>quantité (/48)</i>	
3 Derniers Proverbes					
<i>items en entier (/10)</i>	.25*	.52***	.54***	.55***	.46***
<i>ordre (/30)</i>	.27*	.60***	.65***	.62***	.46**
<i>quantité (/30)</i>	.31*	.56***	.58***	.58***	.50***
Proverbes 2-Back (/20)	.46***	.38**	.32*	.37**	.57***

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Les nouveaux tests évaluant la mise à jour sont tous corrélés positivement aux tests de référence. Les trois mesures obtenues au test des 3 Derniers Proverbes et les résultats au test proverbes 2-Back corréleront tous significativement au N-Back, au PASAT et aux différents scores obtenus au Running Span.

Tous les nouveaux tests sont corrélés aux tests standardisés. Cela signifie qu'ils mesurent bien la même chose que les tests déjà existants et utilisés dans la littérature.

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de valider de nouveaux tests mesurant les fonctions exécutives. Les tests utilisés en clinique autant qu'en recherche expérimentale sont souvent les mêmes (Faria, Alves, & Charchat-Fichman, 2015). De plus, les passations successives d'un même test peuvent engendrer un effet d'entraînement chez un individu et ainsi biaiser les résultats et interprétations des scores.

Dans un premier temps, nous avons examiné que les nouveaux tests permettaient de différencier des populations de niveaux exécutifs différents. Ainsi, les ANOVAs calculée sur les différents scores aux tests exécutifs nouveaux et standardisés ont confirmé que les performances aux tests exécutifs étaient supérieures dans le groupe de jeunes adultes par rapport aux adultes âgés (Colette & Salmon, 2014) et aux adultes souffrant de schizophrénie (Bejaoui & Pedinielli, 2010). De plus, les nouveaux tests mesurant la flexibilité permettent de différencier deux déficits exécutifs différents. En effet, les scores aux nouveaux tests de flexibilité mentale étaient significativement inférieurs chez les participants âgés par rapport à celles des patients souffrant de schizophrénie et à celles des adultes jeunes. Il semblerait que ces nouveaux tests sont plus discriminants que les tests de référence évaluant la flexibilité mentale car seul le Local/Global permet d'observer ce même résultat. Ces tests pourraient donc être utilisés afin de distinguer des profils exécutifs différents entre des adultes âgés dont le déficit résulte d'un vieillissement normal et des personnes dont le développement exécutif est pathologique.

Le second objectif consistait à examiner la validité des nouveaux tests. Au travers des résultats, il a été montré que ces tests exécutifs mesurent bien la même fonction que les tests standardisés. Cela signifie qu'ils permettent d'évaluer les fonctions exécutives aussi précisément que les tests standardisés. Des corrélations significatives ont été observées entre les tests de référence et les tests créés pour la fonction de flexibilité d'inhibition et de mise à jour en mémoire de travail.

La création de nouveaux outils d'évaluation des fonctions exécutives est nécessaire car l'utilisation répétée des mêmes tests par un individu peut entraîner des résultats biaisés à l'habitude à ces tests. En effet, la répétition d'un test peut être à l'origine d'un effet d'entraînement. Ce ne serait alors plus la performance des sujets qui serait évaluée mais les capacités d'entraînement à une épreuve. En effet, l'étude de McCaffrey, Ortega & Haase (1993) montre que certains tests utilisés pour l'évaluation neuropsychologique, dont le Trail Making Test, subissent un effet d'entraînement s'ils sont répétés dans le temps, même sans que le patient n'ait bénéficié d'une prise en charge de ses déficits. Cependant, cet effet serait diminué dans le cadre où deux évaluations seraient plutôt éloignées dans le temps.

Donc, si l'on veut évaluer les capacités exécutives d'une personne et leurs évolutions au cours du temps, il est important d'alterner les tests utilisés. Par exemple, Faria, Alves & Charchat-Fichman (2015) ont effectué une analyse dans laquelle les auteurs ont étudié quels étaient les tests exécutifs

les plus utilisés chez une population d'adultes âgés ces cinq dernières années. Le Trail Making Test et le Stroop font partie des épreuves les plus utilisées pour évaluer respectivement la flexibilité mentale et l'inhibition. L'évaluation de l'évolution des capacités exécutives, en clinique ou dans une expérience, doit résulter de l'efficacité d'une prise en charge ou d'un entraînement et on pas d'un effet de familiarisation dissimulant les potentiels déficits. C'est pour cette raison que de nouveaux tests ont été créés afin d'élargir la batterie d'outils évaluant les fonctions exécutives et donc de pallier à cet effet d'entraînement. Plus le nombre d'épreuves disponibles sera important, moins les mêmes tests auront besoin d'être utilisés.

Conclusion Chapitre 2

Ces deux études nous ont permis de valider des nouveaux tests. En effet, ils respectent les trois critères psychométriques, et de plus, ils permettent de différencier, à travers les scores obtenus aux nouveaux tests, des populations connues pour avoir des niveaux exécutifs différents. Nous avons donc utilisé ces nouveaux tests dans les expériences des chapitres suivant afin d'établir un programme d'entraînement exécutif. Précisons que tous les tests créés n'ont pas fait l'objet d'une validation systématique, mais qu'ils ont tous été construits sur le même modèle que ceux qui ont été validés. Au total 6 tests ont été créés, ils sont présentés dans les annexes 21 à 24.

Chapitre 3 : Effet de l'entraînement des
fonctions exécutives sur le niveau exécutif et
transfert des bénéfices en mémoire épisodique
chez des adultes âgés

Dans ce chapitre trois, l'objectif était dans un premier temps d'identifier les liens entre les fonctions exécutives et la mémoire épisodique, notamment les stratégies mises en place à l'encodage (Expérience 5) chez des adultes âgés. Après l'identification du rôle médiateur des fonctions exécutives dans les performances en mémoire épisodiques et la mise en place de stratégies à l'encodage, dans l'Expérience 6, un programme de stimulation exécutive chez des adultes âgés a été mis en place afin d'examiner si en entraînant les fonctions exécutives, les effets bénéfiques de cet entraînement sur les fonctions exécutives pouvaient être transférés à des performances en mémoire épisodique et notamment à l'utilisation de stratégies efficaces à l'encodage. De plus les scores des deux groupes d'adultes âgés entraînés et contrôles ont été comparés aux scores d'adultes jeunes en pré-tests et en post-test afin d'examiner l'évolution des effets d'âge après l'entraînement exécutif.

1. Expérience 5: Rôle médiateur des fonctions exécutives dans l'utilisation et l'efficacité des stratégies d'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés

Les capacités de mémoire épisodique diminuent avec l'avancée en âge. Plusieurs hypothèses tentent d'expliquer les déficits liés au vieillissement. (1) Les effets du vieillissement résultent de difficultés à mettre en place des stratégies efficaces à l'encodage chez les adultes âgés. Un encodage profond permet une meilleure mémorisation. Les adultes âgées présentent des difficultés à mettre en œuvre cette stratégie parce que sa mise en place est plus difficile et plus coûteuse en ressources cognitives. (2) Les fonctions exécutives diminuent avec l'avancée en âge et contribuent à la réserve cognitive, elles devraient donc avoir un lien avec la mise en place des stratégies d'encodage profond chez les adultes âgés. Dans cette étude, l'objectif était d'identifier le lien direct entre la profondeur des stratégies d'encodage et leur efficacité et les fonctions exécutives chez les adultes âgés. Des adultes jeunes et âgés ont appris une liste de 30 paires de mots. Après la présentation de chaque paire de mots, l'encodage utilisé a été relevé (encodage profond vs. superficiel) d'après la déclaration des participants. Ceux-ci ont ensuite été soumis à un rappel indicé présentant le premier mot de chacune des paires. Les résultats ont montré qu'en comparaison avec les plus jeunes, les personnes âgées présentaient des déficits exécutifs, qu'ils utilisaient moins de stratégies d'encodage profond et que cet encodage était moins efficace pour le rappel des mots. De plus, chez les adultes âgés, l'efficacité

de l'encodage profond était corrélée avec les capacités d'inhibition et de flexibilité. Les scores en flexibilité cognitive expliquaient la variabilité des scores en rappel de mots appris avec un encodage profond et la variabilité de l'efficacité de cet encodage. Ces résultats sont très importants car ils ont permis de mettre en évidence pour la première fois le lien direct entre les fonctions exécutives et les stratégies d'encodage en mémoire épisodique.

Burger, L., Fay, S., Plusquellec, P., Borella, E., & Taconnat, L. (en préparation). Contribution of executive functions to encoding strategy efficiency in older adults

Contribution of executive functions to encoding strategy efficiency in older adults

Lucile Burger^{1,2}, Laurence Taconnat¹, Pierrich Plusquellec², Erika Borella³, & Séverine Fay¹

¹ Université de Tours, Université de Poitiers, UMR 7295 'Centre de Recherches sur la Cognition et

¹ Apprentissage, CNRS, France.

² University of Montreal, Canada

³ Department of General Psychology, University of Padova, Italy.

Address correspondence to

Lucile BURGER,

Laurence TACONNAT,

Psychologie Cognitive

Université de Tours

UMR-CNRS 6234 : CeRCA, équipe 'Vieillesse et Mémoire'

Département de Psychologie

3, rue des Tanneurs

37000 Tours

phone: +33 2 47 36 81 54

Email: lucile.burger@etu.univ-tours.fr

laurence.taconnat@univ-tours.fr

This study was supported by grants from the ANR (*Agence Nationale pour la Recherche*) 2013: Role of executive functions on strategic variations during aging: Studies in problem solving, memory, and motor behaviors (**ANR-13-BSH2-0005-03**).

Abstract

Episodic memory decrease with aging. Different hypotheses can explain this age-related effect. Among these hypotheses, the deficit in executing efficiently memory strategies, or the executive functions decline are well documented. Executive functions contribute to the implementation of memory strategies, but how and at what stage is not clear. Inhibition and flexibility, two executive functions, have already been found to be associated to memory performance in older adults, but the direct link between strategies and executive functions has not been analysed. In this study, we aimed at identifying the direct link between two types of strategy encoding (shallow: rote repetition and deep: integrative sentence and mental imagery) and executive functions in older adults. Before that, we had to ensure that the older adults presented the classical cognitive profile described in the literature. Young and older adults learnt pair of word-pairs and indicated what strategy they have used for each of them. Further, they took a cued recall task, and inhibition and flexibility capacities were also assessed. The results showed that older adults presented lower executive capacities, used the same strategies, recalled less words learnt with deep encoding and their deep strategies were less efficient, compared to the young group. Correlational analyses were further conducted in the older group only. The number of words recalled and learnt with the deep strategies, and the efficiency of these strategies were correlated with the inhibition and flexibility scores. Regression analyses showed

that flexibility accounted for a significant part of variance in recall of words learnt with deep strategies and of efficiency of deep strategies. These results highlighted for the first time the direct role of executive functions on the execution and efficiency of deep memory strategies in older adults.

Key words: Strategy encoding, executive functions, episodic memory, aging

Introduction

The decline of the use of adapted and efficient strategies is a relevant hypothesis accounting for age-related effects in episodic memory (e.g., Froger, Bouazzaoui, Isingrini, & Taconnat, 2012, Lemaire, 2016). This deficit in strategic behavior has often been indirectly associated to an alteration of the executive functions (e.g., Buckner, 2004; Taconnat et al., 2006, 2007, 2009; West, 1995). Indeed, correlations are examined between the scores in executive tasks and scores in memory tasks, but not directly between executive scores and the recall of words learnt with a particular and potentially more or less efficient strategy.

Performance in episodic memory, which corresponds to the retrieval of an information and its context of acquisition (Tulving, 1995) depends both on encoding and retrieval processes, which represent the “memory strategies”. In this study, we focused on the cognitive processes underlying the recall of words encoded with given strategies. Notably, the possibility of a direct association between the level in executive functions and the strategy efficiency was examined.

A strategy is "a procedure or set of procedures allowing participants to achieve their goal." (Lemaire & Reder, 1999, p.365). Several efficient encoding strategies have been identified. For instance, Craik and Lockhart (1972) proposed different levels of encoding corresponding to different depths of processing ranging from shallow processing (e.g., perceptive-lexical encoding, “*how many vowels includes the word?*”) to deep processing (e.g., semantic processing “*make a sentence using the word to remember*”). The deeper the encoding, the better the memory trace and therefore the better the recall performance (e.g., Craik & Lockhart, 1972, Craik & Tulving, 1975). Mental imagery, consisting in making mental images of verbal material has also been found to be a particularly efficient encoding process (Paivio & Csapo, 1969). However, if semantic and imagery processes are

efficient for episodic memory, they are also particularly resource dependent (Burger, Uittenhove, Lemaire & Taconnat, in press; Rabinowitz, Craik, & Ackerman, 1982; Taconnat & Isingrini, 2004) and thus more difficult to implement, in particular for the older adults who lack processing resource (Hasher & Zacks, 1979; McDowd & Craik, 1987; Salthouse, 1991). Indeed, these two strategies require to make a link between the new information to learn in episodic memory and information yet stored in semantic memory, as verbal or visual representation. Thus, these strategies are mainly internal (when they are self-initiated), concept-driven. By contrast, rote repetition, another commonly used learning strategy, is an external, task-driven strategy which does not involve such search in semantic memory. It requires less time and fewer cognitive resources but leads to shallower encoding, and lower performance (Burger et al., in press).

Studies in aging have shown that the older adults tended to diminish their use of internal, deep encoding (Bouazzaoui, Isingrini, Fay, Angel, Vanneste & Taconnat, 2010). This result has been found for both mental imagery (e.g., Bruyer & Scailquin, 2000; Dror & Kosslyn, 1994; Dunlosky & Hertzog, 1998; Plaie & Isingrini, 2003), including mental imagery in memory tasks (e.g., Dunlosky, & Hertzog, 2001; Froger et al., 2012; Tournier & Postal, 2011) and semantic encoding (e.g., Taconnat & Isingrini, 2004). Strategy selection and efficiency of strategy execution change during aging (Lemaire, 2016 for a review). For instance, when they are encouraged or instructed to use deep encoding, older adults execute it is less efficiently than young adults (see Plaie & Tomas, 2008, for a study in mental imagery efficiency, and Taconnat & Isingrini, 2004, for a study in semantic encoding efficiency). These age-related changes in strategic behaviour could be due to the decline of executive functions with aging (Buckner, 2004).

The age-related deficit in executive functions (Rhodes, 2004; West, 1996) is among the most influent hypothesis allowing explaining the effect of aging in the cognitive capacities, and in particular in memory (Moscovitch & Winocur, 1992; Parkin, 1997). These functions are involved in goal-directed strategic cognitive operations (Elliott, 2003). According to this hypothesis, age-related differences in memory arise from a decline in the prefrontal cortex functioning, which may be particularly sensitive to the effects of aging (Raz, 2000) and is believed to support executive functions (Parkin & Walter, 1992).

In the memory domain, Bouazzaoui et al. (2010), used the self-report Memory In adulthood Questionnaire (MIA, Dixon, Hultsch, & Hertzog, 1988) to examine the age effect on the selection of memory strategies. They showed that the effect of aging on self-reported internal and external

memory strategy selection, i.e., older adults report to use less internal strategies (i.e., self-initiated strategies) and more external strategies (i.e., implemented thanks to an environmental support) than the younger ones, was predicted by executive functioning. In memory tasks, other studies have shown that executive functions were also implicated when individuals have to implement efficient semantic learning strategies (e.g., Taconnat et al., 2006) or retrieval strategies (e.g., Taconnat et al., 2007) without environmental support, i.e., in a self-initiated way. In these studies, the results showed that when these strategies had to be implemented, the older adults performed more poorly than when such strategies had not to be carried out, and that this specific deficit was due to low executive functions level. Thus, spontaneously, older adults select less appropriate strategies, and when they have to select them, because of the task demand or after instructions from experimenter, these strategies are less efficient and do not always lead to a good memory performance, in comparison to that of younger adults. It is possible that the executive functions contribute to the strategy efficiency, and that it is not because a strategy has been executed that it will be efficient. Efficiency would thus be dissociable of utilization. For instance, Taconnat et al., (2009) found that the organisational strategy was used by older adults, although at a lesser extent than in the younger ones, but that this memory strategy was not efficient for memory performance (recall test), because the organisational strategy index was not correlated to the memory performance in the older adults, by contrast to what was found for the younger ones. In this study, the lack of efficiency of the memory strategy was related to low executive functions.

The link between executive functions and the recall of words is well documented, and recent research showed that involvement of executive functions in memory was greater in the older adults than in the younger ones (Bouazzaoui, Fay, Taconnat, Angel, Vanneste, & Isingrini, 2013; Bouazzaoui et al., 2014). Other studies suggested that this link was higher for information learnt with deep strategies (e.g., Bunce, 2003; Bryan, Luszcz & Pointer, 2004; Taconnat et al., 2006, 2009). However, to our knowledge, no study has analysed directly and closely the differential link between executive functioning and the recall of words deeply or shallowly encoded. In the present study, the relationship between executive functions and memory was tested through inhibition and flexibility, two functions which have already been found to be associated with the memory performance in older adults (e.g., Bouazzaoui et al., 2014, Burger et al., in press; Taconnat et al., 2006). Inhibition enables individuals to ignore irrelevant information that competes for attention with relevant information. This is important when words have to be learnt successively with different encoding strategies,

because a previously selected strategy could become inefficient and would have to be inhibited in order to implement a perhaps more efficient subsequent strategy (Burger et al., in press). Flexibility also participates to a better memorisation. By allowing individuals to switch between different strategies or between different processes, it permits a better adaptation to the task, and thus, a better strategy efficiency (e.g., Taconnat et al., 2009).

The main aim of this study was to show that the executive functions were especially associated to the recall of words which had been learnt with deep strategies (semantic encoding and mental imagery), and to these strategy efficiency, that is, the proportion of a given strategy used at the encoding stage which gave rise to an effective recall. First, to this end, the classical age-related effect in executive functions and episodic memory performance had to be replicated. Performance of young and older adults on these measures were compared. The older adults should have less executive functions capacities and should recall less words. Moreover, we hypothesized that the efficiency of the deep encoding strategies in older adults would be lower than in the young adults as it was found before in the literature (Dunlosky, & Hertzog, 2001; Froger et al., 2012; Froger, Toczé, & Taconnat, 2014; Plaie & Thomas, 2008, Taconnat et al., 2004; 2006; Tournier & Postal, 2011). Further, in order to test our main hypothesis relative to the relationship between executive functions and strategy efficiency, only the performance of older adults was analyzed. Indeed, it had been showed that executive functions and memory were especially highly related in old age (Bouazzaoui et al., 2013, 2014). To explore this relationship, we performed correlation and regression analyses. We hypothesized (1) that the words learnt with deep encoding strategies, in our study mental imagery or sentence integrating the two words of the pairs (semantic encoding), would be correlated to the executive functions. On the contrary, in accord with Bouazzaoui et al.'s (2010) results, who showed that the selection of external task-driven strategies was not associated to executive functions, the words recalled and learnt with the rote repetition strategy would not correlate with these functions. (2) A positive relationship was also expected between the individual level in executive functions and the efficiency of the deep strategies. (3) Recall of words learnt with deep memory strategy and strategy efficiency should be predicted by the score in executive functioning.

Method

Participants. Fifty nine individuals participated in this study, 18 young adults aged between 20 and 40 years (11 women and 7 men) and 36 older adults aged between 60 and 80 years (26 women and 10 men). All participants lived independently at home and were recruited mainly through local newspapers. Participants were all volunteers, and were individually interviewed to exclude those with a history of alcoholism, undergoing treatment for psychiatric illness, or taking psychoactive medication. They were screened for anxiety-depression with the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS, Zigmond & Snaith, 1983). Participants with a pathological score larger than 11 in anxiety or in depression were excluded. Older adults were also screened for cognitive impairment with the Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) and those who obtained a score below 27 were excluded from the analyses (one participant) to reduce the risk of including participants with potential dementia. Ethical approval for the research was obtained from the local ethics committee of the University of Tours, and all participants were volunteers and signed consent forms. The Mill-Hill vocabulary test (Raven, Court, & Raven, 1986) was used to assess verbal fluency, which could influence episodic memory, and the Visual Imagery Vividness Questionnaire (VVIQ, Marks, 1973) assessed mental imagery capacity.

Participants' characteristics are presented in Table 1. As seen in this table, young adults had a higher education level than the older adults, but older adults had a higher level in vocabulary than the young adults. This pattern is consistent with what is typically found in the literature (e.g., Craik & Bialystok, 2006) and is consistent with the idea that crystallized knowledge (general knowledge, semantic memory) are likely to increase throughout the lifespan. No age-related differences were found in the VVIQ, suggesting that participants of each age group were equally fluent in mental imagery.

Table 1: Means (and SD) of demographics characteristics of each age group

	<i>Young adults</i>	<i>Older adults</i>	<i>t(52)</i>
	N=18	N=36	
<i>Age</i>	27.10 (6.26)	68.71 (5.96)	24.07***
<i>MMSE</i>	- -	28.92 (1.13)	-
<i>Educational level</i>	14.88 (1.26)	12.76 (3.10)	2.69**
<i>Mill-Hill</i>	22.77 (4.50)	26.39 (5.46)	2.42*
<i>VVIQ</i>	50.40 (7.70)	50 (9.07)	.14
<i>Depression</i>	5.6 (3.09)	6.82 (3.18)	1.24
<i>Anxiety</i>	6.6 (2.92)	6.44 (4.10)	.14

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$

Material and Procedure

Memory task

A list of 30 associated word-pairs (cue words and target words, Froger et al., 2012) was used in this experiment. Six additional word-pairs were used as examples and were not included in the study test trials. E-Prime software (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) was used to display all instructions and items and to record all responses during the experiment.

The procedure was composed of four phases: an instruction/example phase in which the participants were instructed that they would be presented with word-pairs, and that only the second word of the pair (target word) had to be learnt, and that in a second phase, the first word of the pair would be re-presented to help the recall of the target word. The example phase served to ensure that instruction and task were understood. After that, a study phase comprised the presentation one by one of the 30 concrete word-pairs. All participants could study each word pair for as long as they wanted and then pressed a key to move on to the next pair but could not go back to a previous item (self-paced study time). In this way, the participants controlled their own learning time to ensure that all participants had sufficient time to implement the strategy he/she wanted. Indeed, some studies have shown that imagery strategy need more time to be implemented than other like rote repetition (Paivio & Csapo, 1971; Plaie & Thomas, 2008). Participants were told that they could use the strategy they wanted among two types of strategies. The first one (choice “1”, deep integrative encoding) consisted

in making a sentence or an image including the two words of the pair, and the second (choice “2”, rote repetition, shallow encoding) consisted in repeating the words in order to try to memorize them. A third answer were “any strategy” (choice “3”). This choice was used less than 10% per participant, thus we did not include this strategy in the result section. After each word-pair studied, participants had to report aloud which strategy they have selected (1 or 2 or 3), and had to describe it precisely. No information about the efficiency of each strategy was provided. At the end of the study phase and before the cued recall task, participants took an interfering task for 30 seconds to avoid any recency effect (counting down). The last memory phase was the cued-recall test during which only the cue words were presented one by one and participants had to remember the target word associated. Five episodic memory scores were taken into account: (1) The total number of words correctly recalled, (2) the number of words recalled and learnt with the “1” mental imagery or sentence strategy (deep-integrative), (3) the number of words recalled and learnt with the “2” shallow rote repetition strategy, (4) the efficiency of the deep strategy (number of words correctly recalled learnt with the deep-integrative strategy divided by the number of words learnt with this strategy), and (5) the efficiency of the shallow strategy (words correctly recalled learnt with the shallow strategy divided by the number of words learnt with this strategy). After the memory task, participants had a short rest and then took the other tests (executive tests, MMSE, HADS, Mill-Hill, VVIQ).

Executive functions

The Stroop test (Stroop, 1935) was used to assess inhibition. In the Stroop test, participants had to name the colors of crosses (XXX) on the B card. They also had to name the color in which a word was written (and to ignore the printed color word, like RED printed in BLUE) on the C card. They had 30 seconds per card. Scores were transformed into proportion scores (named inhibition index) for each participant as follows:
$$\frac{((\text{number of colors named in baseline condition}) - (\text{number of colors named in interference condition}))}{(\text{number of colors named in baseline condition})}$$
 (Li & Bosman, 1996). With this formula, the higher the score, the lower the inhibition capacity.

The Trail Making test (TMT; Reitan, 1958) was used to assess cognitive flexibility. It comprises two parts, A and B. In part A, participants have to connect digits in ascending order (25 items), and in part B, they have to alternately connect letters in alphabetical order and digits in ascending order (e.g., 1a2b3c, etc., 25 items, 12 letters and 13 digits). This test is considered to be a

valid measure of cognitive flexibility, rather than of processing speed or ability to maintain set (Kortte, Horner, & Windham, 2002). Performance was measured by the time taken to complete each part. A flexibility index was calculated using the following formula: (completion time part B – completion time part A). We choose this index because it is the more sensible and the more representative of the flexibility capacity (Drane, Yuseph, Huthwaite, & Klingler, 2002). The higher the score, the lower the flexibility capacity. Errors in this test were corrected (i.e., errors were immediately pointed out by the examiner) and contributed to the score, as they required additional time.

Results

First we analyzed the effect of age on each measure to ensure that the classical effect of cognitive aging profile currently found in the literature was found here, i.e, older adults have lower memory and executive scores than their younger counterparts. Thus, we performed *t* tests to compare the scores in the executive tests and in the episodic memory scores (recall, strategy use, strategy efficiency) of the young and the older adults.

After that, to analyse the relationship between episodic memory and executive functions in older adults, we calculated Bravais-Pearson correlations between the three executive tests used in this study and the total words recalled, the words recalled learnt with deep strategies, with shallow strategies, and the indexes of efficiency of deep and shallow strategies. Further, hierarchical regression analyses were conducted to explore which executive functions contributed the most to the variance in deep strategy efficiency and performance on recall of words learnt with deep strategies in older adults.

1. Effect of age on executive function and episodic memory

Performance in each score of executive functions and episodic memory measures for both groups are presented in Table 2.

Table 2: Means (and SD) of executive functions, the selection, the efficiency and the Cued-recall depending on the depth strategy (deep or shallow) and the total recall in each age group

	Young adults	Older adults	<i>t</i> (52)
Selection			
Deep	.22 (7.27)	.24 (6.36)	-1.11
Shallow	.79 (7.32)	.53 (6.42)	.98
Cued-recall			
Deep	18.78 (7.02)	14.80 (6.97)	1.97*
Shallow	4.94 (5.58)	2.75 (3.90)	1.78+
Total	23.72 (4.96)	17.55 (7.41)	3.18**
Efficiency			
Deep	.86 (.12)	.72 (.19)	3.47**
Shallow	.58 (.30)	.47 (.36)	1.93
Executive functions			
Inhibition	.33 (.09)	.47 (.10)	4.72***
Flexibility	32.01 (13.75)	59.44 (31.80)	3.48**

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$; $p = .09$

Note:

- Selection: Proportion of shallow and deep strategies that the participants told to have used
- Cued-recall deep encoding (mental imagery or sentence): number of words correctly recall learnt with deep encoding
- Cued-recall shallow encoding (rote repetition): number of words correctly recall learnt with shallow encoding
- Efficiency of deep encoding: Cued-recall of words learnt with deep strategy divided by the number of words learnt with deep strategy
- Efficiency of shallow encoding: Cued-recall of words learnt with shallow strategy divided by the number of words learnt with shallow strategy
- Inhibition: Stroop: lower scores associated to better inhibition capacities
- Flexibility: TMT: lower scores associated to better flexibility capacities

As it can be seen in the right part of Table 2, our data replicated the classical effect of aging. As expected, the younger and the older adults used the same proportion of deep and shallow strategies.

We confirmed the lower scores in episodic memory in the older adults who recalled significantly less words than the younger ones, in particular when these words had been encoded with the deep-integrative strategy. On the contrary, we failed to find any age-related effect on the number of words recalled and learnt with shallow encoding. We also confirmed that deep strategy efficiency was lower in the older adults than in the younger ones, by contrast to the shallow encoding efficiency, for which no age-related difference appeared. The classical effects of aging on executive functions were also replicated, because older adults had lower performance than the young adults in updating (N-back), inhibition index (Stroop) and flexibility (TMT).

2. Correlations between executive functions and episodic memory

The Bravais-Pearson correlations between executive functions, recall and strategy efficiency calculated in this study allowed us to better understand the link between these functions in older adults (see Table 3).

Table 3: Correlations between executive functions, the efficiency, the selection and the cued recall depending on the depth strategy (deep or shallow) and the total recall in older adults²

	<i>Selection</i>		<i>Cued-recall</i>			<i>Efficiency</i>	
	<i>Deep encoding</i>	<i>Shallow encoding</i>	<i>Deep encoding</i>	<i>Shallow encoding</i>	<i>Total cued recall</i>	<i>Deep encoding</i>	<i>Shallow encoding</i>
<i>Flexibility</i>	.37	.36	-.50**	.19	-.37*	-.41*	-.09
<i>Inhibition</i>	-.08	.07	-.40**	.15	-.29+	-.35*	.26

* : $p < .05$, ** : $p < .01$, *** : $p < .001$; +: $p = .08$.

Note:

- *Cued-recall deep encoding: number of words correctly recall learnt with deep encoding*
- *Cued-recall shallow encoding: number of words correctly recall learnt with shallow encoding*
- *Total cued-recall: total number of words correctly recall*
- *Efficiency of deep encoding: the Cued-recall of words learnt with deep strategy divided by the number of words learnt with deep strategy*
- *Efficiency of shallow encoding: the Cued-recall of words learnt with shallow strategy divided by the number of words learnt with shallow strategy*

First, we showed that the total cued recalled correlated negatively with the flexibility index and tended to correlate with the inhibition index, indicating that the smaller was the flexibility index (better flexibility competencies), the higher was the total number of words correctly recalled. In the same way, the smaller the inhibition index (better inhibition capacities), the higher the number of words cued recalled.

² Note: The same correlations were analyzed by controlling the educational level and the same results were obtained

Secondly, deep strategies correlated negatively with inhibition and flexibility, the more individuals had high inhibition and flexibility capacities the more they would use and recall words learnt with deep strategies. The same result was found with the efficiency of deep strategies which was correlated with inhibition and flexibility, suggesting that the more individuals had high inhibition and flexibility capacities, the more deep strategies were efficient. Data on shallow strategy were not correlated to executive functions.

These results confirmed the link between the recall of words in episodic memory and executive functions. Moreover, they showed for the first time that only the deep strategy efficiency was correlated to executive functions in older adults (here assessed with inhibition and flexibility tests).

3. Variables accounting for the Cued-recall of words learnt with deep encoding and the efficiency of deep encoding

Hierarchical regression analyses were conducted to determine which variables contributed the most to the variation in cued-recall of words learnt with deep encoding in the older group and to the strategy efficiency. In each regression analysis, the variables which correlated significantly with the number of words recalled and learnt with deep encoding and the efficiency of deep encoding were entered in the equation (inhibition and flexibility) at the same time, and they appear in decreasing order of reliability.

Analysis conducted on the cued-recall of words learnt with deep strategies showed that it was accounted for by the flexibility score, which explained 25% of the variance in cued recall ($p < .01$). Inhibition added a non-significant 5%. Thus, the cued recall of words learnt with deep strategies was mediated by flexibility capacities in older adults.

The same analysis conducted on the efficiency of deep encoding showed that the flexibility scores accounted for 17% ($p < .05$) of the variance in this index. Inhibition added a non-significant 5% (ns). Participants with the best flexibility capacities showed the higher deep encoding efficiency.

Discussion

The present study aimed at furthering our understanding of the relationship between deep efficient memory strategies and executive functioning in old age. Participants performed a memory task in which they had to indicate the strategy they used at encoding (deep-integrative strategy or shallow rote repetition strategy), before recalling the words (cued recall). The words recalled and learnt with these two kinds of strategy were taken into account, and an index of efficiency of each strategy was calculated. Moreover, executive functions were measured with inhibition and flexibility tests. Assessing individuals' executive functions enabled us to examine the contribution of these functions to memory strategy efficiency and memory performance. Before testing our main hypothesis, we ensured that the older adults' cognitive profile was consistent with that usually found in the literature, i.e., lower memory and executive scores in the older adults than in their younger counterparts. The data confirmed that it was the case. That is, young adults performed better than the older ones to the executive tests, in the inhibition assessed with the Stroop test (e.g., Houx, Jolles, & Vreeling, 1993), as well as for the flexibility assessed with the TMT (e.g., Tombaugh, 2004) and recalled more words. This result appeared for the total number of words recalled and for the words that have been learnt with the deep-integrative strategy, but not for the words that have been learnt with the shallow strategy. A significant effect of age appeared also on the strategy efficiency, especially for the deep strategy efficiency. However, no effect of age group appeared on the strategy selection, neither for the shallow strategy, nor for the deep strategy. That means that the older select as much each kind of strategy when they learn words as the younger ones. This result is in accord with that of Froger et al. (2012) who did not find age-related difference on the number of deep and shallow strategies selected inasmuch participants were told examples of strategies they could use to learn word-pairs. Thus, once the deep strategy is selected and executed, it is less efficient for the older individuals than for the younger ones. This is also consistent with the results of previous studies which had examined mental imagery efficiency (e.g., Tournier & Postal, 2011) and semantic strategy efficiency (Isingrini & Taconnat, 2004). Also, more originally, the present findings showed that only the recall of words learnt with the deep strategy and the deep strategy efficiency were correlated with the executive functions. Moreover, the regression analyses showed that although inhibition was correlated with the recall of words learnt with deep strategy and deep strategy efficiency, only the flexibility accounted for the variance in these measures. That highlights the importance of flexibility in executing correctly deep strategy and in benefiting from it at the moment of recall.

The novelty of this study was having highlighted the close contribution of executive functions in the recall of words learnt with deep strategies, and in the efficiency of deep strategies, i.e., the strategies, which gave rise to the better recall performance (2.75 words recalled and learnt with the shallow strategy vs. 14.80 words recalled and learnt with deep strategy, $t(36)=8.48$, $p<.0001$; in the other side, a proportion of .72 of deep strategies led to recall of such encoded word, while only a proportion of .19 of shallow strategy led to the recall of such encoded words). Indeed, significant correlations between these two measures and executive functions (inhibition and flexibility) have been found, indicating that the higher the executive capacities in the older adults, the better the performance in recall and the higher the efficiency. Note that these correlations did not appear significant neither for the number of words recalled and learnt with the shallow strategy, nor for the efficiency of this strategy. These results are in accord with those of previous studies which showed that deep encoding depends on control processes, as working memory, executive functions or attention (e.g., respectively Briggs et al, 1999; Burger et al., in press; Rabinowitz, Craik, & Ackerman, 1982). To sum-up, older adults present a low level in executive functions compared to the younger ones, efficiency of deep encoding is related to the level in executive functioning, and thus, efficiency of deep strategy is lower in the older adults than in their younger counterparts. Older adults used (selected) as much often the deep strategies as the younger adults, but their strategies were less efficient. To be efficient, the strategies have to be correctly executed. It is thus possible that the older adults execute less well the strategies than the younger ones, and that the flexibility capacity, lower in the older adults, would be specifically implicated in the quality of the executed strategies. Further research are necessary to understand the exact nature of this implication. Overall, these findings have important implications in our understanding of the contribution of the executive functions in memory tasks, and in the decline of memory performance in older adults.

Reference

Voir références bibliographiques en fin de thèse (page 235)

2. Expérience 6: Effet de transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif sur l'utilisation stratégique à l'encodage en mémoire épisodique chez des adultes âgés

Globalement, au cours du vieillissement, on observe une baisse des performances cognitives et plus précisément sur les tâches les plus difficiles, nécessitant le plus de contrôle (par exemple, les tâches de rappel libre, où peu d'aide externe est fournie). Les différences entre les adultes jeunes et âgés sont d'autant plus importantes que la tâche à effectuer nécessite la mise en place de stratégies d'encodage auto-initiées (Froger, Bouazzaoui, Isingrini & Taconnat, 2011). Ces difficultés peuvent être dues à un déficit d'initiation des stratégies de mémoire résultant d'une altération du contrôle exécutif (Taconnat, Raz, Toczé, Fay, Bouazzaoui & Isingrini, 2009). Cependant, la mise en œuvre de ces stratégies optimise les performances.

Actuellement, une des hypothèses prédominantes concernant les effets du vieillissement sur la cognition est l'hypothèse d'un dysfonctionnement exécutif. Celle-ci est basée sur l'observation d'une altération du cortex préfrontal. Cette région cérébrale sous-tend les fonctions exécutives. On peut définir les fonctions exécutives comme l'ensemble des processus permettant à un individu de réguler de façon intentionnelle sa pensée et ses actions afin d'atteindre des buts (Miyake et al., 2000). Les fonctions exécutives interviennent lorsqu'un individu est confronté à la nouveauté, ou doit réaliser une action habituelle, etc...). Elles ont pour rôle de permettre la production de réponses adaptées à des tâches en contrôlant et régulant les autres processus cognitifs impliqués dans ces tâches (Moscovitch & Winocur, 1992 ; 2002). Miyake et al. (2000) ont mis en évidence l'existence de trois fonctions exécutives spécifiques : l'inhibition, qui permet d'ignorer les informations pertinentes pour la tâche en cours, la mise à jour de la mémoire de travail, qui permet de conserver actives les informations utiles pour accomplir une tâche donnée, et la flexibilité cognitive, qui permet de passer facilement d'une tâche à l'autre. L'altération du cortex préfrontal engendre alors un déclin des fonctions exécutives. L'altération des fonctions exécutives est considérée comme un déterminant majeur du déclin cognitif dans le vieillissement normal (Rhodes, 2004; West, 1996). Cette hypothèse a été vérifiée dans plusieurs études qui ont notamment mis en évidence le fait que les effets de l'âge sur la mémoire sont médiatisés par le niveau exécutif. Par exemple, dans l'étude de Angel et al.

(2011), deux groupes contrastés ont été constitués : les personnes ayant de bonnes capacités exécutives et celles ayant un niveau exécutif plus faible. Les résultats ont montré que les individus âgés avec un haut niveau exécutif avaient des performances similaires à celles des jeunes adultes et que la différence liée à l'âge sur les performances de mémoire était réduite chez le groupe ayant un haut niveau exécutif.

Par conséquent, il est important d'explorer la possibilité de stimuler et d'améliorer ces fonctions, notamment chez les personnes âgées. La littérature sur l'entraînement de tâches exécutives a montré qu'il était possible d'améliorer les performances à des tâches exécutives chez des adultes jeunes et âgés et même parfois de réduire les différences liées à l'âge sur les performances obtenues à ces tâches (par exemple, Kramer, Hahn, & Gopher, 1999, pour la flexibilité). Cette expérience présentait trois objectifs. Dans un premier temps, l'objectif était de confirmer les résultats obtenus précédemment dans la littérature sur l'entraînement exécutif chez des adultes âgés. Il est possible en entraînant les fonctions exécutives d'augmenter le niveau exécutif et donc les performances à des tests exécutifs. Nous faisons l'hypothèse ici qu'en post test, les adultes âgés présenteront une amélioration des performances aux trois tests exécutifs : les Stroop test (inhibition), le N-back (mise à jour), le TMT (flexibilité) et le Wisconsin Card Sorting test (WCST, capacités exécutives globales). Pour s'assurer de mesurer l'effet spécifique de la stimulation cognitive, il est primordial de constituer des groupes « contrôles » actif, qui ne soient pas soumis à des exercices cognitifs. L'augmentation des performances entre les pré-tests et les post-tests devrait donc être plus importante dans le groupe entraîné que dans le groupe contrôle, ceci nous permettrait de confirmer que les améliorations résultent bien de l'entraînement exécutif et non pas d'un effet d'habituation aux tests (effet test –retest).

Compte tenu des effets du dysfonctionnement exécutif sur les performances cognitives des individus, il est intéressant d'analyser de quelle façon il serait possible d'améliorer les performances en mémoire en augmentant le niveau exécutif d'un individu. Des études ont montré que l'entraînement aux stratégies de mémoire permettait une amélioration des performances, mais qu'il n'y avait pas de bénéfice pour les tâches non entraînées (Craik et Rose, 2011 pour revue). D'autres études ont utilisé un entraînement des fonctions exécutives ce qui a permis d'améliorer les performances aux tâches entraînées ainsi qu'aux tâches exécutives non entraînées (Dahlin, 2008). Comme les études sur l'entraînement de la mémoire ont montré qu'il n'y avait pas d'impact sur les

performances d'autres tests de mémoire non entraînés, dans cette étude, nous avons voulu entraîner des fonctions qui interviennent en amont de la mémorisation. On s'attend à ce que l'entraînement des fonctions exécutives améliore le niveau en fonction exécutives et que ce bénéfice soit transférable à d'autres tâches non entraînées. L'entraînement de facteurs généraux agissant sur la mémoire (ici les fonctions exécutives) peut améliorer la mémoire par le biais de l'utilisation plus appropriée de stratégies mnésiques. Plus précisément, dans cette étude nous avons analysé les stratégies mise en place à l'encodage. Nous avons ainsi relevé différentes stratégies utilisées dans l'apprentissage de paires de mots correspondant à différents niveaux d'encodage : des encodages profonds mais plus difficiles à mettre en place (faire une image mentale ou une phrase avec la paire de mot), des encodages peu profond (répéter les mots pour les retenir) ou aucune utilisation de stratégie à l'encodage. Nous avons aussi relevé l'efficacité de chacune de ces stratégies en considérant les mots rappelés correctement. Ainsi, nous émettons l'hypothèse qu'avec l'amélioration des performances exécutives, les adultes âgés devraient augmenter l'utilisation de stratégies d'encodage profonde et donc efficace, on ne s'attend pas à des différences des profils stratégiques entre le pré-test et le post-test pour les adultes âgés du groupe contrôle, puisque le niveau exécutif ne devrait être que faiblement augmenté.

Le dernier objectif était de comparer les performances d'adultes âgés ayant été soumis à un entraînement exécutif avec celles d'adultes jeunes. La question est de savoir si le niveau exécutif atteint après entraînement peut se rapprocher de celui des jeunes adultes et ainsi diminuer les effets d'âge sur les performances exécutives, de vitesse de traitement et en mémoire épisodique.

Méthode

Participants

Vingt adultes jeunes âgés entre 20 et 40 ans ($M=27.88$, $ET=6.52$) et 40 adultes âgés entre 60 et 80 ans ($M=68.3$, $ET= 5.5$) ont participé à cette étude. Les adultes âgés ont été divisés en deux groupes : un groupe « entraîné » ayant participé à 8 sessions d'entraînement exécutif et un groupe « contrôle » ayant effectué 8 séances d'habituation. Les adultes jeunes n'ont participé qu'aux deux séances de pré-test, ce groupe étant utilisé pour avoir des niveaux cognitifs, exécutif et psychométriques de référence correspondant à un niveau optimal. Tous les participants âgés étaient

autonomes et vivaient à domicile. Ils étaient volontaires et ont été recrutés dans les clubs de loisirs et dans l'Université du troisième âge de Tours (France) ainsi que par affichage et voie de presse pour les participants jeunes. Tous les participants du groupe d'adultes âgés avaient un score supérieur ou égal à 27 au Mini Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) afin de minimiser le risque d'inclure des personnes atteintes de démence, deux adultes âgés entraînés et un adultes âgés dans le groupe habitude ont été exclue des analyses de cette étude puisque leurs scores au MMSE était inférieur à 27. Les personnes ayant des antécédents d'abus d'alcool, de lésions cérébrales ou prenant des médicaments susceptibles d'affecter leurs capacités cognitives ont été exclus de l'échantillon. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université de Tours (France), et tous les participants ont signé un formulaire de consentement éclairé. Les adultes n'ayant pas complété en entier l'expérience, c'est-à-dire toutes les séances d'entraînement ou d'habitude ainsi que les pré-tests et les post-tests pour les adultes âgés et les deux séances de pré-test pour les adultes jeunes, ont été exclues des analyses (deux adultes jeunes, un adulte âgé dans le groupe entraîné et deux dans le groupe habitude). La latéralité manuelle a été évaluée avec le questionnaire d'Edinburgh afin de n'inclure que des adultes droitiers (score supérieur à 0.90; Oldfield, 1971). Ce test a été utilisé dans cette étude car les études en EEG nécessitent l'inclusion d'individus droitiers uniquement. Il s'agit de 10 questions simples où les participants doivent dire quelle main ils utilisent pour faire certaines actions (exemple : se brosser les dents).

D : nombre d'actions réalisées avec le côté droit

G : nombre d'actions réalisées avec le côté gauche

Score de latéralité : $(D-G)/(D+G)$

Deux individus du groupe de jeunes adultes ont été exclus car ils avaient un score inférieur à .90 au score du questionnaire d'Edinburgh.

Tests de contrôle des facteurs secondaires

Le test de vocabulaire Mill-Hill (Raven, Court & Raven, 1986) a été administré à tous les participants et permet de contrôler les compétences verbales. Ce test consiste à identifier des synonymes de 34 mots cibles, parmi 6 propositions. Plus le score est élevé pour ce test et plus les compétences verbales sont importantes. Les compétences verbales sont prises en compte car elles sont susceptibles d'être impliquées dans la mise en place de stratégies de mémoire, et notamment la production de phrases. La capacité d'imagerie a été évaluée grâce au VVIQ (Visual Vividness

Imagery Questionnaire, Marks, 1973). Ce test consiste à indiquer sur une échelle en 4 points la qualité de l'image mentale que les participants peuvent produire à partir de différentes scènes proposées (par exemple, faire une image mentale d'une vitrine). Plus le score est élevé, meilleure est la capacité d'imagerie. Les compétences en imagerie mentale sont prises en compte car elles sont susceptibles d'être impliquées dans la mise en place de stratégies de mémoire, et notamment la production d'images mentales à partir de mots, qui est une stratégie de mémoire particulièrement efficace.

Mesures Psychoaffectives

Afin de s'assurer que les deux groupes expérimentaux étaient équivalents sur des mesures psychoaffectives, différents scores de tests mesurant l'estime de soi, l'anxiété et la plainte mnésique ont été relevés. En effet, ces variables psychoaffectives peuvent influencer les variables dépendantes, il est donc nécessaire que les groupes soient équivalents sur ces mesures pour s'assurer que seules les variables indépendantes font varier nos résultats.

L'échelle d'anxiété état et trait (State Trait Anxiety Inventory STAI, Spielberger, 1983) est un questionnaire d'auto-évaluation de l'anxiété d'état et d'anxiété de trait. Le test se compose de deux séries de 20 questions (anxiété d'état : première série et anxiété de trait : deuxième série)

- Première série de questions : Cette première série de questions est destinée à mesurer l'anxiété-état, c'est à dire l'état d'anxiété précis dans lequel se trouvent les sujets au moment où ils ont rempli le questionnaire.

- Deuxième série de questions : Cette deuxième série de questions est destinée à évaluer l'anxiété de trait, c'est à dire la tendance d'un individu à être plus ou moins anxieux, en général, indépendamment de la situation dans laquelle se trouve une personne.

L'échelle d'estime de soi (Rosenberg, 1979, traduit par Vallières et Vallerand, (1990) : l'estime de soi est définie par la valeur et le degré de compétence que nous nous attribuons. L'estime de soi peut avoir un impact sur ses propres performances. Pour ce test, on présente aux sujets des affirmations et les individus doivent donner sur une échelle de 1 à 4 si l'affirmation est « Tout à fait en désaccord » jusqu'à « Tout à fait en accord ». On attribue alors des points aux réponses. Plus la somme des points est élevée, plus le sujet a une haute estime de soi.

L'échelle de plainte mnésique (Mc Nair & Kahn, 1983) est un questionnaire dans lequel on présente des questions et les individus doivent donner une réponse sur une échelle de 0 à 3 si la réponse à la question est « jamais » (notation « 0 ») jusqu'à « la plupart du temps » (notation « 3 »). Plus la somme des points est élevée, plus le sujet présente des plaintes mnésiques importantes.

Les caractéristiques démographiques et psychométriques des groupes (Groupe entraîné vs. Groupe contrôle) sont présentées dans le Tableau I.

Tableau I : Moyennes et écart-types des variables démographiques et psychométriques des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des *F*s obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

	Adultes jeunes (N=16) H=6/F=10	Adultes âgés entraînés (N=17) H=6/F=11	adultes âgés contrôles (N=17) H=3/F=14	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				F(2,46)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>Age années)</i> (en	27,88 (6,52)	68,41 (6,26)	68,53 (5,21)	248.14***	377.05***	374.87***	<i>ns</i>
<i>Niveau d'étude</i>	14,71 (1,27)	13,53 (3,04)	12,69 (2,82)	<i>ns</i>			
<i>STAI A</i>	22,08 (10,38)	23,40 (9,93)	19,31 (15,28)	<i>ns</i>			
<i>STAI B</i>	23,50 (9,07)	30,38 (12,51)	21,00 (13,62)	<i>ns</i>			
<i>plainte mnésique</i>	15,67 (5,87)	17,60 (7,26)	16,07 (6,34)	<i>ns</i>			
<i>VVIQ</i>	49,00 (7,83)	49,35 (10,19)	52,07 (8,92)	<i>ns</i>			
<i>MMSE</i>	-	29,24 (0,90)	28,82 (1,19)	-	-	-	<i>ns</i>
<i>Vocabulaire</i>	22,33 (4,78)	27,82 (4,26)	26,88 (6,28)	5.0*	8.90**	6.11*	<i>ns</i>

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Les groupes d'adultes jeunes, âgés entraînés et âgés contrôles étaient équivalents sur toutes les mesures psychoaffectives. Les deux groupes d'adultes âgés présentaient un meilleur niveau de vocabulaire que les jeunes adultes, ces résultats sont couramment observés dans la littérature (Craik & Bialystok, 2006; Grégoire, 1993). En effet, le niveau de vocabulaire représente une compétence

qui ne cesse d'augmenter tout au long de la vie. Les deux groupes d'adultes âgés étaient équivalents sur cette variable.

Matériel et procédure

Mesures des fonctions exécutives

Les tests que nous proposons d'utiliser sont des tests qui permettent d'évaluer chacune des fonctions exécutives spécifiques décrites par Miyake et al. (2000).

Le test du Stroop (Stroop, 1935) sera utilisé pour mesurer la capacité *d'inhibition* des sujets. Ce test est composé de trois planches : la première planche A est composée de noms de couleurs écrits en noir (VERT, ROUGE, BLEU, JAUNE) que les sujets doivent lire le plus rapidement possible pendant 30 secondes, la deuxième planche B est composée de croix colorées (XXXX), les sujets doivent dire le plus rapidement la couleur des croix pendant 30 secondes et la planche C est composée de noms de couleurs écrits d'une couleur différente que le nom écrit (ex : BLEU), les sujets doivent dire la couleur dans laquelle est écrit le mot et non pas lire le nom de la couleur écrit. Ce test implique l'inhibition d'un mécanisme prédominant (ici, la lecture) afin de mettre en œuvre un processus moins automatique (ici, la dénomination de couleur). On calcule l'indice d'inhibition selon la formule suivante (Li & Bosman, 1996) : $[(\text{performance à la carte B} - \text{performance à la carte C}) / (\text{performances à la carte B})]$. Plus le score est élevé, moins les capacités d'inhibition sont importantes.

Le test de N-back permet d'évaluer les capacités de *mise à jour* des sujets (Kirchner, 1958). Ce test se compose d'une séquence de 27 lettres. Le sujet doit dire si « oui » ou « non » la dernière lettre donnée est la même que la deuxième lettre précédente cette dernière lettre. Les sujets doivent en permanence remettre à jour leur mémoire de travail. La mesure utilisée est le nombre total de réponses correctes.

Le Trail Making Test a été utilisé pour mesurer la capacité de *flexibilité cognitive*. Il est composé de deux parties. Dans la partie A, les participants doivent relier d'un trait des chiffres par ordre croissant (25 items). Dans la partie B, les participants doivent relier le plus rapidement possible alternativement les chiffres dans l'ordre croissant et les lettres dans l'ordre alphabétique en commençant par les chiffres (par exemple, 1a2b3c, etc., 25 items, 12 lettres et 13 chiffres). Ce test est considéré comme une mesure valide de la flexibilité cognitive (Kortte et al., 2002). Les erreurs réalisées au cours de ce test ont été corrigées (par exemple, en cas d'erreur signalée par

l'expérimentateur, le participant devait reprendre l'exercice au dernier item correctement traité) et contribuent au score de chacune des parties, puisque cela ajoute du temps au temps total d'une partie.). Le score de flexibilité a été calculée en soustrayant le temps nécessaire pour effectuer la partie B en entier par le temps nécessaire pour effectuer la partie A. Ce score a été utilisé dans cette étude car il est connu pour être le plus sensible et le plus représentatif des capacités de flexibilité cognitive (Drane, Yuseph, Huthwaite, & Klingler, 2002).

Le Wisconsin Card Sorting Test (WCST, Heaton, Chelune, Talley, Kay, & Curtiss, 1993) est classiquement considéré comme une mesure adaptée à l'évaluation du fonctionnement exécutif (Delis, Kaplan & Kramer, 2001). Il se présente sous la forme d'une tâche de classement de cartes sur la base de trois critères pertinents (la couleur, la forme et le nombre). Les participants effectuent un classement en fonction de l'une de ces trois catégories. Après dix réponses consécutives correctes, un feedback d'erreur est donné aux sujets qui doivent alors adapter leur comportement à cette information et en conséquence changer de critère de classement. Le test se termine lorsque les 48 cartes ont été utilisées. La variable dépendante prise en compte est le nombre d'erreurs persévératives (i.e., les erreurs où le participant continue à utiliser la même stratégie de classement malgré le feedback négatif de l'examineur).

Mesures de mémoire et stratégies d'encodage

Une liste de 30 paires de mots associées (mot indice et mot cible) a été utilisée dans cette expérience. Les mots utilisés sont les mêmes que ceux de l'étude de Froger et al. (2012). Six paires de mots supplémentaires ont été utilisés à titre d'exemples et ne sont pas inclus dans les analyses de l'étude. Le logiciel E-Prime (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) a été utilisé pour afficher toutes les instructions et les stimuli mais aussi pour enregistrer toutes les réponses au cours de l'expérience.

La procédure était composée de quatre phases: une phase consigne puis une phase d'exemple. Les participants ont été informés qu'ils leurs seraient présenté des paires de mots, que seul le second mot de la paire (mot cible) devait être appris, et que dans une deuxième phase, le premier mot de la paire serait à nouveau présenté pour aider le rappel du mot cible. La phase d'exemple a permis de s'assurer que les consignes et l'exercice ont été compris avant de passer à la phase d'apprentissage. Ensuite, lors de la phase expérimentale, les paires de mots étaient présentées une par une pour être apprises par le participant. Tous les participants ont pu étudier chaque paire de mots aussi longtemps

qu'ils le voulaient. Ils devaient appuyer sur une touche pour passer à la paire suivante mais ne pouvait pas revenir à l'élément précédent. De cette façon, les participants contrôlaient leur temps d'apprentissage, tous les participants avaient suffisamment de temps pour mettre en œuvre la stratégie de leur choix. En effet, certaines études ont montré que la stratégie d'imagerie mentale nécessite plus de temps pour être mise en place que d'autres comme la répétition (Paivio & Csapo, 1971; Plaie & Thomas, 2008). Les participants ont été informés qu'ils pouvaient utiliser la stratégie qu'ils voulaient parmi trois types de stratégies. Le premier (choix "1", l'encodage profond) consistait à faire une phrase ou une image mentale utilisant les deux mots de la paire, le second (choix "2", répétition, encodage superficiel) consistait à répéter les mots pour les mémoriser et le troisième choix correspond à utiliser aucune stratégie ou une autre stratégie que les deux premiers choix (choix "3", aucune ou autre). L'ordre des choix était aléatoire et changeait d'un participant à l'autre. Après chaque paire de mots étudiée, les participants devaient dire à voix haute la stratégie qu'ils avaient utilisée (1,2 ou 3), et la décrire précisément pour s'assurer que le choix identifié correspond à la stratégie utilisée par le participant. Aucune information sur l'efficacité de chaque stratégie n'a été fournie. A la fin de la phase expérimentale et avant la tâche de rappel indicé, les participants ont effectué une tâche interférente pendant 30 secondes (compte à rebours à voix haute). Cette étape était importante pour éviter tout effet de récence. La dernière phase de la tâche de mémoire correspondait au rappel indicé. Lors de cette phase, les mots indices étaient présentés à l'écran un par un, les participants devaient rappeler les mots cibles associés. Huit scores de mémoire épisodique ont été pris en compte: (1) le nombre total de mots correctement rappelé, (2) le nombre de fois où les stratégies d'encodage de type imagerie mentale ou phrases (profonde) a été utilisé, (3) le nombre fois où la stratégie de répétition (superficielle) a été utilisée, (4) le nombre fois où la stratégie « autre ou aucune » a été utilisée (5) le nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie profonde (6) le nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie superficielle (7) le nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie autre/aucune (8) l'efficacité de la stratégie profonde (nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie profonde divisé par le nombre de mots appris avec cette stratégie), et (9) l'efficacité de la stratégie superficielle (le nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie superficielle divisé par le nombre de mots appris avec cette stratégie). (10) l'efficacité de la stratégie autre/aucune (le nombre de mots correctement rappelés appris avec la stratégie autre/aucune divisé par le nombre de mots appris avec cette stratégie) Une fois la tâche de

mémoire effectuée, les participants ont effectué les autres tests cognitifs après une pause dans un ordre aléatoire (N-back, Stroop, TMT, WCST, MMSE, Mill-Hill, VVIQ, STAI, Mc Nair).

Mesures électrophysiologiques : potentiels évoqués : effet old/new (Expérience 7)

Deux séances ont été nécessaires pour effectuer les pré-tests et post-tests. La première séance avait pour objectif de mesurer les niveaux cognitifs et psychoaffectifs des individus ainsi que d'examiner l'utilisation de stratégies à l'encodage en mémoire épisodique. La deuxième séance avait pour objectif d'effectuer une tâche mnésique en EEG afin d'examiner l'activité cérébrale. Ces deux séances étaient donc effectuées en pré-test et en post-test. La méthodologie ainsi que les résultats de la deuxième séance (EEG) seront présentés dans le Chapitre suivant (Expérience 7).

Description des 8 séances d'entraînement ou d'habituation (60 minutes)

L'ordre de toutes les séances d'habituation et d'entraînement étaient interchangeables aléatoirement. Les séances entraînements étaient composées de tests classiques utilisés dans la littérature pour mesurer les fonctions exécutives et des tests créés et validés pour avoir suffisamment de tests par séance d'entraînements différents des tests exécutifs utilisés en pré- et post-tests. Les nouveaux tests utilisés sont ceux qui ont été présentés (tests de références et nouveaux tests validés) dans le Chapitre 2 et l'Etude 2.

Tableau II: organisation des séances d'expérimentation du groupe contrôle (habituatation)

Semaine 1	Pré-test	EEG (durée : 2h)
	Pré-test	Questionnaires psycho affectifs et cognitif, tests cognitifs (durée : 2h30)
Semaine 2	Habituatation 1	Visite du site, présentation de l'expérimentateur, présentation du groupe, réponses aux questions. (60 min)
	Habituatation 2	*Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60min)
Semaine 3	Habituatation 3	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
	Habituatation 4	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
Semaine 4	Habituatation 5	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
	Habituatation 6	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
Semaine 5	Habituatation 7	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
	Habituatation 8	Projection d'un reportage + questionnaire + discussion sur le thème (60 min)
semaine 6	Post-test	tests cognitifs (durée : 2h)
	Post-test	EEG (durée : 2h15)

*exemple de thématiques des reportages : le manque d'eau sur la terre, les nouvelles technologies, le monde marin...

Tableau III : organisation des séances d'expérimentation du groupe expérimental (entraîné)

Semaine 1	Pré-test	tests cognitifs (durée : 2h)
	Pré-test	EEG (durée : 2h15)
Semaine 2	Entraînement 1	Entraînement des 3 fonctions exécutives (60 min)
	Entraînement 2	Entraînement flexibilité (60min)
Semaine 3	Entraînement 3	Entraînement mise à jour (60 min)
	Entraînement 4	Entraînement inhibition (60 min)
Semaine 4	Entraînement 5	Entraînement flexibilité (60 min)
	Entraînement 6	Entraînement inhibition (60 min)
Semaine 5	Entraînement 7	Entraînement mise à jour (60 min)
	Entraînement 8	Entraînement des 3 fonctions exécutives (60 min)
semaine 6	Post-test	EEG (durée : 2h15)
	Post-test	tests cognitifs (durée : 2h)

Chacun des tests utilisés comportent deux versions. Les versions des tests effectués en pré-tests étaient différentes de ceux effectués en post-test, et chacune des versions était aléatoirement distribuée pour chacun des participants.

Dans les deux groupes d'adultes âgés, les gains liés à l'entraînement ou l'habituatation ont été calculés en soustrayant les scores obtenus aux pré-tests par les scores obtenus au post-test pour les tests où un score plus petit traduisait de meilleures capacités. A l'inverse, pour les tests dont les scores les plus importants étaient ceux traduisant de meilleures capacités, les gains étaient calculés en soustrayant les scores obtenus au post-test par ceux obtenus au pré-test pour chacun des individus.

Résultats comportementaux

Pour répondre à nos objectifs, afin de tester nos effets d'âge, des ANOVAs partielles à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôles) ont été calculées en pré-test sur les fonctions exécutives, la vitesse de traitement et les performances en mémoire épisodique. Ensuite, afin de tester les effets de l'entraînement, des ANOVAs à deux facteurs Condition (entraîné vs. contrôle) X Session (pré-test vs. post-test) ont été calculées chez les adultes âgés dans un premier temps sur les différentes mesures exécutives. Des ANOVAs à un facteur Groupe (entraîné vs. contrôle) ont ensuite été réalisées sur le gain pour chacun des tests exécutifs. Chacune des interactions significatives a été décomposée avec des comparaisons planifiées afin de mieux comprendre et expliquer le sens de ces interactions.

Afin d'analyser les effets de transfert des bénéfices de l'entraînement exécutif à d'autres tâches, nous avons ensuite effectué le même type d'ANOVA sur les scores de vitesse de traitement et sur le nombre total de mots rappelés. Nous avons ensuite effectué des ANOVAs à trois facteurs Condition (entraîné vs. contrôle) x Session (pré-test vs. post-test) x Encodage (profond vs. superficiel vs. autre/aucune) sur l'utilisation stratégique et sur l'efficacité stratégique.

Enfin, afin de tester l'évolution des effets d'âge en post tests, des ANOVAs partielles à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôles) ont été effectuées sur les performances aux tests exécutifs, au test de vitesse de traitement et sur les mesures de mémoire épisodique améliorés après l'entraînement pour les groupes d'adultes âgés.

1. Effet du vieillissement en pré-test

a) Effet de l'âge sur les fonctions exécutives et la vitesse de traitement en pré-test

Tableau IV: Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des *Fs* obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle).

	Adultes jeunes (N=16)	Adultes âgés entraînés (N=17)	adultes âgés contrôles (N=17)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				<i>F</i> (2,46)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>WCST</i>	6,93 (3,45)	17,06 (8,52)	16,76 (8,21)	9.91***	15.61***	14.72***	<i>ns</i>
<i>Inhibition</i>	0,33 (0,08)	0,46 (0,09)	0,47 (9,53)	12.43***	16.28***	21.40***	<i>ns</i>
<i>Flexibilité</i>	34,13 (12,44)	57,76 (24,11)	56,12 (38,34)	3.57*	5.85*	5.06*	<i>ns</i>
<i>Mise à jour</i>	24,73 (1,16)	22,71(2,42)	22,94 (3,36)	3.02*	5.14*	4.01*	<i>ns</i>
<i>Vitesse de traitement</i>	30,27 (5,35)	23,76 (4,07)	25,35 (7,40)	5.38**	10.05**	5.74*	<i>ns</i>

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Le Tableau IV représente les scores obtenus dans les trois groupes expérimentaux sur les scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement. Les ANOVAs à un facteur effectuées sur chacun des scores nous ont permis de confirmer que nos deux groupes d'âgés présentent des scores plus faibles que ceux des adultes jeunes sur chacune des variables exécutives et de vitesse de traitement. Ces effets d'âge sont couramment observés dans la littérature (*WCST* : Daigneault, Braun, & Whitaker, 1992 ; Haaland, Vranes, Goodwin, & Garry, 1987 ; *Inhibition* : Houx, Jolles, & Vreeling, 1993 ; Verhaeghen, & De Meersman, 1998 ; *Flexibilité* : Rasmusson, Zonderman, Kawas, & Resnick, 1998 ; Tombaugh, 2004 ; *Mise à jour* : Schmiedek, Li, & Lindenberger, 2009 ; Verhaeghen & Basak, 2005 ; *vitesse de traitement* : Salthouse, 1996 ; Salthouse, 2000). De plus, les deux groupes d'adultes âgés en pré-tests étaient équivalents en termes de niveau exécutif et de vitesse de traitement. Si l'entraînement s'avère bénéfique, l'équivalence des groupes nous permet d'affirmer que l'entraînement ne résulte pas de différence préexistante en pré-test.

b) Effet de l'âge sur les performances en mémoire épisodique en pré-test

Tableau V : Moyennes et écart-types de scores de mémoire épisodique obtenus dans les trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et les valeurs des F s obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

	Adultes jeunes (N=16)	Adultes âgés entraînés (N=17)	adultes âgés contrôles (N=17)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				$F(2,46)$	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>RI total</i>	25,20 (2,78)	19,65 (6,61)	19,94 (7,30)	4.01*	6.46*	5.80*	<i>ns</i>
<i>utilisation</i>	<i>encodage profond</i>	21,20 (7,01)	23,24 (5,11)	25,35 (7,67)	<i>ns</i>		
	<i>encodage superficiel</i>	5,13 (7,78)	5,76 (5,72)	3,88 (7,72)	<i>ns</i>		
	<i>autre ou aucune</i>	3,60 (4,24)	1,41 (2,81)	0,76 (1,60)	<i>ns</i>		
<i>RI</i>	<i>encodage profond</i>	18,67 (6,41)	15,41 (6,27)	16,59 (8,00)	<i>ns</i>		
	<i>encodage superficiel</i>	2,87 (3,62)	1,35 (2,42)	1,53 (2,27)	<i>ns</i>		
	<i>autre ou aucune</i>	3,67 (5,63)	2,88 (4,01)	1,82 (4,10)	<i>ns</i>		
<i>efficacité</i>	<i>encodage profond</i>	0,89 (0,09)	0,73 (0,20)	0,71 (0,24)	4.18*	5.57*	7.08*
	<i>encodage superficiel</i>	0,67 (0,33)	0,48 (0,35)	0,56 (0,41)	<i>ns</i>		<i>ns</i>
	<i>autre ou aucune</i>	0,76 (0,14)	0,40 (0,39)	0,74 (0,89)	<i>ns</i>		

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Le Tableau V représente les scores de mémoire épisodique obtenus par les trois groupes. Un effet du Groupe a été observé sur le Rappel indicé total $F(2,46) = 4.01$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .08$ dans le sens où les adultes jeunes rappelaient plus de mots que les adultes entraînés $F(1,46) = 6.46$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .12$ et que les adultes contrôles $F(1,46) = 5.80$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .11$, les deux groupes d'adultes âgés avaient des scores identiques. Aucun effet d'âge n'a été mis en évidence sur l'utilisation ou le rappel indicé des trois types d'encodage. Un effet d'âge était significatif sur l'efficacité de l'encodage profond

$F(2,46) = 4.18, p <.05, \eta_p^2=.08$, les adultes jeunes avaient un encodage profond plus efficace que les adultes âgés entraînés $F(2,46) = 5.57, p <.05, \eta_p^2=.11$ et contrôles $F(2,46) = 7.08, p <.05, \eta_p^2=.13$, les deux groupes d'âgés ne présentaient pas de différence sur l'efficacité de l'encodage profond en pré-test.

Cette première partie de résultats, grâce à la comparaison des trois groupes, nous a permis de confirmer qu'en pré-test (1) nos groupes d'adultes âgés présentaient un déficit cognitif couramment observé dans la littérature, (2) nos deux groupes d'adultes âgés présentaient le même profil cognitif avant les différentes sessions d'entraînement ou d'habituation.

2. Effet de l'entraînement exécutif sur les fonctions exécutives chez les adultes âgés

Les différents résultats obtenus aux trois tests exécutifs sont présentés dans le Tableau VI.

Tableau VI : Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs en post-test et les gains associés liés aux sessions d'entraînement ou d'habituation dans les groupes âgés entraînés et contrôle

	Adultes âgés entraînés (N=17)	Adultes âgés contrôles (N=17)
<i>WCST</i>	13,24 (5,32)	14,65 (4,97)
<i>Inhibition</i>	0,42 (0,07)	0,49 (0,11)
<i>Flexibilité</i>	44,53 (22,68)	44,53 (38,41)
<i>Mise à jour</i>	24,53 (2,07)	22,76 (3,54)
<i>Gain WCST</i>	3,82 (7,72)	2,12 (7,56)
<i>Gain inhibition</i>	57,34 (24,11)	55,63 (38,30)
<i>Gain flexibilité</i>	13,24 (22,11)	11,59 (32,42)
<i>Gain Mise à jour</i>	1,82 (2,10)	-0,18 (2,65)

Une ANOVA à deux facteurs Condition X Session a été calculée sur le Wisconsin Card Sorting Test. Les résultats ont indiqué un effet de la Session significatif $F(1,32)= 5.14, p<.05, \eta_p^2 =.14$, et

une absence d'effet significatif de la condition $F(1,32)=.08$, *ns* et d'interaction entre les deux facteurs $F(1,32)=.37$, *ns*. Ceci indique une amélioration des performances entre le pré-test et le post-test au WCST de même proportion chez les adultes âgés contrôles et entraînés. L'effet de la Session pour le score d'inhibition n'était pas significatif $F(1,32)=.42$, *ns*, ce qui signifie qu'entre les pré-tests et les post-tests, il n'y avait pas de différence significative sur le score d'inhibition. Il n'y avait pas d'effet de la Condition $F(1,32) = 2.55$, $p=.12$, $\eta_p^2 = .07$. L'interaction Condition X Session n'était pas significative $F(1,32)=2.27$, $p=.14$, $\eta_p^2 = .07$. Des comparaisons planifiées ont été effectuées tout d'abord dans chacune des conditions entraînés et contrôle afin d'explorer et de mieux comprendre les profils de nos deux groupes d'âgés, même si en temps normal l'absence d'interaction ne nous autorise pas à faire ces analyses. En effet, les effectifs de nos deux groupes sont assez faibles et pourraient expliquer que les effets ne sont pas significatifs mais présentent uniquement des tendances. Le pré-test et le post-test avaient tendance à être différents chez les adultes âgés entraînés $F(1,32)=2.76$, $p=.10$, alors qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les pré-tests et les post-tests chez le adultes âgés contrôles $F(1,32)=.22$, *ns*. Ceci indique que les adultes âgés entraînés ont tendance à avoir de meilleures capacités d'inhibition en post test qu'en pré- test, c'est-à-dire un indice d'inhibition inférieur. Les adultes âgés du groupe contrôle ne présentent pas de différences significatives entre les pré-tests et les post-tests sur l'indice d'inhibition. Des comparaisons planifiées ont ensuite été effectuées en comparant les adultes entraînés et les contrôles en pré-tests et en post-test. En pré-test, il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes d'adultes âgés $F(1,32) = .34$, *ns*, alors qu'en post-test les adultes âgés entraînés avaient un indice d'inhibition significativement inférieur aux contrôles $F(1,32)=4.58$, $p<.05$, $\eta_p^2=.13$ et donc de meilleures capacités d'inhibition.

Le même type d'analyse a été effectué sur le score de flexibilité. Il n'y avait pas d'effet significatif de la Condition $F(1,32)=.007$, *ns*, un effet significatif de la Session $F(1,32)=6.80$, $p<.01$, $\eta_p^2 = .18$ et l'interaction entre les deux facteurs était non significative $F(1,32)=.03$, *ns*. Ceci indique que les capacités de flexibilité ont été augmenté en post-test mais cette augmentation est de même proportion dans le groupe contrôle et dans le groupe entraîné.

Enfin une ANOVA à deux facteurs Condition (entraîné vs. contrôle) X Session (pré-test vs. post-test) a été effectuée sur le score obtenu au N-back. L'effet de la Condition était non significatif $F(1,32)=.07$, *ns*. L'effet de la Session était significatif $F(1,32)=4.03$, $p<.05$, $\eta_p^2 = .11$. L'interaction

Condition X Session était significative $F(1,32)= 5.95, p<.05, \eta_p^2 =.16$. Afin de mieux comprendre cette interaction, nous avons tout d'abord effectué des comparaisons planifiées entre les pré-tests et les post-tests dans chacune des conditions séparément. Il y avait une différence significative entre les pré- et les post tests dans le groupe d'adultes âgés entraînés $F(1,32)= 9.89, p<.01, \eta_p^2=.24$ alors que l'effet de la Session était non significatif dans le groupe contrôle $F(1,32) = .09, ns$. Ceci indique que contrairement au groupe contrôle, les adultes âgés entraînés ont significativement de meilleures performances au test N-back en post-test par rapport au pré-test. Nous avons ensuite effectué le même type de comparaisons planifiées mais en comparant les groupes entraînés et contrôles en pré-test et en post-test. Il n'y avait pas de différences significative en pré-test $F(1,32)= .05, ns$, en post-test les adultes âgés entraînés avaient tendance à avoir de meilleures performances au test N-back que les adultes âgés contrôles $F(1,32)= 3.15, p=.08, \eta_p^2=.08$.

Ces premières analyses nous ont permis de confirmer que l'entraînement a été efficace pour les tests du Stroop (tendance) et du N-back, indiquant que contrairement au groupe contrôle, le groupe entraîné présentait de meilleures capacités d'inhibition et de mise à jour en post-test qu'en pré-test. L'amélioration des performances au TMT et du Wisconsin Card Sorting Test résultait d'effet d'habituation puisque l'augmentation des performances entre les pré-tests et les post-tests est de même taille dans le groupe entraîné et dans le groupe contrôle.

2. Effet de transfert des bénéfices de l'entraînement exécutif

Les résultats précédents nous ont permis de mettre en évidence une certaine efficacité de l'entraînement des fonctions exécutives sur les capacités exécutives. L'objectif de cette deuxième partie était d'examiner les effets de transfert à des tâches cognitives plus éloignées notamment la vitesse de traitement, le rappel total de mots, le profil d'utilisation stratégique et l'efficacité stratégique. Les résultats obtenus par les adultes âgés entraînés et contrôles sont représentés dans le Tableau VII.

Tableau VII : Moyennes et Ecart-types des scores de vitesse de traitement et des performances en mémoire épisodique en post-test ainsi que les gains associés liés aux sessions d'entraînement ou d'habitation dans les groupes d'adultes âgés entraînés et contrôles.

	Adultes âgés entraînés (N=17)	adultes âgés contrôles (N=17)
<i>Vitesse de traitement</i>	26,71 (4,22)	25,76 (6,71)
<i>RI total</i>	21,65 (5,81)	19,29 (7,30)
<i>Utilisation</i>		
<i>encodage profond</i>	24,76 (4,29)	22,65 (6,99)
<i>encodage superficiel</i>	5,12 (4,39)	5,06 (7,39)
<i>autre ou aucune</i>	0,24 (0,75)	2,29 (4,27)
<i>RI</i>		
<i>encodage profond</i>	18,94 (5,52)	16,00 (7,72)
<i>encodage superficiel</i>	0,35 (0,61)	1,94 (2,86)
<i>autre ou aucune</i>	2,35 (2,62)	1,35 (3,12)
<i>Efficacité</i>		
<i>encodage profond</i>	0,78 (0,19)	0,73 (0,25)
<i>encodage superficiel</i>	0,45 (0,32)	0,19 (0,30)
<i>autre ou aucune</i>	0,58 (0,49)	1,39 (3,05)
<i>Gain Vitesse de traitement</i>	2,95 (2,95)	0,41 (4,47)
<i>Gain RI total</i>	2 (4,70)	-0,65 (4,39)
<i>Gain utilisation</i>		
<i>encodage profond</i>	3,77 (5,23)	-1,53 (4,60)
<i>encodage superficiel</i>	-0,65 (3,10)	1,18 (5,40)
<i>autre ou aucune</i>	-3,41 (5,35)	0,35 (5,29)
<i>Gain RI</i>		
<i>encodage profond</i>	3,53 (1,15)	-0,67 (1,12)
<i>encodage superficiel</i>	-0,53(0,69)	-0,44 (0,67)
<i>autre ou aucune</i>	-1 (0,81)	1,06 (0,78)
<i>Gain efficacité</i>		
<i>encodage profond</i>	0,05 (0,18)	0,03 (0,20)
<i>encodage superficiel</i>	-0,03 (0,18)	-0,31 (0,69)
<i>autre ou aucune</i>	0 (0,20)	0,83 (2,50)

De la même façon que pour les trois fonctions exécutives, une ANOVA à deux facteurs Condition X Session a été calculée sur les scores obtenus au test de comparaison de lettre XO mesurant la vitesse de traitement. L'effet de la Condition était non significatif $F(1,32)=.03, ns$, l'effet de la Session était significatif $F(1,32)=6.67, p<.05, \eta_p^2=.17$ ce qui signifie qu'en post-test, les scores étaient significativement supérieurs à ceux du pré-test pour le test mesurant la vitesse de traitement. L'interaction entre les deux facteurs n'était pas significative mais présentait une tendance $F(1,32)=3.79, p=.06, \eta_p^2=.11$. Des comparaisons planifiées ont été effectuées afin de mieux comprendre cette interaction tendancielle. Il y avait une différence significative entre le pré-test et post-test sur le score obtenu au test de vitesse de traitement chez le groupe d'adultes âgés entraînés $F(1,32)=10.25, p<.01, \eta_p^2=.24$ alors que cette différence était non significative chez les adultes âgés contrôles $F(1,32)=.20, ns$. Les comparaisons planifiées comparant les groupes entraînés et contrôles en pré-test $F(1,32)=.60, ns$ et en post-test $F(1,32)=.24, ns$ étaient non significatives sur le test de vitesse de traitement. Ces résultats nous indiquent que seul le groupe entraîné a amélioré ses performances au test du XO entre le pré-test et le post-test.

De la même façon une ANOVA a été effectuée sur le score au rappel indicé, c'est-à-dire le nombre total de mots rappelés correctement. L'effet de la Condition était non significatif $F(1,32)=.21, ns$, l'effet de la Session était non significatif $F(1,32)=.75, ns$, l'interaction entre les deux facteurs présentait une tendance $F(1,32)=2.88, p=.09, \eta_p^2=.08$. Afin d'examiner la tendance de cette interaction, des comparaisons planifiées ont été effectuées entre les pré-tests et les post-tests dans le groupe entraîné et dans le groupe contrôle. Les adultes âgés entraînés avaient tendance à augmenter leur performance au rappel libre entre les pré- et post-tests $F(1,32)=3.27, p=.07, \eta_p^2=.09$ alors que les adultes contrôles ne présentaient pas d'effet significatif de la Session $F(1,32)=.34, ns$. De la même façon les adultes âgés entraînés et les adultes âgés contrôles ont été comparés en pré-test et en post-test. Les deux groupes d'âgés étaient équivalents en pré-test $F(1,32)=.01, ns$ et en post-test $F(1,32)=1.08, ns$. La progression du nombre de mots rappelés entre les pré-tests et les post-tests dans le groupe d'adultes âgés entraînés n'est pas assez importante pour présenter un effet significatif de l'entraînement.

Afin d'analyser la modification des profils stratégiques dans chacun des groupes entraînés et contrôle, des ANOVAs à trois facteurs Condition (entraîné vs. contrôle) X Session (pré-test vs. post-

test) X Encodage (profond vs. superficiel vs. aucun) ont été effectuées sur l'utilisation stratégique, sur le rappel de mots en fonction de chacune des stratégies utilisées et sur l'efficacité stratégique.

La première ANOVA à trois facteurs effectuée calculée sur l'utilisation stratégique indique que l'effet de la Session et l'effet de la Condition étaient non significatifs. L'effet de l'Encodage était significatif $F(2,64)=106.3, p<.001, \eta_p^2=.77$ indiquant que les adultes âgés utilisent significativement plus les stratégies profondes (images ou phrases) que la stratégie superficielle (répétition) $F(1,64)=81.80, p<.001, \eta_p^2=.56$ ou qu'une autre encodage $F(1,64)=320.35, p<.001, \eta_p^2=.83$. L'utilisation de l'encodage superficiel et d'un autre encodage ou d'aucun encodage ne présentait pas de différences significative $F(1,32)=3.43, ns$. L'effet de la Session $F(1, 32)=.09, ns$ et l'interaction entre la Session et la Condition $F(1,32)=.09, ns$ étaient non significatifs. L'interaction entre l'Encodage et la Session était non significative $F(2,64)=1.73, ns$ L'interaction entre la Session, la Condition, et l'Encodage était significative $F(2,64)=5.40, p<.01, \eta_p^2=.15$. Des comparaisons planifiées ont été effectuées afin d'expliquer cette double interaction d'abord dans chacun des groupes et pour chacun des types de stratégie. Dans le groupe d'adultes âgés entraînés, entre le pré-test et le post-test, il y avait une différence significative pour l'utilisation de l'Encodage profond $F(1,32)=9.95, p<.01, \eta_p^2=.24$ et pour l'utilisation de l'encodage de type « autre ou aucun » $F(1,32)=6.99, p<.05, \eta_p^2=.18$, dans le sens où ils augmentaient en post-test l'utilisation de l'encodage profond et diminuaient l'utilisation d'une autre ou d'aucune stratégie. Il n'y avait aucune différence significative entre les pré- et post tests sur l'utilisation de la stratégie superficielle $F(2,64)=.37, ns$. Dans le groupe contrôle, il n'y avait aucune différence entre les pré-tests et les post-tests dans l'utilisation des trois stratégies (stratégie profonde $F(2,64)=1.64, ns$; stratégie superficielle : $F(2,64)=1.21, ns$; aucune ou autre stratégie : $F(2,64)=.07, ns$). D'autres comparaisons planifiées ont été effectuées afin d'analyser les différences entre les groupes entraînés et contrôles et entre chacune des stratégies en pré-test puis en post test. En pré-test, les groupes étaient équivalents en termes d'utilisation stratégique, ils utilisaient le même nombre de stratégies profondes $F(1,32)=1.62, ns$, de stratégies superficielles $F(1,32)=.65, ns$ et d'absence de stratégie ou autre $F(1,32)=.83, ns$. En post-test, les adultes âgés entraînés utilisaient significativement moins la stratégie autre et aucune que les adultes contrôles $F(1,32)=4.58, p<.05, \eta_p^2=.13$. L'utilisation des deux autres stratégies était équivalente en post-test entre les groupes entraîné et contrôle (profondes : $F(1,32)=1.50, ns$; superficielle : $F(1,32)=.007, ns$). Ces résultats nous indiquent que seuls les profils d'utilisation stratégique des adultes âgés entraînés

ont été modifiés, ils utilisent plus de stratégies d'encodage profond mais cette amélioration n'est pas assez importante pour les différencier du groupe d'âgés contrôles en post-test. Les adultes âgés entraînés diminuent leur utilisation de stratégies moins efficaces de type aucune ou autre comparativement aux adultes âgés contrôles. L'utilisation stratégique et l'efficacité de ces stratégies sont deux choses distinctes, ce n'est pas parce qu'une stratégie est utilisée qu'elle est efficace. Ainsi le même type d'analyse a été effectué sur le rappel de mots en fonction des stratégies utilisées, pour étudier si en plus d'augmenter l'utilisation des stratégies profonde, le nombre mots rappelés peut être amélioré grâce à un entraînement exécutif.

Ainsi une ANOVA à trois facteurs effectuée sur le rappel de mots en fonction de la stratégie utilisée à l'encodage indique que l'effet de la Session et l'effet de la Condition était non significatif (respectivement : $F(1,32)=5.50$, *ns* et : $F(1,32)=.52$, *ns*). L'effet du type de stratégie était significatif $F(2,64)=122.92$, $p<.001$, $\eta_p^2 =.79$ indiquant que les mots appris avec les stratégies profonde sont mieux rappelés que les mots appris avec une superficielle $F(1,32)=146.06$, $p<.001$, $\eta_p^2=.82$, ou appris sans stratégie ou avec une autre $F(1,32)=102.01$, $p<.001$, $\eta_p^2=.76$. La seule interaction significative est celle entre les trois variables $F(2,64)=40$, $p<.01$, $\eta_p^2 =.12$. Afin d'explorer cette interaction, des comparaisons planifiées ont été effectuées dans chacune des deux conditions (entraînée vs. contrôle) pour chacune des stratégies entre le pré-test et le post-test. Dans le groupe entraîné, le nombre de mots rappelés appris avec la stratégie profonde augmentait significativement entre le pré- et le post-test $F(1,32)=9.42$, $p<.01$, $\eta_p^2=.23$, les mots rappelés correctement, encodés avec les deux autres stratégies ne différaient pas significativement (mots rappelés appris avec la stratégie superficielle $F(1,32)=1.54$, *ns* et la stratégie autre ou aucune $F(1,32)=.59$, *ns*). Dans le groupe contrôle, il n'y avait aucune différence significative entre le pré-test et le post-test sur le nombre de mots rappelés en fonctions des trois types de stratégie (stratégie profonde $F(1,32)=.35$, *ns* ; stratégie superficielle $F(1,32)=1.81$, *ns* et stratégie autre ou aucune $F(1,32)=.44$, *ns*). En pré-test, les deux groupes entraînés et contrôles ne présentaient aucune différence significative sur le nombre de mots rappelés en fonction de chacune des stratégies (stratégie profonde $F(1,32)=.03$, *ns*; stratégie superficielle $F(1,32)=.04$, *ns* et stratégie autre ou aucune $F(1,32)=.73$, *ns*). En post- test, le groupe d'adultes entraînés rappelaient significativement plus de mots appris avec les stratégies profondes par rapport au groupe contrôle $F(1,32)=5.02$, $p<.05$, $\eta_p^2=.14$. Les deux groupes ne différaient sur le nombre de mots

rappelés appris avec la stratégie superficielle $F(1,32)=1.63$, *ns* et la stratégie autre ou aucune $F(1,32)=1.25$, *ns*.

Les résultats de l'ANOVA à trois facteurs Condition 2 (entraîné vs. contrôle) X Session 2 (pré-test vs. post-test) X Stratégie 3 (profonde vs. superficielle vs. autre/aucune) sur l'efficacité stratégique ne présentaient aucun effet significatif.

Ces résultats nous ont permis de mettre en évidence que les bénéfices liés à un entraînement des fonctions exécutives peuvent être transférés à des tâches de mémoire épisodique par l'augmentation de l'utilisation de stratégies d'encodage profond et du rappel de mots appris avec cette stratégie. L'absence d'effet significatif dans le groupe contrôle nous a permis de nous assurer que ces effets ne sont pas dus à une habitude aux tests mais à un effet de l'entraînement exécutif.

Enfin, pour mieux appréhender les effets qualitatifs de l'entraînement, le pourcentage d'individus progressant entre le prétest et le post-test sur les différentes mesures analysées précédemment a été calculé, ces résultats sont présentés dans le Tableau VIII.

Tableau VIII : Pourcentage d'individu ayant progressé entre le pré-test et le post-test dans le groupe entraîné et dans le groupe contrôle

	RI total	Utilisation Stratégique			Rappel indicé			Fonctions exécutives		
		Profond	Superficiel	autre/aucune	Profond	Superficiel	autre/aucune	Inhibition	N-back	Vitesse de traitement
Entraînés	58,82%	76,47%	23,53%	5,88%	64,71%	23,53%	5,88%	76,47%	70,59%	82,35%
Contrôles	41,17%	29,41%	41,18%	17,65%	23,53%	17,65%	29,41%	52,94%	41,18%	64,71%

On observe dans le Tableau VIII que le pourcentage d'individus ayant progressé entre le pré-test et le post-test est plus important (> à 70%) dans le groupe entraîné alors que dans le groupe contrôle pour la majorité des variables, le pourcentage d'individus progressant entre les pré-tests et les post-tests est plus faible. Le pourcentage des individus ayant progressé est significativement différents entre les adultes âgés entraînés et contrôles pour l'utilisation ($p<.01$) et le rappel indicé ($p<.05$) de la stratégie profonde (inhibition ($p=.11$), N-back ($p=.08$) et vitesse de traitement (*ns*)).

1. Effet du vieillissement en post-test
 - a) Effet de l'âge sur les fonctions exécutives et la vitesse de traitement en post-test

Tableau IX: Moyennes et Ecart-types des scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement des trois groupes : jeunes, âgés entraînés et âgés non entraînés et valeurs des *F*s obtenues grâce aux ANOVAs à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

	Adultes jeunes (en pré-test) (N=16)	Adultes âgés entraînés (N=17)	adultes âgés contrôles (N=17)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				<i>F</i> (2,46)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>WCST</i>	6,93 (3,45)	13,24 (5,32)	14,65 (4,97)	11.96***	14,33***	21.47***	ns
<i>Inhibition</i>	0,33 (0,08)	0,42 (0,07)	0,49 (0,11)	12.26***	7.68***	24.49***	5.06*
<i>Flexibilité</i>	34,13 (12,44)	44,53 (22,68)	44,53 (38,41)	ns			
<i>Mise à jour</i>	24,73 (1,16)	24,53 (2,07)	22,76 (3,54)	3.09*	ns	4.93*	4.22*
<i>Vitesse de traitement</i>	30,27 (5,35)	26,71 (4,22)	25,76 (6,71)	2.89 (<i>p</i> =.06)	ns	5.28*	ns

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Le Tableau IX représente les scores obtenus dans les trois groupes expérimentaux sur les scores obtenus aux tests exécutifs et de vitesse de traitement. Les ANOVAs à un facteur effectuées sur chacun des scores exécutifs (partie droite du Tableau IX) nous permettent d'observer que pour le WCST, les effets d'âge sont les mêmes que ceux observés en pré-tests, avec des performances inférieures (indiquant de meilleures capacités exécutives) pour les jeunes adultes que pour les deux groupes d'adultes âgés. Concernant les performances au test d'inhibition, les adultes jeunes présentent toujours des scores inférieurs (meilleures capacités d'inhibition) à ceux des deux groupes d'âgés. Cependant, en post-test, les adultes âgés entraînés présentent des capacités d'inhibition supérieures à celles des adultes âgés contrôles. L'effet du Groupe en post-test sur les capacités de flexibilité cognitive n'était plus significatif, indiquant que les scores obtenus au TMT étaient équivalents dans les trois groupes. Les effets d'âge n'étaient plus présents dans le groupe d'adultes

âgés entraînés sur les scores obtenus au N-Back puisqu'en post-test, les scores obtenus au N-back ne différaient pas entre les groupes de jeunes adultes et d'adultes âgés entraînés. De plus, les adultes âgés entraînés présentaient des scores significativement supérieurs à ceux du groupe d'adultes âgés contrôles. Enfin, les scores obtenus par les adultes âgés entraînés au test de vitesse de traitement n'étaient pas significativement différents de ceux des jeunes adultes et des adultes âgés du groupe contrôle. Ces derniers avaient des performances au test mesurant la vitesse de traitement significativement inférieures à celles des adultes jeunes.

L'entraînement exécutif a permis de diminuer (capacités d'inhibition) voire d'annuler (capacités de mise à jour et vitesse de traitement) les effets d'âge sur les performances aux tests mesurant les fonctions exécutives et de vitesse de traitement. Il est possible de noter que les effets de tests re-tests observés sur les performances au Trail Making Test ont permis d'annuler les effets d'âge sur les capacités de flexibilité pour les deux groupes d'adultes âgés.

b) Effet de l'âge sur les performances en mémoire épisodique en post-test

Tableau X : Moyennes et écart-types des scores de mémoire épisodique obtenus dans le groupe d'adultes jeunes en pré-test et les deux groupes d'adultes âgés en post-test : âgés entraînés et âgés non entraînés, et valeurs des *F*s obtenues dans les ANOVAs à un facteur (Groupe : jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)

	Adultes jeunes (pré-test) (N=16)	Adultes âgés entraînés (N=17)	adultes âgés contrôles (N=17)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				<i>F</i> (2,46)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>RI total</i>	25,20 (2,78)	21,65 (5,81)	19,29 (7,30)	4.29*	ns	8.52***	ns
<i>Utilisation</i>							
<i>profond</i>	21,20 (7,01)	24,76 (4,29)	22,65 (6,99)	<i>ns</i>			
<i>superficiel</i>	5,13 (7,78)	5,12 (4,39)	5,06 (7,39)	<i>ns</i>			
<i>autre ou aucune</i>	3,60 (4,24)	0,24 (0,75)	2,29 (4,27)	3.25*	5.73*	ns	3.73*
<i>RI</i>							
<i>profond</i>	18,67 (6,41)	18,94 (5,52)	16,00 (7,72)	<i>ns</i>			
<i>superficiel</i>	2,87 (3,62)	0,35 (0,61)	1,94 (2,86)	<i>ns</i>			
<i>autre ou aucune</i>	3,67 (5,63)	2,35 (2,62)	1,35 (3,12)	<i>ns</i>			
<i>Efficacité</i>							
<i>profond</i>	0,89 (0,09)	0,78 (0,19)	0,73 (0,25)	<i>ns</i>			
<i>superficiel</i>	0,67 (0,33)	0,45 (0,32)	0,19 (0,30)	5.33**	ns	10.39**	4.09*
<i>autre ou aucune</i>	0,76 (0,14)	0,58 (0,49)	1,39 (3,05)	<i>ns</i>			

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Le Tableau X présente les scores de mémoire épisodique obtenus par le groupe d'adultes jeunes en pré-test et les deux groupes d'adultes âgés en post-test. Des ANOVAs à un facteur (Groupe) ont été calculées sur chacun des scores de mémoire épisodique (partie droite du Tableau X) en post-test. Un effet de Groupe a été observé sur le Rappel indicé total dans le sens où les adultes jeunes rappelaient plus de mots que les adultes âgés contrôles. Les adultes âgés entraînés ne présentaient pas de différence significative au score de rappel indicé avec les adultes âgés contrôles et les adultes jeunes. Les adultes âgés entraînés utilisaient significativement moins l'encodage de type autre ou aucune en comparaison avec les adultes jeunes et les adultes âgés contrôles qui ne différaient pas entre eux. L'effet de Groupe était significatif sur l'efficacité de la stratégie superficielle, indiquant que l'efficacité de la stratégie superficielle était comparable chez les adultes âgés entraînés et les

adultes jeunes en pré-test, cette stratégie était significativement moins efficace chez les adultes âgés entraînés en post-test en comparaison avec ce qui a été observé chez les adultes jeunes en pré-test.

Ainsi, les bénéfices de l'entraînement exécutif ont permis de réduire (Rappel Indiqué) et même d'annuler (efficacité de l'encodage superficiel) les effets d'âge dans le groupe d'adultes âgés entraînés en post-test.

Discussion

L'objectif de cette étude était de confirmer les effets d'un entraînement exécutif sur le niveau exécutif d'adultes âgés et d'examiner les transferts des bénéfices liés à l'entraînement sur d'autres fonctions cognitives, notamment la vitesse de traitement, la mise en place de stratégies de mémoire efficaces, et les performances en mémoire épisodique. Pour cela un groupe d'adultes âgés a été soumis à 8 sessions d'entraînement exécutif et ce groupe a été comparé à un autre groupe d'adultes âgés effectuant des séances d'habituation moindre en stimulation cognitive et à des adultes jeunes effectuant uniquement les pré-tests. Les niveaux exécutifs, de vitesse, et mnésiques (stratégies et performances) ont été mesurés avant et après les sessions dans chacun des groupes.

Les résultats de cette étude ont confirmé la possibilité d'améliorer le niveau exécutif des adultes âgés grâce à des sessions d'entraînement exécutif (Dahlin et al., 2008 ; Karbach & Kray, 2009; Kramer et al., 1999 ; Li et al., 2008 ; Kramer et al., 1999). En effet, les adultes âgés entraînés présentent une amélioration de leurs performances au test du N-back mesurant la mise à jour et au test du Stroop mesurant l'inhibition (tendance). Cette amélioration est plus importante que l'effet test-retest observé dans le groupe contrôle. La passation successive d'un même test engendre des améliorations de performances à ce même test (Buck, Atkinson, & Ryan, 2008 ; McComb et al., 2011 ; Kramer, Hahn, & Gopher, 1999 ; Kramer, Hahn, & Gopher, 1999 ; Karbach & Kray, 2009 ; Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013 pour la flexibilité et voir Expérience 1 de cette thèse; Davidson, Zacks, & Williams, 2003 ; Davidson, Zacks, & Williams, 2003 ; Dulaney & Rogers, 1994 ; Rogers & Fisk, 1991 pour l'inhibition et voir l'Expérience 2 de cette thèse ; Shing, Schmeidek, Lödvén, & Lindenberger, 2012 pour la mise à jour). Nous avons observé une amélioration des performances de type effet test-retest pour le Trail Making Test (TMT) mesurant la flexibilité ainsi que pour le Wisconsin Card Sorting Test mesurant les capacités exécutives en général. En effet, les performances

à ces deux tests sont les mêmes dans le groupe contrôle et dans le groupe entraîné. Les fonctions exécutives peuvent donc être réhabilitées grâce à un entraînement, ce qui confirme la possibilité, chez les adultes âgés de modifier leur niveau exécutif et de s'améliorer. Ces observations sont en accord avec l'hypothèse de la plasticité cognitive chez les adultes âgés. La plasticité est définie par la potentielle modification des habilités cognitives et cérébrales d'un individu (Baltes, 1987; Lödvén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010; Kliegl & Baltes, 1987, Karbach & Verhaeghen, 2014). Les effets de transfert des bénéfices de l'entraînement à d'autres tâches cognitives différentes de celles entraînées confirment cette plasticité cognitive dans le vieillissement.

Conclusion du Chapitre 3

Les bénéfices de l'entraînement exécutif ont d'une part été transférés à une autre tâche de contrôle cognitif, la vitesse de traitement, mesurée par le test de comparaison de lettre XO. En effet, les adultes entraînés ont amélioré significativement leur performance, contrairement aux adultes âgés contrôles. D'autre part, le transfert des bénéfices a été obtenu sur les performances en mémoire épisodique notamment sur l'utilisation et l'efficacité des stratégies d'encodage. Les adultes âgés entraînés, après le programme de stimulation exécutive, ont augmenté significativement leur utilisation des stratégies d'encodage profondes de type image mentale ou phrase. De plus, au-delà d'utiliser plus de stratégies d'encodage profond, les adultes âgés entraînés ont amélioré l'efficacité de ces stratégies. Ceci signifie que les adultes âgés sont capables d'améliorer leur adaptation stratégique dans une tâche de mémorisation à travers l'utilisation de stratégies plus efficaces. Afin d'évaluer les modifications des effets de l'âge après l'entraînement, le niveau exécutif et mnésique en pré et post tests des deux groupes d'adultes âgés a été comparé avec celui d'adultes jeunes présentant un niveau exécutif optimal. L'objectif de ces comparaisons était de montrer que les différences liées à l'âge attendues, significatives en pré test, devaient diminuer en post test, en particulier pour les adultes âgés entraînés. Nos résultats ont mis en évidence une diminution des effets de l'âge sur certaines mesures, qui étaient améliorées par l'entraînement exécutif. En effet, le groupe d'adultes âgés entraînés, même s'il présente toujours des différences significatives avec le groupe d'adultes jeunes, diffère en post-test du groupe contrôle alors que ces deux groupes étaient équivalents en pré-test, notamment pour les mesures de la capacité d'inhibition et de mise à jour de la mémoire de travail.

Pour la première fois, nous avons pu montrer que les bénéfices d'un entraînement exécutif pouvaient être transférés à l'utilisation de stratégies efficaces ainsi qu'aux performances à une tâche de mémoire épisodique. Dans cette étude, des effets de transfert proches et éloignés de la tâche entraînée ont été observés. Une des limites de ces études est l'absence d'analyse d'effet de transfert à long terme comme il l'a été fait dans d'autres études (e.g., Borella et al., 2014). En effet, pouvoir vérifier que ces effets puissent se maintenir à long terme et dans les actes de la vie quotidienne est important, car l'objectif de la réhabilitation cognitive est le maintien dans le temps des bénéfices acquis pour une meilleure qualité de vie à travers de meilleures capacités cognitives et donc une meilleure adaptation de ses comportements à une tâche à effectuer.

Chapitre 4 : Entraînement exécutif et plasticité
cérébrale : utilisation de
l'électroencéphalographie pour explorer les
processus cérébraux sous-jacent aux bénéfices
liés à un entraînement exécutif

Dans le chapitre précédent, les résultats obtenus nous ont permis d'observer qu'il était possible d'améliorer les performances en mémoire épisodique chez des adultes âgés grâce au transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif. L'objectif de ce quatrième chapitre est d'examiner l'évolution de l'activité cérébrale des individus après un entraînement exécutif afin d'identifier si cette amélioration des performances est observable en terme d'activité cérébrale. De plus, cette Expérience 7 a pour objectif d'essayer de comprendre si l'amélioration des performances au niveau comportemental résulte de processus de compensation (activation de nouvelles zones cérébrales) et/ou de processus d'optimisation (augmentation de l'activité cérébrale de zones déjà actives en pré-test).

1. *Expérience 7 : Entraînement exécutif et activité cérébrale : analyse descriptive des potentiels évoqués de l'effet old/new chez des adultes jeunes, âgés entraînés et âgés contrôles*

1. Principe de l'EEG et méthode des potentiels évoqués

La technique utilisée dans ce travail de thèse pour étudier l'activité cérébrale associée à la mémorisation est la méthode d'Electroencéphalographie (EEG) mise au point par Hans Berger (1929). Cette technique a été créée suite à un constat fait par Galvani (1788), selon lequel tous les organes vivants engendrent de l'électricité, et notamment le cerveau. L'activité électrique cérébrale est produite par l'activité des neurones. En effet, la transmission d'un signal (potentiel d'action) dans le système nerveux se fait via les synapses au niveau des neurones. Ce potentiel d'action va engendrer la sécrétion de neurotransmetteurs au niveau de la fente synaptique, ce qui va provoquer l'ouverture des canaux ioniques post-synaptiques. Les canaux ioniques ouverts vont permettre l'entrée dans la cellule de cations, la membrane post synaptique va alors subir une dépolarisation. Un courant électrique va alors se créer dans la cellule elle-même (courant primaire) et à l'extérieur de la cellule (courant secondaire). L'activité électrique mesurée par l'EEG à la surface du scalp grâce à des électrodes correspond à des courants post-synaptiques très faibles. Les signaux EEG étant très faibles, ils sont augmentés de façon considérable grâce à des amplificateurs. L'enregistrement est ensuite converti en signal numérique. La somme des activations cérébrales est enregistrée, il est donc essentiel que l'activité des neurones enregistrée soit synchrone, ce qui est le cas des cellules pyramidales. Pour enregistrer l'activité électrique, des électrodes sont placées à la surface du scalp

selon le système international 10/20 pour la pose d'électrodes de surface (Jaspers, 1958). Le nombre d'électrodes est très variable, il peut aller de quelques électrodes à plus de 200 électrodes. Chaque électrode présente une position sur le scalp bien définie par rapport à sa proximité avec des régions cérébrales distinctes (pariétale, frontale, temporale, occipitale, centrale) mais aussi par rapport à l'hémisphère auquel il est rattaché (hémisphère droit : chiffre impair, hémisphère gauche : chiffre pair). L'activité enregistrée sur le scalp est le produit de l'activation de la zone sous-jacente mais pas uniquement, une électrode de référence est placée sur des zones où théoriquement il n'y pas de signal. L'activité de cette électrode sera soustraite à celle enregistrée par les autres électrodes. Pour diminuer la résistante induite par le scalp (impédance), un gel conducteur est placé au niveau de chacune des électrodes.

Une des méthodes utilisées pour mettre en évidence des processus cérébraux grâce à l'EEG est la méthode des potentiels évoqués (PE, Davis, 1939). Cette méthode repose sur l'activité bioélectrique engendrée par des stimulations sensorielles et /ou motrices. Ainsi les potentiels évoqués se superposent à l'activité EEG standard (activité spontanée). C'est pour ces raisons que ce type de technique nécessite un moyennage de beaucoup d'événements (essais) successifs, car en raison de leur petite taille, ils sont noyés dans le bruit de fond de l'EEG standard. Avec cette technique du moyennage (les données enregistrées au cours des essais d'une même condition expérimentale sont sommées puis divisées par le nombre d'essais ; Dawson, 1954), seuls les changements de potentiel temporellement corrélés avec le stimulus émergent du bruit de fond. Cependant, pour éviter d'inclure des artefacts qui biaiserait les moyennes, avant d'effectuer ces moyennages, les événements présentant un artefact sont retirés de l'analyse. Ils peuvent résulter de contractions musculaires, de mouvements corporels ou encore de clignements des yeux. Il existe cependant des procédures de correction pour éliminer ces artefacts, comme par exemple celle de la correction des mouvements oculaires (Gratton, Coles, & Donchin, 1983). Les Potentiels évoqués cognitifs (Event related potentials, ERPs) sont donc le reflet d'un traitement mis en place, lié à la réaction physiologique en lien avec la stimulation. Ils constituent des indices physiologiques d'une activité psychologique particulièrement intéressants pour étudier la dynamique séquentielle des opérations mentales, comme au moment des différentes phases de la mémorisation (encodage et récupération).

Dans cette étude, la phase de récupération a été analysée grâce à l'effet *old/new* qui est un indicateur de la qualité de la récupération en mémoire d'une information. En effet, on observe une

activité cérébrale différente lors de la présentation d'un item ancien et d'un item nouveau : à partir de 400 ms après la présentation du stimulus (indice de récupération ou mot à reconnaître), les potentiels évoqués par des items anciens présentent une déflexion positive par rapport aux potentiels évoqués par les items nouveaux dans les régions frontales et pariétales. Les différentes caractéristiques de l'effet *old/new* sont modifiées avec l'âge : en effet la latence est souvent plus tardive chez les adultes âgés (Friedman & Johnson, 2000 ; Friedman et al., 2007), l'amplitude de l'effet est réduite (Senkfor & Van Pettern, 1998 ; Trott et al., 1999 ; Wegesin et al., 2002), en particulier pour la composante pariétale et frontale tardive et enfin, la topographie de l'effet est en général plus symétrique chez les adultes âgés, en particulier pour les adultes âgés qui présentent un haut niveau de réserve (Angel, Fay, Bouazzaoui, Baudouin, & Isingrini, 2010) ou un haut niveau exécutif (Angel, Fay, Bouazzaoui, & Isingrini, 2010). Par ailleurs, d'après une étude récente (Angel et al., 2011) dont nous avons repris le protocole, il semblerait que le niveau exécutif des participants âgés détermine les possibilités de réorganisation cérébrale (plus grande symétrie des effets lorsque le niveau exécutif est élevé) qui vont permettre de réduire les effets d'âge sur la mémoire (les participants âgés qui présentent les effets *old/new* les plus symétriques sont également ceux qui ont les meilleures performances de mémoire).

L'objectif de cette expérience était d'analyser l'évolution de l'effet *old/new* au cours du vieillissement en analysant cet effet dans un groupe d'âgés entraînés, en pré-test et suite à l'entraînement exécutif comparativement à des groupes contrôles d'adultes jeunes (évalués une seule fois) et d'adultes âgés effectuant des séances d'habituation (pré- et post-tests). Dans cette étude, des résultats préliminaires uniquement seront présentés afin de caractériser les effets obtenus dans chaque condition expérimentale séparément.

Population

Les individus jeunes et âgés testés dans l'Expérience 6 ont également réalisé une épreuve de rappel indicé par des trigrammes, pendant laquelle le signal EEG était enregistré. Cependant certains participants avaient trop peu d'évènements (en pré- et post-tests) pour être inclus dans ces analyses EEG. Ainsi, dans cette étude, 11 adultes jeunes, 10 adultes âgés entraînés et 10 adultes âgés contrôles ont été inclus. Les caractéristiques des trois groupes de cette étude sont présentées dans le Tableau I.

Tableau I : Moyennes et écart-type des caractéristiques des participants ayant obtenu suffisamment d'évènements pour être inclus dans les analyses EEG dans chacun des trois groupes jeunes, âgés entraînés et âgés contrôles.

	Adultes jeunes (N=11)	Adultes âgés entraînés (N=10)	Adultes âgés contrôles (N=10)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôles)			
				<i>F</i> (2,32)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
Age	26,64 (5,37)	68,80 (6,68)	67,40 (4,70)	218,2***	315,82***	294,86***	<i>ns</i>
Niveau d'étude	14,80 (1,48)	11,60 (2,55)	13,70 (2,91)	5,70**	11,29**	<i>ns</i>	4,39*
Mill Hill	21,45(5,16)	27,50 (3,95)	28,50 (2,51)	8,39**	6,66**	13,59***	<i>ns</i>
MMSE		29,40 (0,97)	28,90 (1,10)	-	-	-	<i>ns</i>

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$; *ns* : non significatif

Les sujets jeunes avaient un niveau d'étude supérieur aux adultes âgés entraînés, les adultes âgés entraînés avaient un niveau d'étude inférieur au adultes âgés contrôles, les adultes jeunes et âgés contrôles avaient un niveau d'étude équivalent. Cependant les deux groupes d'adultes âgés avaient un niveau de vocabulaire comparable mais supérieur à celui des jeunes adultes. De plus, les deux groupes d'adultes âgés ont obtenu des scores équivalents au MMSE.

Matériel et procédure

La deuxième séance de pré-test consiste à effectuer une épreuve de mémoire épisodique avec en même temps des enregistrements EEG. La procédure utilisée est la même que celle utilisée dans une étude précédente réalisée par Angel et al. (2011).

Cette expérience est composée de trois blocs apprentissage/test. Pour cela, 3 listes de 60 mots ont été constituées. Chaque liste est composée de 3 sous-listes de 20 mots (2 listes sont présentées à l'encodage et la troisième sert au moment du rappel à fournir des indices permettant la production de mots nouveaux). Les différentes sous-listes ont été contrebalancées de façon à ce qu'elles servent aussi souvent dans chaque condition (*old* vs. *new*). Toutes les listes étaient composées de mots présentant la même fréquence d'utilisation dans la langue, chaque trigramme formé pouvait être

complété après au moins 5 mots et tous les trigrammes étaient différents, ainsi tous les mots étaient composés de trois premières lettres différentes.

Un bloc apprentissage test se déroule de la façon suivante. Lors de la phase d'apprentissage, les participants ont pour consigne de mémoriser une série de 40 mots cibles présentés visuellement sur un écran d'ordinateur en vue d'un test de mémoire ultérieur. Ils doivent également réaliser un jugement de concrétude sur chacun des mots puisque cela permet de s'assurer de la réalisation d'un traitement sémantique au moment de l'encodage afin que les performances de rappel indicé soient suffisamment bonnes pour pouvoir exploiter les données EEG et les moyenner dans chaque condition (*old* et *new*). Ainsi à chaque apparition de mot, le participant doit dire à voix haute « concret » ou « abstrait ». Une tâche interférente de comptage à rebours est ensuite proposée après chaque phase d'apprentissage pendant 30 secondes pour éviter les effets de récence.

La phase test consiste en une tâche de rappel indicé par des trigrammes de mots (3 premières lettres, exemple : COM__ pour « COMMISSION »). Ces indices proviennent de mots présentés lors de l'apprentissage (40 trigrammes) et de mots nouveaux non étudiés (20 trigrammes). La tâche des participants est d'essayer de compléter chaque trigramme par un mot précédemment étudié ou, s'ils n'y parviennent pas, par un nouveau mot commençant par ces trois lettres. De plus, après avoir produit un mot, ils doivent juger s'il correspond à un mot ancien présent lors de l'apprentissage ou à un mot nouveau. Ce jugement permet de différencier les mots rappelés explicitement (de façon consciente) de ceux qui sont rappelés implicitement (de manière non consciente).

Le système d'acquisition utilisé pour les relevés électroencéphalographiques (EEG) est *BrainVision*. A chaque fois, les données EEG sont recueillies à l'aide d'un casque comprenant 62 électrodes disposées sur le scalp selon les localisations standardisées définies par le système international 10-20 (Jasper, 1958). Un gel conducteur est placé au niveau de chaque électrode, afin de diminuer la valeur des impédances (résistance).

L'EEG est enregistré en référence aux deux mastoïdes reliées entre elles. Deux électrodes placées en dessous et au-dessus de l'œil droit et deux électrodes placées au niveau de la partie latéro-externe de l'œil gauche et l'œil droit permettent de repérer les mouvements oculaires verticaux et horizontaux (EOG = électrode oculaire gauche). Les artefacts liés aux mouvements oculaires sont corrigés grâce à un algorithme de Gratton et al. (1983). Les essais contaminés par d'autres artefacts ou présentant des dérivations sont rejetés avant le moyennage. Les potentiels évoqués par la

présentation de l'indice de récupération sont calculés séparément pour deux catégories d'items : les racines de mots correctement complétées par un item appris et reconnu comme étant un mot préalablement appris (items anciens : « *old* ») et les racines de mots complétées par un mot non étudié et correctement rejeté et donc identifié correctement comme un nouveau mot (items nouveaux : « *new* »).

Résultats

Effet de l'entraînement sur les données comportementales

Tableau II : moyennes et écart-types du nombre de mots correctement rappelés (items *old* : mots produits et reconnus) dans les trois groupes

	Adultes jeunes (N=11)	Adultes âgés entraînés (N=10)	Adultes âgés contrôles (N=10)	ANOVA Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôle)			
				<i>F</i> (2,32)	Jeunes vs. âgés entraînés	jeunes vs. âgés contrôles	âgés entraînés vs. âgés contrôles
<i>old pré-test</i>	40,73 (10,98)	34,10 (6,76)	30,80 (12,34)	2,96 +	2,44 (<i>p</i> =.12)	5,46*	<i>ns</i>
<i>old post-test</i>	-	35,8 (6,44)	37,40 (11,05)	<i>ns</i>			

* : $p < .05$; ** : $p < .01$; *** : $p < .001$

Une ANOVA à un facteur Groupe (jeunes vs. âgés entraînés vs. âgés contrôles) a été effectuée afin de tester les effets d'âge sur les scores au rappel indicé en pré-test et post-test (en comparant les scores de adultes jeunes en pré-test avec ceux obtenus en post-test chez les adultes âgés entraînés et les adultes âgés contrôles). En pré-test, l'effet du groupe présentait une tendance à la significativité $F(2.32) = 2.97$, $p = .06$, $\eta_p^2 = .16$. Des comparaisons planifiées ont montré que les adultes jeunes présentent un score de rappel significativement supérieur aux adultes âgés contrôles $F(1.32) = 5.46$, $p < .05$, il n'y a pas de différences significative entre les scores des adultes jeunes et âgés entraînés $F(1.32) = 2.44$, $p = .12$ ainsi qu'entre les adultes âgés entraînés et contrôles $F(1.32) = .50$, *ns*. En post-test pour les groupes d'adultes âgés comparés au pré-test des adultes jeunes, l'effet du groupe (jeunes

pré-test vs. âgés entraînés post-test vs. âgés contrôles post-test) était non significatif sur le rappel de mots anciens correctement identifiés comme ancien $F(2,32) = .81, ns$, indiquant aucune différence entre les scores des jeunes au pré-test et ceux des adultes âgés entraînés et contrôles en post-test.

Afin de tester l'effet de l'entraînement dans nos deux groupes d'adultes âgés, une ANOVA Condition (entraînés vs. contrôles) x Session (pré vs. post) a été calculée uniquement dans les deux groupes d'adultes âgés sur les items *old*. L'effet de la condition était non significatif, l'effet de la Session présentait une tendance $F(1,18) = 3.84, p = .06, \eta_p^2 = .18$, indiquant que les scores ont tendance à être supérieurs en post-test par rapport à ceux obtenus au pré-test. L'interaction n'était pas significative.

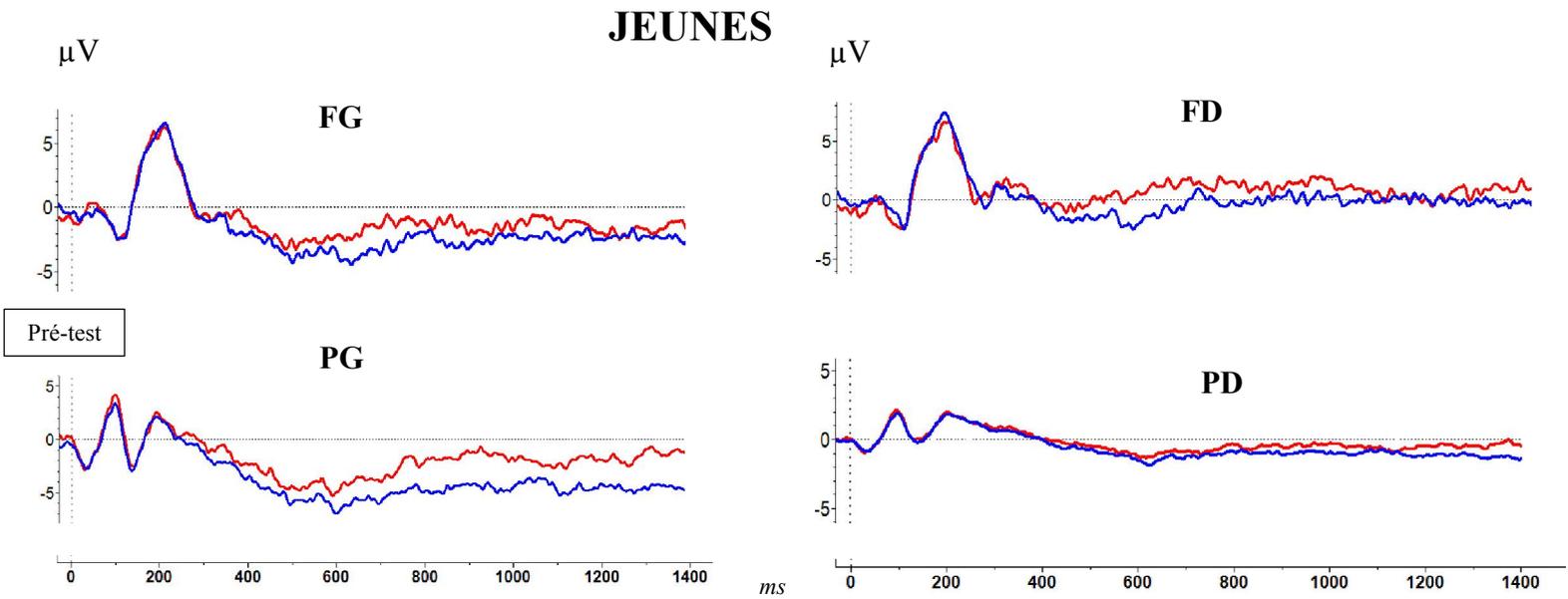
Au niveau comportemental, les données nous ont indiqué qu'un effet d'âge était présent sur le rappel indicé (item *old*) entre les jeunes adultes et les adultes âgés contrôles, il n'y avait pas de différence entre les adultes âgés entraînés et les jeunes adultes ($p = .12$). Les deux groupes d'adultes âgés étaient équivalents en pré-test. Les données ne permettent pas d'identifier des effets spécifiques de l'entraînement exécutif. Ces résultats sont cependant à prendre avec précaution puisqu'à cause des contraintes qu'impose l'EEG, les effectifs sont faibles. Les bénéfices obtenus en termes de performance exécutive suite à l'entraînement exécutif des adultes âgés dans l'Expérience 6 ne se répercutent pas sur les performances à la tâche de mémoire épisodique faite en EEG. La différence de niveau d'étude entre nos trois groupes peut aussi engendrer des biais sur nos résultats. Un effet d'âge a été observé uniquement entre les jeunes adultes et les adultes âgés contrôles. Bien qu'aucun effet spécifique de l'entraînement n'ait été observé, nous avons tout de même souhaité présenter les effets *old/new*, de façon très exploratoire, dans le but d'examiner l'évolution des effets *old/new* dans chacun de nos groupes expérimentaux. En effet, des différences liées à l'âge ou à l'entraînement exécutif pourraient émerger au niveau cérébral sans induire de différence au niveau des performances comportementales.

Résultats électrophysiologiques

Comme les ondes étudiées sont des ondes lentes qui ne présentent pas de pic net, des analyses de l'amplitude moyenne ont été utilisées pour tester les différences d'amplitude entre les potentiels évoqués par les mots anciens et nouveaux dans les différentes conditions expérimentales. Cette analyse prend en compte l'amplitude moyenne des potentiels évoqués (intégration de l'amplitude au cours du temps) par rapport au niveau de référence, dans une fenêtre temporelle donnée. Les

potentiels évoqués (PEs) ont été analysés en séparant les items *old* correctement complétés et identifiés comme anciens et les items *new* correctement complétés et identifiés comme nouveaux, dans chacun des groupes (jeunes en pré test, âgés entraînés et âgés contrôles en pré et en post tests). Le nombre d'évènements minimum pour chacun des individus était de 10 pour être inclus dans les analyses des résultats. Les effectifs de nos trois groupes dans cette étude exploratoire limitent la puissance statistique et l'interprétation de nos résultats. Nous avons donc analysé séparément les effets *old/new* dans chaque condition expérimentale. Ainsi, ces résultats sont préliminaires et doivent être interprétés avec précaution. Les fenêtres temporelles et les électrodes d'intérêt ont été choisies sur la base, d'une part de l'inspection visuelle des tracés et d'autre part, des données rapportées dans la littérature (Angel et al., 2010). Les effets *old/new* ont été analysés sur les fenêtres temporelles suivantes : 300-500ms, 500-700ms, 700-1000ms et 1000-1400 ms. Les grandes moyennes des PEs ainsi obtenus sont représentées dans la Figure 1 ainsi que les topographies des effets *old/new* dans la Figure 2.

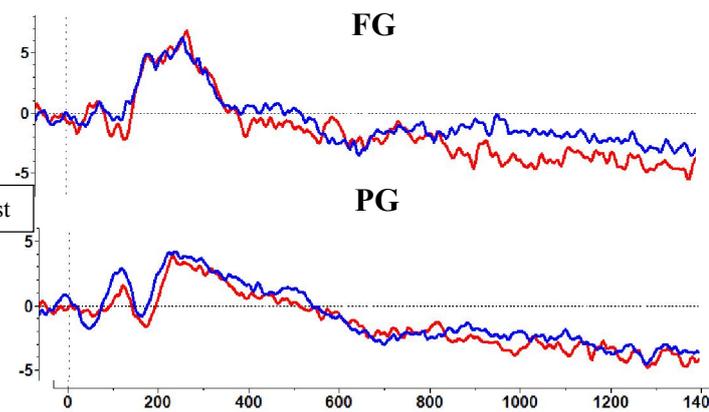
Figure 1: Grandes moyennes des potentiels évoqués associés aux items *old* et *new* au niveau frontal gauche et droit (FG et FD) et pariétal gauche et droit (PG et PD) uniquement en pré-test chez les adultes jeunes et en pré-test ainsi qu'en post-test dans les deux groupes d'adultes âgés (entraînés vs. contrôles)



* FG = Frontal Gauche
 FD = Frontal Droit
 PG = Pariétal Gauche
 PD = Pariétal Droit

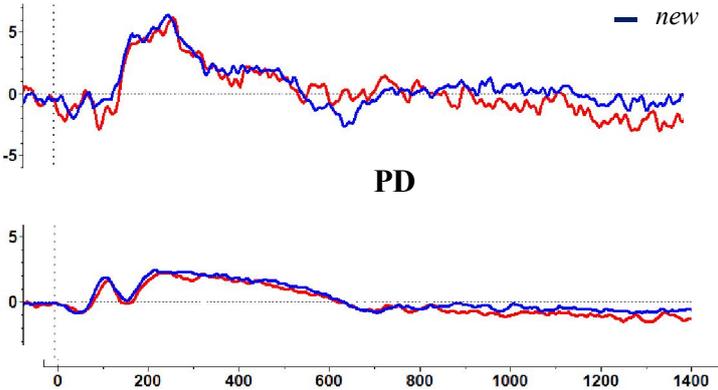
μV

AGES CONTROLES

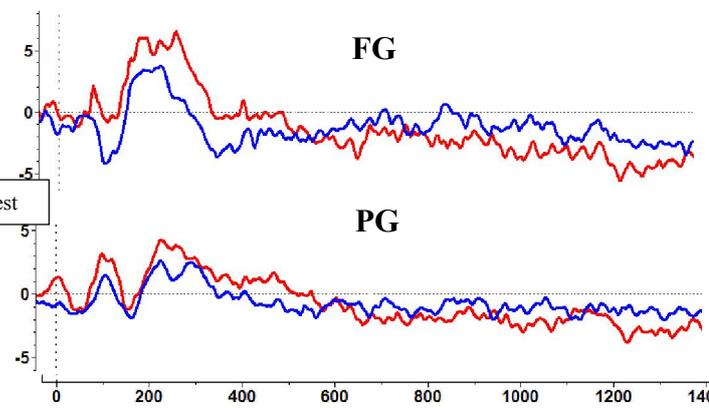


μV

FD

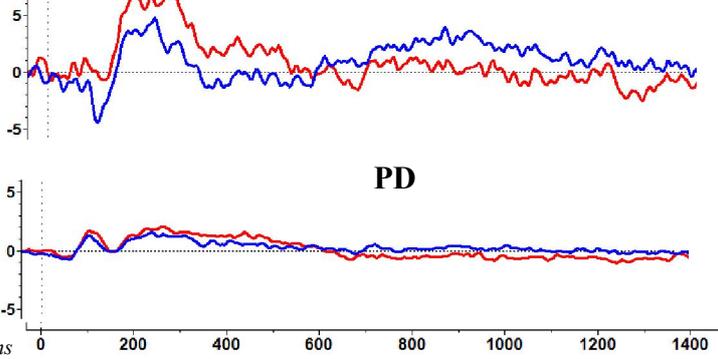


old
new

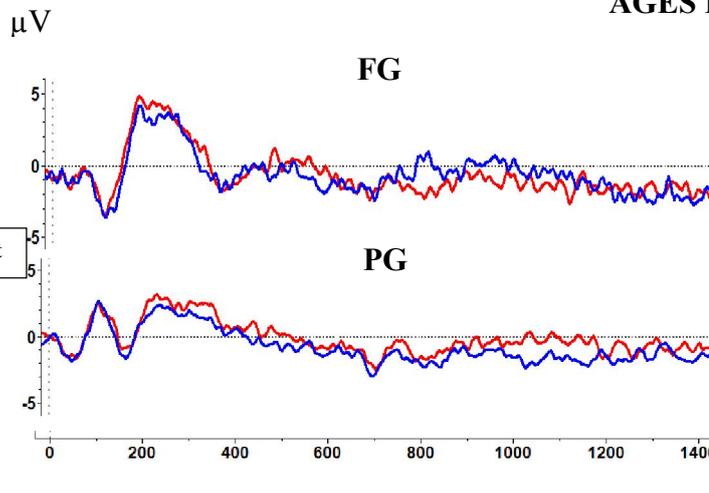


μV

FD

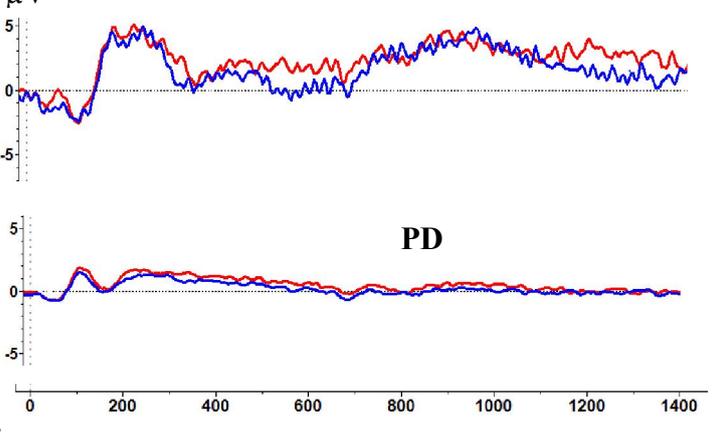


AGES ENTRAINES



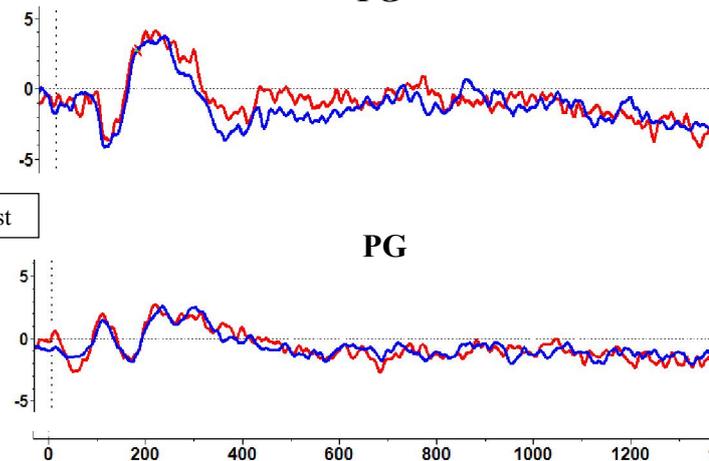
μV

FD



μV

FG



μV

FD

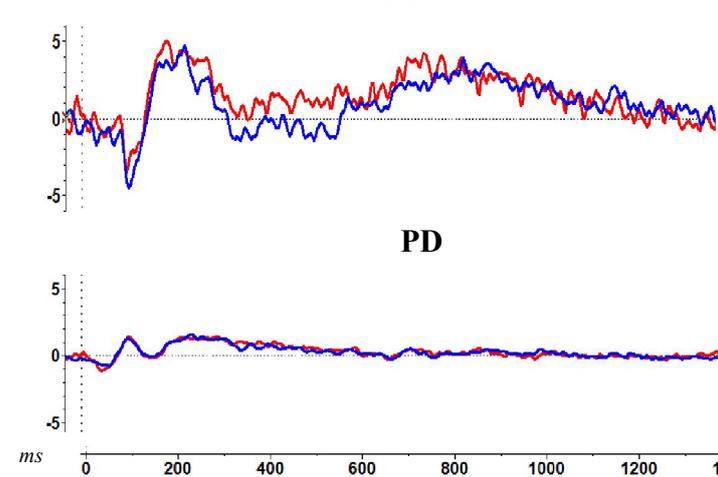


Figure 2 : Topographie des cartes représentant les différences moyennes d'activité électrique entre les items *old* et *new* (effet *old/new*) uniquement en pré-test chez les adultes jeunes et en pré-test et post-test chez les adultes âgés (entraînés et contrôles) au niveau frontal gauche et droit et pariétal gauche et droit entre 300 et 500ms, entre 500 et 700 ms, entre 700 et 1000 ms et entre 1000 et 1400 ms.

-1.5 μ V 0 μ V 1.5 μ V

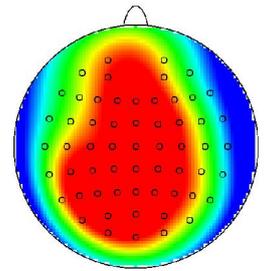
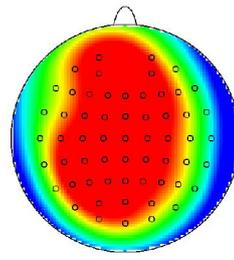
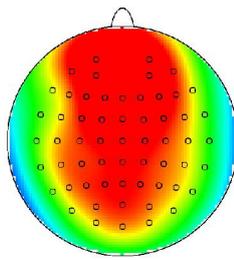
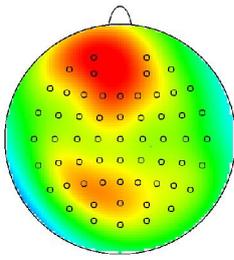
300-500

500-700 ms

700-1000 ms

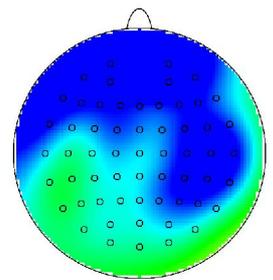
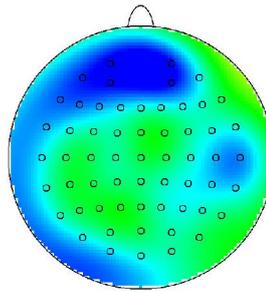
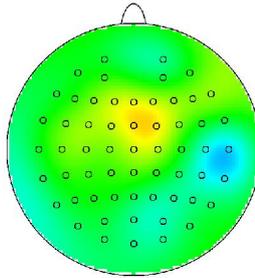
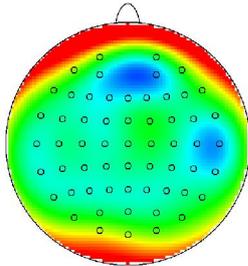
1000-1400 ms

Pré-test



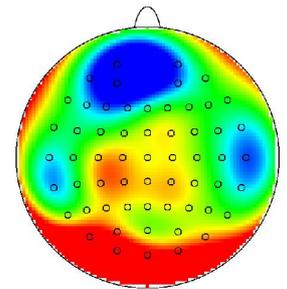
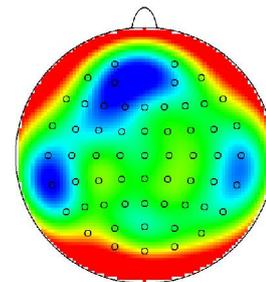
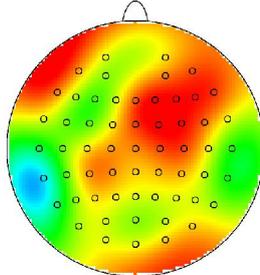
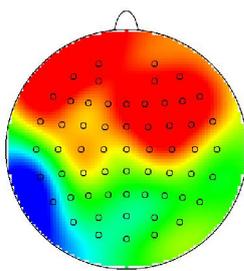
JEUNES

Pré-test

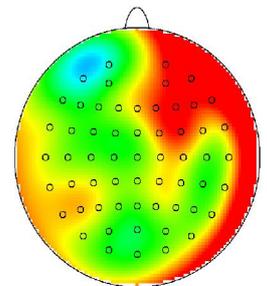
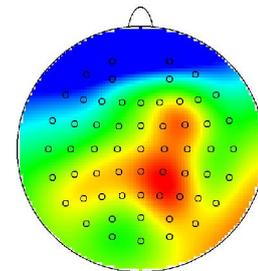
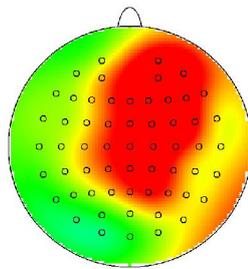
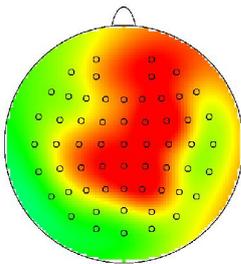


AGES CONTROLES

Post-test

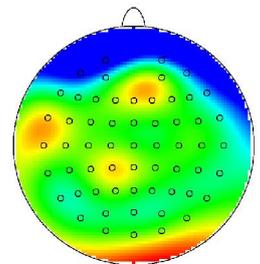
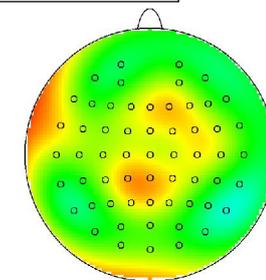
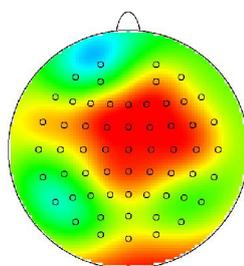
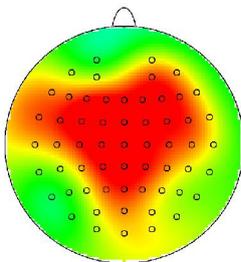


Pré-test



AGES ENTRAINES

Post-test



Afin d'explorer l'évolution de l'effet *old/new* dans chacune des conditions expérimentales au cours du temps (4 fenêtres temporelles), les analyses étaient faites grâce à des ANOVAs à 3 facteurs Type d'item (*old* vs. *new*) x Antériorité (frontal vs. pariétal) x Latéralisation (gauche vs. droite) dans chacune des conditions expérimentales (jeunes pré-test, âgés entraînés pré- et post-tests, âgés contrôles pré- et post-tests) dans chacune des fenêtres temporelles. Plusieurs électrodes d'intérêt ont été sélectionnées et moyennées afin d'identifier 4 sites et de distinguer les effets *old/new* frontaux (à gauche et à droite) et pariétaux (à gauche et à droite). Les quatre regroupements obtenus étaient : Frontal gauche (F5+F3), Frontal droit (F4+F6), Pariétal gauche (P5+P3) et Pariétal droit (P4+P6).

Dans chaque condition expérimentale, les PEs ont été analysés en effectuant des ANOVAs à 3 facteurs sur l'amplitude moyenne des PEs : Type d'item (*old* vs. *new*) x Antériorité (frontal vs. pariétal) x Latéralisation (gauche vs. droite) dans les quatre fenêtres temporelles d'intérêt (300-500 ms, 500-700 ms, 700-1000 ms, 1000-1400ms) afin d'examiner le profil des variations de l'effet *old/new*. Sauf indication, lorsqu'il était mentionné dans la partie résultats que l'effet *old/new* était significatif, cela signifiait que les PEs par des items *old* présentaient une déflexion plus positive par rapport aux PEs par des items *new*. De plus, dans cette partie résultat, seuls les effets principaux et les interactions significatifs qui impliquent le facteur type d'item (*old* vs. *new*) ont été présentés. Les interactions significatives ont été décomposées grâce à des analyses Post-hoc (Newmans-Keuls). Il s'agit ici d'analyses exploratoires afin de présenter les premiers résultats liés à cette expérience. Cependant, un travail supplémentaire sur les données sera nécessaire (modifier le choix des sites d'électrodes et des fenêtres temporelles, ajouter des participants dans chacun des groupes). Ainsi, dans un but exploratoire et afin de pouvoir mieux comprendre comment semblent évoluer les effets *old/new*, des analyses post-hoc ont été effectuées malgré l'absence d'interaction significative. Enfin, nous pouvons également remarquer que le profil d'activité cérébrale des deux groupes d'adultes âgés sont très différents, en particulier en pré-test, ce qui complique les comparaisons intergroupes. C'est pourquoi, ces premières analyses visaient simplement à décrire les effets *old/new* dans les différentes conditions expérimentales séparément.

1. Effets old/new dans le groupe de jeunes adultes en pré-test

Entre 300 et 500 ms après l'apparition du stimulus, seule l'interaction Type d'item x Latéralisation présentait une tendance à la significativité $F(1,14)= 4.04, p=.06, \eta_p^2 = .22$. Les analyses post-hoc nous ont permis d'observer un effet *old/new* significatif chez les jeunes en frontal gauche et droite et en pariétal gauche, mais plus ample à gauche.

Entre 500 et 700 ms après la présentation des trigrammes, bien qu'aucun effet impliquant le facteur Type d'item ne soit significatif dans l'ANOVA, les analyses post hoc ont révélé que les effets *old/new* étaient significatifs à gauche et à droite, en frontal et en pariétal.

L'ANOVA effectuée sur les données de la fenêtre temporelle 700 à 1000 ms a permis d'observer une interaction significative entre Type d'item x Antériorité x Latéralisation $F(1,14)= 4.26, p<.05, \eta_p^2 = .24$. Les analyses post-hoc ont révélé que l'effet *old/new* était significatif dans les quatre zones cérébrales. Nous avons effectué deux ANOVAs partielles Type d'item x Latéralisation en frontal et en pariétal séparément pour explorer l'effet *old/new* dans ces deux régions, aucun effet d'interaction n'était significatif en frontal, indiquant un effet *old/new* de même amplitude à gauche et à droite. En pariétal, l'interaction Type d'item x Latéralisation était significative $F(1,14)= 4.54, p<.05, \eta_p^2 = .24$, indiquant un effet *old/new* plus important en pariétal gauche qu'en pariétal droit.

Enfin, dans la fenêtre temporelle 1000-1400 ms, aucun effet n'était significatif. Les analyses post-hoc ont indiqué que l'effet *old/new* était significatif uniquement en pariétal. Nous avons tout de même dans un but exploratoire effectué une ANOVA partielle Type d'item x Latéralisation en pariétal pour explorer l'effet *old/new* dans cette région. L'interaction entre Type d'item et Latéralisation en pariétal était significative $F(1,14)= 4.19, p<.05, \eta_p^2 = .23$ indiquant un effet *old/new* plus important en pariétal gauche qu'en pariétal droit.

En résumé, chez les adultes jeunes en pré-test, des effets *old/new* significatifs ont pu être observés entre 300 et 1400 ms. L'effet était tout d'abord plus présent à gauche, puis l'effet s'est rependu sur les quatre zones cérébrales, pour finalement être présent uniquement en pariétal, avec une plus grande amplitude à gauche qu'à droite. Encore une fois, ces résultats sont à interpréter avec précaution puisque des analyses post-hoc ont été réalisées sans présence d'effet significatif impliquant le facteur *old/new* dans les résultats des Anovas.

2. Effet *old/new* chez les adultes âgés Contrôles

a. Pré-tests

Pour la première fenêtre temporelle 300-500ms après la présentation des trigrammes, aucun effet significatif n'était observé en calculant l'ANOVA à 3 facteurs Type d'item x Antériorité x Latéralisation sur l'amplitude moyenne des PEs. Les analyses post-hoc ont confirmé l'absence d'effet significatif.

Les analyses effectuées sur la fenêtre temporelle 500-700 ms ont permis d'obtenir une interaction significative entre le Type d'item et la Latéralisation $F(1,9) = 4.77, p < .05, \eta_p^2 = .35$. Les analyses post-hoc nous ont permis de constater que l'effet *old/new* était inversé et significatif uniquement à gauche, c'est-à-dire que l'amplitude des PE associée aux items *new* présentait une déflexion positive par rapport aux PEs associés aux items *old*. L'interaction entre le Type d'item, l'Antériorité et la Latéralisation était significative $F(1,9) = 12.83, p < .01, \eta_p^2 = .59$. Les analyses post-hoc ont mis en évidence un effet *old/new* inversé et significatif uniquement en frontal gauche.

L'interaction entre Type d'item x Antériorité x Latéralisation était significative sur la fenêtre temporelle 700 à 1000 ms $F(1,9) = 8.58, p < .05, \eta_p^2 = .49$. Les analyses post-hoc nous ont permis de détailler cette interaction, l'effet *old/new* inversé n'était significatif qu'en frontal gauche.

Dans la fenêtre temporelle 1000-1400 ms, l'interaction Type d'item, Antériorité et Latéralisation présentait une tendance $F(1,9) = 3.60, p = .09, \eta_p^2 = .29$. Les analyses post-hoc ont permis d'identifier un effet *old/new* inversé significatif en frontal droit et gauche et en pariétal droit.

b. Post-test

En post-test, pour la fenêtre 300-500 ms après la présentation des trigrammes, l'ANOVA à trois facteurs nous a permis d'identifier une interaction significative entre le Type d'item et la

Latéralisation $F(1.9)= 5.98, p<.05, \eta_p^2 = .40$. Les analyses post-hoc ont permis d'identifier un effet *old/new* uniquement en frontal gauche et droit et en pariétal gauche.

Sur la fenêtre temporelle 500-700 ms, l'amplitude moyenne des PEs n'a montré aucun effet *old/new* significatif. Les analyses post-hoc ont tout de même été calculées et un effet *old/new* significatif a été trouvé en frontal droit.

L'ANOVA et les analyses post-hoc effectuées sur les PEs de la fenêtre temporelle 700-1000 ms et de la fenêtre temporelle 1000-1400 ms ne nous a permis d'observer d'effet significatif.

En pré-test, les adultes âgés contrôles présentaient un effet *old/new* inversé et significatif de 500 à 1400 ms. Cet effet était d'abord présent en frontal gauche et lors de la dernière fenêtre temporelle il s'est rependu en frontal gauche et droit et en pariétal droit. En post-test, l'effet *old/new* était positif et significatif de 300 à 700 ms, en frontal et en pariétal à droite entre 300 et 500 ms puis plus précisément en frontal droit entre 500 et 700 ms. Ainsi, dans le groupe Contrôle, le profil d'activité cérébrale des adultes âgés est plus proche de celui des adultes jeunes en post-test qu'en pré-test. En effet en post test, par rapport au pré-test, on observe chez les adultes âgés contrôles des modifications au niveau du sens, de la latence et de la topographie des effets *old/new*. Ces derniers sont toutefois moins durables et latéralisés différemment dans le groupe d'adultes âgés.

3. Effets *old/new* chez les adultes âgés entraînés

a. Pré-test

Pour la première fenêtre temporelle (300-500 ms post stimulus), l'ANOVA à 3 facteurs Type d'item x Antériorité x Latéralisation n'a pas révélé d'effet significatif. Les analyses post-hocs ont tout de même révélé un effet *old/new* en frontal droit et en pariétal gauche et droit.

Aucun effet significatif n'a été mis en évidence pour la fenêtre temporelle 500-700ms. Les analyses post-hoc ont confirmées l'absence d'effet significatif.

Les analyses effectuées lors de la fenêtre temporelle 700 à 1000 ms ont permis d'observer une interaction significative entre Type d'item x Antériorité $F(1.9)= 4.63, p<.05, \eta_p^2 = .34$ et une tendance

pour l'interaction Type d'item x Latéralisation $F(1.9)= 4.09, p=.07, \eta_p^2 = .31$. Les analyses post-hoc nous ont permis de détailler ces interactions, l'effet *old/new* était significatif en pariétal droit.

Dans la fenêtre temporelle 1000-1400 ms, aucun effet n'était significatif. Les analyses post-hoc nous ont indiqué que l'effet *old/new* présentait une tendance en frontal droit ($p=.06$).

b. Post-test

Pour la première fenêtre temporelle 300-500 ms après la présentation des trigrammes, l'interaction type d'item et Antériorité était significative $F(1.9)= 5.39, p<.05, \eta_p^2 = .37$, indiquant grâce aux analyses post-hoc un effet *old/new* significatif uniquement en frontal gauche.

Pour la fenêtre temporelle 500-700 ms, aucun effet n'était significatif. Les analyses post-hoc ont confirmées l'absence d'effet significatif. .

Aucun effet significatif n'a été obtenu sur la fenêtre temporelle 700 à 1000 ms. Toutefois, les analyses post-hoc ont permis d'identifier un effet *old/new* significatif uniquement en pariétal droit.

Dans la fenêtre temporelle 1000-1400 ms, aucun effet n'était significatif. Les analyses post-hoc nous ont indiqué qu'aucun effet *old/new* n'était significatif.

Chez les adultes âgés entraînés en pré-test, l'effet *old/new* apparaissait entre 300 et 500ms de 700 à 1400 ms. L'effet lors de son apparition s'observait à droite en frontal et à gauche et à droite en pariétal pour ensuite être en pariétal droit en pariétal pour ensuite avoir tendance à être présent en frontal droit. En post-test, l'effet *old/new* apparaît significatif uniquement sur la fenêtre temporelle 300-500 ms en frontal gauche. L'effet *old/new* semble de nouveau être présent sur la fenêtre temporelle 700-1000 ms mais uniquement en pariétal droit, cependant ces résultats sont à prendre en compte avec précaution puisque toutes les interactions n'étaient pas significatives. Ainsi, on peut constater dans ce groupe que peu de modification semble apparaître entre les pré- et les post-tests, Comme pour les adultes âgés contrôles en post-test, les effets *old/new* des âgés entraînés sont moins durables que ceux des jeunes et présentent une répartition topographique différente, notamment en termes de latéralisation des effets.

Le récapitulatif des profils d'activité cérébrale de l'effet *old/new* dans chacune des fenêtres temporelles et dans chacune des conditions expérimentales est représenté dans le Tableau III.

Tableau III : Tableau récapitulatif des effets *old/new* sur les quatre sites d'intérêt obtenus avec les analyses post-hoc sur les différentes fenêtres temporelles chez les adultes jeunes en pré-test et chez les adultes âgés contrôles et entraînés en pré-test et en post-test

		<i>fenêtres temporelles</i>							
		<i>300-500 ms</i>		<i>500-700 ms</i>		<i>700-1000ms</i>		<i>1000-1400ms</i>	
<i>jeune</i>	<i>pré-test</i>	FG	FD	FG	FD	FG	FD		
		PG (G>D)		PG	PD	PG	> PD	PG	< PD
<i>âgés contrôles</i>	<i>pré-test</i>	<i>ns</i>			FD	- FG		-FG	-FD -PD
	<i>post-test</i>	FG	FD PD		FD	<i>ns</i>		<i>ns</i>	
<i>âgés entraînés</i>	<i>pré-test</i>		FD PD	<i>ns</i>			PD	FD (p=.06)	
	<i>post-test</i>	FG		<i>ns</i>			PD	<i>ns</i>	

F : Frontal, P : Pariétal, D : Droite, G : Gauche ; *ns* : absence d'effet ; « - » : effet *old/new* inversé

Discussion

L'objectif de cette expérience était de tester les effets d'un entraînement exécutif ou de séances d'habituation sur un indicateur électroencéphalographique du succès des processus de rappel d'informations mémorisées en mémoire épisodique (effet *old/new*). Pour cela, la méthode des potentiels évoqués a été utilisée et plus précisément dans cette étude les Potentiels évoqués cognitifs (*Event related potentials, ERPs*). Ces premiers résultats nous ont permis d'observer l'évolution de l'effet *old/new* au cours du temps (4 fenêtres temporelles) dans nos trois groupes en pré-test et dans les deux groupes d'âgés en post-test, dans le but d'essayer d'appréhender l'évolution de l'activité cérébrale sous-tendant les performances de mémoire entre pré- et post-tests chez les adultes âgés contrôles et entraînés. Nos résultats sont à interpréter avec précaution compte tenu des faibles effectifs dans chacun des groupes. L'objectif était d'analyser l'évolution de l'effet *old/new* au cours du temps et suite à des entraînements exécutifs efficaces ou des séances d'habituation. Les individus inclus dans cette étude sont ceux qui ont été inclus dans l'Expérience 6 et qui présentaient une amélioration du niveau exécutif suite à un entraînement des fonctions exécutives. Bien que l'entraînement ait été efficace chez les adultes âgés, les bénéfices de cet entraînement ne semblent pas se transférer sur les performances à l'épreuve de rappel indicé par des trigrammes. Ces premières analyses nous ont permis d'observer que les profils de nos trois groupes en pré-test semblaient différents. Ces résultats préliminaires ne nous permettent pas de comparer nos trois groupes puisque (1) les adultes âgés ne sont pas comparables en terme de niveau d'étude, et les effets du niveau d'étude sur les performances mnésiques et les PE chez les adultes âgés sont bien connus dans la littérature (e.g., Angel et al., 2010). (2) des effets d'âge sur les performances ont uniquement été trouvés en pré-test dans le groupe d'adultes âgés contrôle.

Les effets *old/new* observés chez les adultes âgés contrôles semblaient présenter des différences entre pré-test et le post-test. Tout d'abord, en pré-test l'effet *old/new* était négatif (inversé) alors qu'en post test il était positif (effet classique). La latence d'apparition de l'effet *old/new* semble être plus courte et l'effet semble être plus bref en post-test. En pré-test, l'effet apparaît à partir de 500 ms post-stimulus et est présent jusqu'à 1400 ms. Au contraire en post-test cet effet apparaît dès 300 ms jusqu'à 700 ms. En pré-test cet effet commence en frontal gauche puis se diffuse pour être présent dans la dernière fenêtre temporelle en frontal gauche et droit et en pariétal droit. En post-test, l'effet est plutôt

localisé en frontal et pariétal (à droite) au début de son apparition et devient plus restreint en frontal droit.

Chez les adultes âgés entraînés en pré-test, l'effet *old/new* perdure plus longtemps dans le temps puisqu'il apparaît à 300 ms et qu'il est encore présent jusqu'à la dernière fenêtre temporelle alors qu'en post-test, il est présent entre 300 et 1000 ms. De plus, la répartition de l'effet semble aussi différer avant et après l'entraînement exécutif. Alors qu'en pré-test l'effet apparaît en pariétal droit puis se retrouve en frontal droit, en post-test cette répartition est inversée avec une apparition de l'effet *old/new* en frontal puis il se retrouve en pariétal.

Les profils en post-test des deux groupes d'adultes âgés entraînés et contrôles semblent être modifiés. Certains processus de modification de l'activité cérébrale observées entre le pré- et le post-test paraissent communs aux deux groupes d'adultes âgés entraînés, notamment la réduction de la durée de l'effet *old/new*. Cependant, l'absence de profils comparables en pré-test rend difficile l'appréciation de l'effet de l'entraînement sur l'évolution de l'effet *old/new*.

Ces résultats préliminaires nous ont indiqué que les effets *old/new* durent moins longtemps en post-test qu'en pré-test. Ainsi, avec la même tâche mnésique et la même performance, l'entraînement exécutif et les séances d'habituation semblent avoir diminué la durée de l'effet *old/new* et la latence de l'effet dans le groupe ayant effectué les séances d'habituation. L'hypothèse explicative de ce processus pourrait être une meilleure efficacité des régions cérébrales impliquées dans la réalisation de la tâche et donc une diminution de la durée de traitement de l'information. Le groupe qui a suivi les séances d'habituation présente aussi des modifications en termes d'activité cérébrale entre le pré-test et le post. Ceci suggérerait que des activités non stimulantes cognitivement et/ou les effets « test/retest » pourraient aussi modifier les profils d'activation cérébrale en faveur d'une spécialisation

Ces résultats préliminaires suggèrent qu'un entraînement exécutif, même s'il ne se traduit pas par une meilleure performance à la tâche de rappel indicé, pourrait engendrer des modifications de l'activité cérébrale sous tendant la performance de mémoire. Ces résultats nécessiteront des analyses supplémentaires pour comparer les trois groupes entre eux et analyser si ces changements cérébraux résultent réellement de l'entraînement exécutif ou plutôt d'un effet dû à la connaissance du test. Les résultats observés peuvent aussi résulter des interactions sociales présentes dans des ateliers effectués en groupe améliorant le bien-être des individus. Il se pourrait aussi que ces modifications résultent

d'une diminution du stress engendré par l'EEG, la diminution du stress lié à la passation d'un test améliore les performances à ce même test (e.g., Sindi, Fiocco, Juster, Pruessner, & Lupien, 2013).

DISCUSSION GENERALE

Le vieillissement normal se caractérise par la diminution de nombreuses capacités cognitives (e.g., Ska & Joannette, 2006) et notamment les capacités mnésiques (Bastinet al., 2013 ; Collette, & Salmon, 2014 ; Desgranges et al., 1994 ; Fay, Isingrini, & Clarys, 2005 ; Giffard, Desgranges, & Eustache, 2001 ; Isingrini & Taconnat, 1997). Cependant, tous les individus ne subissent pas ces changements de la même façon et le niveau cognitif peut être modifié grâce à des interventions. Les fonctions exécutives, fonctions complexes, semblent avoir un rôle central dans les effets du vieillissement. L'objectif général de cette thèse était de tester les modifications comportementales et électrophysiologiques que peuvent induire des interventions ciblées sur les fonctions exécutives chez des adultes âgés. Ainsi, dans un premier temps, l'effet de la passation successive de tests exécutifs a été examiné afin d'explorer l'amélioration possible du niveau exécutif par la pratique. Dans un second temps, des tests exécutifs ont été créés et la validité psychométrique de plusieurs d'entre eux a été testée afin de mettre en place un programme d'entraînement exécutif. Enfin, ce programme d'entraînement a été mis en place dans un groupe d'adultes âgés pour en examiner les bénéfices sur le niveau exécutif mais aussi sur des fonctions cognitives plus éloignées des tâches entraînées, notamment la mémoire épisodique et le profil d'utilisation stratégique à l'encodage.

1. Effet de la pratique répétée de tests exécutifs

L'altération des fonctions exécutives est un déterminant majeur du vieillissement cognitif (Rhodes, 2004; West, 1996). Ces fonctions ont un rôle important dans la cognition générale, car elles permettent d'adapter son comportement à une tâche lorsqu'une action routinière n'est pas suffisante. Elles contrôlent et régulent ainsi les autres fonctions cognitives (Moscovitch & Winocur, 1992). Ces fonctions de haut niveau cognitif sont diminuées au cours du vieillissement (Carlson, Xue, Zhou, & Fried, 2009; Fisk & Sharp, 2004; Tombaugh, 2004). Il est cependant possible d'améliorer les performances à une tâche exécutive d'adultes jeunes et âgés par la pratique de cette tâche exécutive (par exemple, l'inhibition, évaluée avec le test de Stroop : Davidson, Zacks, & Williams, 2003, Expérience 1, Dulaney & Rogers, 1994; Rogers & Fisk, 1991; Wilkinson & Yang, 2012; la flexibilité évaluée avec le TMT : Buck, Atkinson, & Ryan, 2008; Dye, 1979 ; ou la mise à jour de la mémoire de travail : Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2013; Karbach, Mang, & Kray, 2010; voir Beglinger et al., 2005 pour un résultat contradictoire chez des adultes jeunes). En accord avec ces études, nos résultats ont confirmé la possibilité d'augmenter les performances d'adultes jeunes et âgés par la pratique de

deux tests exécutifs : le Trail Making Test (TMT) mesurant la flexibilité (Expérience 1) et le Stroop test mesurant l'inhibition (Expérience 2).

Dans ces deux expériences, afin d'expliquer l'hétérogénéité des résultats de la littérature, nous avons examiné les différences liées à l'âge, c'est-à-dire analysé l'évolution des performances d'adultes jeunes et âgés au fil des sessions de pratique (Expérience 1 et Expérience 2) et les variables individuelles susceptibles de moduler les bénéfices de la pratique comme le niveau d'étude (Expérience 2). Ces analyses sont centrales pour déterminer si la possibilité de réduire les différences liées à l'âge sur une tâche exécutive par la pratique est fonction du nombre de sessions de pratique de cette tâche ou encore de facteurs individuels comme le niveau d'étude. Les résultats de ces deux expériences ont montré que les adultes âgés bénéficiaient plus de la pratique que les jeunes adultes, les effets d'âge sont ainsi réduits à la fois sur les fonctions de flexibilité et d'inhibition. Ces résultats corroborent le modèle de compensation, c'est-à-dire qu'un niveau exécutif initial faible permettra un bénéfice plus important après la pratique. A l'inverse, le fait que les adultes jeunes bénéficient moins de l'entraînement suggère qu'ils ne possèdent que peu de marge de progression du fait de leur niveau exécutif optimal (Lövdén, Brehmer, Li, & Lindenberger, 2012).

Concernant le rythme de progression au fur et à mesure des séances de pratique, pour le TMT, les adultes jeunes et âgés commençaient à bénéficier en même temps de la pratique, les adultes jeunes atteignant leur niveau optimal plus rapidement que les plus âgés. En effet, les jeunes atteignent leur score maximal avec un nombre de sessions de pratique plus restreint (4 sessions) que les adultes âgés (7 sessions). Lors de la pratique du Stroop, les adultes jeunes progressant uniquement lors des trois dernières sessions de pratique alors que les adultes âgés progressent tout au long des sessions. Ces résultats confirment que les fonctions de flexibilité et d'inhibition cognitives ne sont pas similaires, les effets de la pratique ne sont pas identiques chez les adultes jeunes dans les deux expériences.

De nombreuses études ont identifié le rôle protecteur du niveau d'étude sur les capacités cognitives (e.g., mémoire à long terme: Angel, Fay, Bouazzaoui, Baudouin, & Isingrini, 2010; Desgranges et al., 1994; mémoire à court terme: Pacaud, 1990), permettant ainsi de réduire les effets d'âge sur les capacités cognitives (Cagney, & Lauderdale, 2002; Foubert-Samier et al., 2012; Kalpouzos, Eustache, & Desgranges, 2008; Lam et al., 2013; Manly, Touradji, Tang, & Stern, 2003; Stern, 2002; 2009; Staff, Murray, Deary, & Whalley, 2004). L'Expérience 2 nous a permis d'identifier le niveau d'étude comme un facteur individuel important influençant le gain lié à la

pratique. Ainsi, plus le niveau d'étude était important et plus le gain lié à la pratique du Stroop test était important chez les adultes âgés. Les individus ayant de plus grandes capacités de réserve, indexées ici par le niveau d'étude, seraient ceux qui progresseraient le plus, en accord avec l'hypothèse de magnification (Bissig & Lustig, 2007; Kliegl, Smith, & Baltes, 1990; Verhaeghen & Marcoen, 1996). Il y aurait donc un lien entre la réserve cognitive formée tout au long de la vie et l'amélioration active des performances à des tests exécutif grâce à la pratique de ces mêmes tests. Dans ces études, on constate que selon les variables considérées, les bénéfices liés à la pratique sont en accord avec le modèle de compensation (effet du vieillissement) ou de magnification (effet du niveau d'étude). Ces deux hypothèses seraient peut être complémentaires, et vraies en fonction de la variable indépendante prise en compte dans l'analyse du gain lié aux bénéfices d'une stimulation cognitive. Soit les personnes avec le plus faible niveau cognitif sont celles qui progressent le plus (compensation), soit ce sont les personnes avec un haut niveau cognitif initial (magnification) qui progressent le plus. Il est probable que lorsque que l'on considère des variations intergroupes (ici l'âge), les différences de bénéfices liés à la stimulation cognitive suivraient plutôt le modèle de compensation. Au contraire, si les comparaisons se font sur des variations individuelles intragroupes (ici le niveau d'étude), c'est-à-dire au sein d'un même groupe d'âge, la variation des gains suivrait plutôt le modèle de magnification. Cependant ces interprétations doivent être prises avec prudence. Il serait intéressant de les tester en manipulant d'autres modalités inter- et intra-groupes sur les gains liés à une stimulation cognitive.

Ces premiers résultats nous ont permis de montrer que la passation successive de tests exécutifs pouvait influencer positivement les performances à ce même test, et que ces effets sont modulés par l'âge et le niveau d'étude. Cependant, une des limites de ces deux expériences est de ne pas avoir exploré les effets de transfert de la pratique exécutive à d'autres fonctions cognitives. En effet, les mécanismes qui sous-tendent de nombreuses fonctions cognitives complexes dépendent du fonctionnement exécutif. Au-delà de la pratique de tests exécutifs, il est intéressant d'examiner les bénéfices d'un entraînement cognitif plus complexe sur d'autres tâches cognitives. Comme il l'a déjà été montré dans de nombreuses études, les entraînements cognitifs sont efficaces, notamment au cours du vieillissement (e.g., Ball et al., 2002 ; Bherer et al., 2005 ; Bherer et al., 2008 ; Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010 ; Lustig, Shah, Seidler, & Reuter-Lorenz, 2009 pour revue). Dans nos deux expériences, les adultes âgés progressent tout au long des 10 sessions de pratique et plus que les adultes jeunes, nous avons donc choisi, dans le cadre d'un entraînement cognitif chez des adultes

âgés, d'entraîner les fonctions exécutives qui semblent de bons candidat à la stimulation cognitive pour réhabiliter les fonctions touchées par le vieillissement. Il était important tout de même, compte tenu des effets de pratique obtenus dans ces études, d'utiliser d'autres tests exécutifs que ceux utilisés pour évaluer le niveau exécutif avant l'entraînement (pré-test) et après l'entraînement (post-test). Ainsi l'objectif de la deuxième partie de cette thèse était de valider des tests exécutifs créés pour mettre en place un entraînement exécutif complexe.

2. Validation de nouveaux tests exécutifs

Disposer d'une variété de tests exécutifs est primordial pour l'identification et la compréhension des fonctions exécutives. Certains tests exécutifs de référence sont classiquement utilisés en psychologie cognitive et en psychologie clinique. Cependant, comme il l'a été mis en évidence précédemment, des effets d'apprentissage conduisant à une amélioration des performances peuvent apparaître lors de passations répétées d'un même test. Les Etudes 3 et 4 avaient pour objectif de valider de nouveaux tests exécutifs. Plus précisément, le but était de créer des tests mesurant les trois fonctions exécutives identifiées par Myiake et al. (2000) : l'inhibition, la flexibilité cognitive et la mise à jour en mémoire de travail. Pour valider ces tests, les trois propriétés psychométriques habituellement recherchées ont été testées : la sensibilité (corrélations avec des tests de référence), la fidélité (corrélations entre les performances à la première moitié du test et celles obtenues à la seconde moitié du test) et la validité (les scores à ces tests suivent la loi normale) (Cook & Beckman, 2006). De plus, nous nous sommes assuré dans ces deux expériences que les tests étaient discriminants pour permettre de différencier des populations de niveaux exécutifs différents. Ainsi, des adultes jeunes de niveau exécutif optimal ont été comparés à des groupes d'adultes âgés dont le niveau exécutif est plus faible que celui des adultes jeunes (Colette & Salmon, 2014) (Etudes 3 et 4) et un groupe d'adultes schizophrènes (Besnier, 2014) (Etude 4), connus pour présenter des déficits exécutifs.

Six test exécutifs ont ainsi été créés et validés en s'inspirant de tests classiques utilisés pour établir le niveau exécutif d'un individu: le test « Proverbes-Back » et le test des « 3 Derniers Proverbes » mesurant les capacités de mise à jour en mémoire de travail ; le test « flexibilité majuscule / minuscule ; rouge / vert », le test « flexibilité roule / vole ; couleur / noir et blanc » et le test « flexibilité mots finissant par i / o ; voix d'homme / voix de femme » mesurant les capacités de

flexibilité cognitive ; le test « liste des animaux » mesurant les capacités d'inhibition. Les résultats de ces deux expériences nous ont permis de valider les nouveaux tests, puisqu'ils respectent les critères psychométriques des tests mentionnés plus haut. Ils ont ainsi pu être intégrés dans un programme d'entraînement exécutif en plus de tests déjà utilisés et validés dans la littérature pour mesurer les trois fonctions exécutives. Au-delà de l'aspect méthodologique de ces deux expériences pour la proposition d'un programme d'entraînement cognitif, ces résultats présentent un intérêt plus appliqué. En effet, la validation psychométrique de ces nouveaux tests permet d'avoir des outils fiables supplémentaires, nécessaires à l'identification de profils cognitifs à la fois dans le domaine de la recherche mais aussi dans le domaine clinique.

3. Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur le niveau exécutif et transfert des bénéfices en mémoire épisodique chez des adultes âgés

L'objectif des Expériences 5, 6 et 7 était de tester l'effet d'un programme d'entraînement exécutif, essentiellement sur la mémoire. Ce programme d'entraînement était composé d'exercices utilisant des tests connus pour mesurer les capacités d'inhibition, de flexibilité et de mise à jour de la mémoire de travail et les nouveaux tests créés et validés dans les Etudes 4 et 5. Avant d'explorer les bénéfices de l'entraînement exécutif, les liens entre les fonctions exécutives et l'utilisation des différentes stratégies d'encodage en mémoire épisodique ont été vérifiés. En effet, bien que le rôle des fonctions exécutives dans l'utilisation d'encodage profond et efficace soit souvent inféré, aucune étude n'a testé le lien direct entre ces deux variables. Des études sur le vieillissement ont montré que les personnes âgées ont tendance à diminuer leur utilisation d'encodage profond. Ce résultat a été observé à la fois sur l'utilisation de l'imagerie mentale (e.g., Dunlosky, & Hertzog, 2001; Froger et al., 2012; Tournier & Postal, 2011) et l'efficacité de cette stratégie (e.g., Bruyer & Scailquin, 2000; Dror & Kosslyn, 1994; Dunlosky & Hertzog, 1998; Plaie & Isingrini, 2003). Dans l'Expérience 5, nous avons montré que les adultes âgés utilisaient autant de stratégies d'encodage profond que les plus jeunes, mais que ces stratégies étaient moins efficaces pour le rappel de mots. Nous avons également mis en évidence pour la première fois la relation entre deux fonctions exécutives (la flexibilité et l'inhibition) et l'efficacité de stratégies d'encodage profond de type imagerie mentale ou phrases chez des adultes âgés. En effet, l'efficacité de l'encodage profond était corrélée aux capacités

de flexibilité mesurée par le TMT et d'inhibition cognitive, mesurée par le test de Stroop. De plus, nous avons montré que c'était la capacité de flexibilité qui expliquait, chez les adultes âgés, un part significative de la variance liée à l'efficacité des stratégies d'encodage profond, et au rappel de mots appris avec ces stratégies. Cela suggère que la flexibilité contribue de façon importante à l'efficacité des stratégies d'encodage profond. Les adultes âgés utilisent aussi souvent que les plus jeunes les stratégies d'encodage profond, mais elles sont moins efficaces. Il ne suffit donc pas de produire une stratégie pour qu'elle soit efficace. La flexibilité interviendrait à une étape de la mémoire où le produit de la stratégie (image mentale, phrase) est utilisé pour renforcer la trace mnésique. C'est la flexibilité, déficitaire chez les adultes âgés, qui interviendrait à cette étape, expliquant le fait que leurs stratégies profondes soient moins efficaces que celles des adultes jeunes. Des investigations supplémentaires seraient nécessaires pour préciser la relation entre les fonctions exécutives, et en particulier, la flexibilité, et l'efficacité des stratégies.

Après nous être assurés du lien entre les fonctions exécutives et les stratégies d'encodage profond, nous avons testé les effets d'un entraînement exécutif chez des adultes âgés. L'entraînement a été bénéfique et a permis l'amélioration des capacités de mise à jour et d'inhibition chez des adultes âgés entraînés (Expérience 6). Pour la première fois, des effets de transfert des bénéfices d'un entraînement exécutif à une tâche de mémoire épisodique ont été mis en évidence. Ces conclusions sont basées sur les effets significatifs de l'interaction entre la Condition (entraîné vs. contrôle), de la Session (pré-test vs. post-test) et de l'Encodage (profond vs. superficiel vs. aucun). Les comparaisons planifiées ont permis de montrer une augmentation de l'utilisation ainsi que du rappel indicé lié à l'encodage profond. Ainsi, les adultes âgés entraînés présentaient après entraînement une augmentation de l'utilisation et de l'efficacité d'un encodage profond de type imagerie mentale et production de phrases intégrant les stimuli, des stratégies particulièrement efficaces pour la mémoire.

La deuxième partie des résultats de l'Expérience 6 a complété l'interprétation de ces données. Nous avons pu constater, en comparant les niveaux cognitifs améliorés par l'entraînement exécutif chez les adultes âgés avec les niveaux cognitifs de jeunes adultes, que les effets d'âge sur la fonction de mise à jour n'étaient plus présents en post-test. Sur les scores au N-back, l'effet du groupe sur le était significatif en pré-test, ne l'était plus en post-test, où les scores des adultes jeunes et des adultes âgés entraînés étaient équivalents en post-test et ces deux groupes présentaient des scores significativement supérieurs aux adultes âgés contrôles. Ainsi, en plus d'améliorer le niveau exécutif

d'adultes âgés, cet entraînement exécutif a permis aux adultes âgés de retrouver un niveau exécutif comparable à celui des jeunes adultes pour certains tests cognitifs.

4. Entraînement exécutif et plasticité cérébrale: utilisation de l'électroencéphalographie pour expliquer les processus cérébraux sous-jacents aux bénéfices liés à un entraînement exécutif

L'activité cérébrale enregistrée grâce à l'EEG lors de la récupération d'information en mémoire à travers l'analyse de l'effet *old/new* permet d'identifier la qualité de la mémorisation d'une information en mémoire épisodique. Cet effet est caractérisé par le fait que les informations correctement reconnues présentent des potentiels évoqués avec une positivité plus forte que les informations nouvelles (voir pour revue Allan, Wilding, & Rugg, 1998). Dans l'Expérience 7, cet effet a été analysé avant et après un entraînement exécutif afin d'observer si l'entraînement exécutif modifie l'effet *old/new*. Chez les adultes âgés les effets *old/new* durent moins longtemps en post-test qu'en pré-test. Ainsi, avec la même tâche mnésique et la même performance, l'entraînement exécutif et les séances d'habituation semblent avoir diminué la durée de l'effet *old/new* et la latence de l'effet (dans le groupe d'adultes âgés contrôles). Ces constatations restent des suppositions et des analyses statistiques supplémentaires sont nécessaires afin de bien comprendre comment évoluent les trois groupes (adultes jeunes, adultes âgés entraînés, adultes âgés contrôles) et comment ils se différencient en termes d'activation cérébrale. Cependant, l'absence d'équivalence entre les profils d'activation des adultes âgés entraînés et contrôles est problématique. Ainsi, les effectifs de chacun de nos groupes expérimentaux vont devoir être augmentés pour permettre d'obtenir des groupes équivalents par le retrait de certains participants présentant un profil d'activation atypique en pré-test mais aussi en conservant des effectifs suffisants pour pouvoir observer des effets robustes, s'ils sont présents, en post-test. L'équivalence des groupes en pré-test est indispensable pour pouvoir ensuite comparer les effets de l'entraînement sur l'évolution de l'effet *old/new* en post-test. De plus, tous les adultes âgés entraînés ne bénéficient pas de l'entraînement, c'est-à-dire qu'ils ne progressent pas en post-test. Afin d'examiner les effets spécifiques de l'entraînement, il serait intéressant de comparer l'évolution de l'effet *old/new* chez deux groupes distincts d'adultes âgés entraînés qui ont bénéficié de l'entraînement (augmentation du rappel d'items *old*, correctement produits et identifiés comme anciens) et ceux qui ne progressent pas entre les pré-tests et les post-tests et donc ne bénéficient pas

de l'entraînement. Ainsi, les analyses seront plus précises quant à la progression de l'effet *old/new* liées à une amélioration des performances.

La force de ce travail de thèse est d'avoir testé pour la première fois des effets de transfert sur une tâche en mémoire épisodique relevant les utilisations stratégiques. Dans cette thèse, nous avons à la fois étudié les effets de pratique d'un test sur les performances à ce même test (effet de pratique, Expériences 1 et 2) et l'entraînement (utilisations de tests différents des tests cibles durant le programme de stimulation, Expériences 6 et 7). Pour ces quatre expériences, des groupes contrôles passifs (Expériences 1 et 2) ou actifs, c'est-à-dire ayant fait autant de séances d'activités (mais non stimulantes, ou moins stimulantes) que les groupes entraînés (Expérience 6 et 7) ont été inclus. Ceci nous a permis de nous assurer que les effets observés sur les fonctions exécutives étaient bien la conséquence de la pratique ou de l'entraînement, et non pas de simples effets test-retest, lié uniquement à la passation répétée d'une même épreuve. En outre, de nouveaux tests ont été créés afin d'avoir suffisamment de tests exécutifs à notre disposition pour que les tests utilisés dans le programme d'entraînement (tests déjà existants dans la littérature et nouveaux tests) soient (1) assez variés d'une séance à l'autre (2) différents de ceux exécutés en pré- et post-tests.

Ce travail de thèse présente néanmoins des limites, et certains points nécessiteraient d'être approfondis. Tout d'abord, les effets de transfert à moyen terme et à long terme n'ont pas été examinés. Il serait intéressant d'étudier quelques mois après la fin de l'entraînement si les bénéfices obtenus en post-test sont préservés avec le temps comme il l'a déjà été observé dans certaines études (Dahlin et al., 2008 ; Kramer et al., 1999; Kramer et al., 1995; Neely & Backman, 1993 ; Schmiedek et al., 2014). De plus, l'étude de la progression du niveau exécutif au fur et à mesure des séances d'entraînement aiderait à l'identification des profils de progression des adultes âgés au cours du programme d'entraînement. Comme il l'a été fait dans les Expériences 1 et 2 où le rythme de progression a été analysé et permet d'adapter au mieux des séances de pratique aux caractéristiques d'un individu, ces analyses supplémentaires permettraient de mettre en place un programme de stimulation exécutive en fonction de variables individuelles, ce qui rendrait le programme d'autant plus efficace. Par ailleurs, il serait intéressant de tester l'efficacité d'un entraînement spécifique à chacune des fonctions exécutives afin de mieux comprendre quelles fonctions stimulées permet une augmentation du niveau exécutif. En effet, l'interprétation des résultats est ici limitée par le fait que

l'entraînement exécutif utilisé est complexe et stimule les trois fonctions exécutives. Bien que les performances de plusieurs fonctions exécutives aient été améliorées, ces bénéfices peuvent être en lien avec la stimulation d'une fonction particulière parmi les trois stimulées. Par exemple, d'après l'hypothèse de Friedman et al. (2012), l'inhibition est une fonction commune à toutes les capacités exécutives, et la stimulation de cette capacité pourrait être plus efficace pour des effets de transfert plutôt que de stimuler une seule fonction spécifique comme les capacités de flexibilité ou de mise à jour de la mémoire de travail.

Une autre limite concerne nos effectifs. En effet, le nombre de participants par groupe est restreint. Pour le protocole d'entraînement, le projet comportait douze rendez-vous au laboratoire avec parfois des séances d'une durée pouvant aller jusqu'à 2h30 (EEG). Ces conditions sont très contraignantes pour des adultes âgés. En conséquence, le recrutement de volontaires était parfois difficile. Ainsi, malgré les effets intéressants et significatifs obtenus, l'ajout de participants dans les groupes sera nécessaire pour appuyer nos résultats.

L'entraînement vise à améliorer le niveau cognitif sur une très courte échelle de temps, en analysant l'amélioration directe d'une composante cognitive. Les entraînements cognitifs sont réalisés lorsque des déficits associés au vieillissement normal sont déjà présents. L'ampleur de ces déficits est elle-même influencée par le niveau d'éducation. Une perspective de recherche intéressante sur l'effet de l'entraînement exécutif serait de mettre en lien la réserve existante et constituée au cours de la vie avec ces bénéfices acquis sur une brève période temporelle. Ainsi, analyser les effets des caractéristiques individuelles associés à la réserve comme le niveau d'étude sur les effets de l'entraînement pourrait permettre de compléter l'interprétation de nos résultats et de mieux comprendre le lien entre réserve et plasticité. La réserve a une incidence sur les performances et modifie le fonctionnement cognitif à travers des phénomènes de compensation. La question est de savoir si cette réserve permettrait à des individus de bénéficier davantage d'un entraînement exécutif (magnification) ou au contraire si ce sont les individus avec de plus faibles capacités de réserve qui bénéficieraient le plus d'un entraînement exécutif (compensation). Un entraînement cognitif sera d'autant plus efficace s'il est adapté au niveau cognitif d'un individu. Compte tenu des effets du niveau d'éducation sur les bénéfices de la pratique (Expérience 2), on suppose que des résultats similaires pourraient être obtenus sur l'entraînement exécutif, mais pour cela, les effectifs de cette étude devront être augmentés. La question est de savoir, avec ce type d'exploration, si la « quantité »

réserve cognitive permet de bénéficier d'un entraînement exécutif ou si cet entraînement permet de « créer » de la réserve cognitive, ou enfin si ces processus sont indissociables. Cette question demeure encore en suspens au regard des résultats obtenus dans cette thèse mais aussi dans la littérature.

CONCLUSION

Ces résultats permettent une avancée considérable dans l'explication des phénomènes sous-jacents au vieillissement cognitif. Actuellement, un des objectifs des travaux en psychologie cognitive et psychologie du vieillissement est de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent le vieillissement cognitif afin de trouver des solutions pour réhabiliter les fonctions touchées. La réhabilitation des déficits liés à l'avancée en âge permettrait d'améliorer la qualité de vie des personnes vieillissantes en leur permettant d'être mieux adaptées à leur environnement et de moins subir ces déficits. Ceci améliorerait par conséquent le bien-être des adultes âgés car cela leur permettrait de vivre de façon plus autonome. Ainsi, dans ce travail de thèse, la possible réhabilitation, ou tout au moins amélioration, des fonctions exécutives a été confirmée à travers les bénéfices d'un entraînement exécutif chez des adultes âgés. De plus, ce type d'entraînement a permis le transfert des bénéfices à une tâche de mémoire épisodique, ce qui n'avait jamais été montré dans la littérature. Ainsi, le profil d'utilisation stratégique des adultes âgés est modifié. Ils utilisent plus de stratégies de type « encodage profond » pour mémoriser des mots et ces stratégies sont plus efficaces permettant ainsi de meilleures performances. De plus, ces améliorations semblent diminuer voire annuler les déficits liés à l'âge sur certaines fonctions exécutives. Elles s'accompagnent de modifications de l'activité cérébrale, dans le sens où la durée de l'effet old/new semble plus faible pour réaliser une même tâche cognitive.

Ce travail de thèse incite le développement de programmes d'entraînement des fonctions exécutives qui semble permettre des effets de transfert à des tâches non entraînés et ces bénéfices semblent aussi modifier le fonctionnement cérébral, ce qui suppose un effet plus durable. Ceci confirme l'idée qu'un environnement stimulant cognitivement est en lien avec de bonnes capacités cognitives et contribue à un vieillissement réussi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albert, M. S., Jones, K., Savage, C. R., Berkman, L., Seeman, T., Blazer, D., & Rowe, J. W. (1995). Predictors of cognitive change in older persons: MacArthur studies of successful aging. *Psychology and Aging, 10*(4), 578-589.
- Albert, M. S., & Kaplan, E. (1980). Organic implications of neuropsychological deficits in the elderly. *New Directions in Memory and Aging, 4*, 403-432.
- Allan, K., Wilding, E. L., & Rugg, M. D. (1998). Electrophysiological evidence for dissociable processes contributing to recollection. *Acta Psychologica, 98*(2), 231-252.
- Allen, M. J., & Yen, W. M. (2001). *Introduction to Measurement Theory*. Waveland Press.
- Ally, B. A., Waring, J. D., Beth, E. H., McKeever, J. D., Milberg, W. P., & Budson, A. E. (2008). Aging memory for pictures: Using high-density event-related potentials to understand the effect of aging on the picture superiority effect. *Neuropsychologia, 46*(2), 679-689.
- Anastasi, A., & Drake, J. D. (1954). An empirical comparison of certain techniques for estimating the reliability of speeded tests. *Educational and Psychological Measurement, 14*, 529-540.
- Anderson, N. D., Craik, F. I., & Naveh-Benjamin, M. (1998). The attentional demands of encoding and retrieval in younger and older adults: I. Evidence from divided attention costs. *Psychology and Aging, 13*(3), 405-423.
- Anderson, N. D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. (2000). The effects of divided attention on encoding-and retrieval-related brain activity: A PET study of younger and older adults. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*(5), 775-792.
- Andres, P., & Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 55*(6), 373-380.
- Angel, L., Fay, S., Bouazzaoui, B., & Isingrini, M. (2011). Two hemispheres for better memory in old age: role of executive functioning. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*(12), 3767-3777.
- Angel, L., Fay, S., Bouazzaoui, B., Baudouin, A., & Isingrini, M. (2010). Protective role of educational level on episodic memory aging: An event-related potential study. *Brain and Cognition, 74*(3), 312-323.
- Angel, L., Fay, S., Bouazzaoui, B., Granjon, L., & Isingrini, M. (2009). Neural correlates of cued recall in young and older adults: an event-related potential study. *Neuroreport, 20*(1), 75-79.

- Anstey, K., & Christensen, H. (2000). Education, activity, health, blood pressure and apolipoprotein E as predictors of cognitive change in old age: a review. *Gerontology*, 46, 163-177.
- Ardila, A. (1998). A note of caution: Normative neuropsychological test performance: Effects of age, education, gender and ethnicity: A comment on Saykin et al. (1995). *Applied Neuropsychology*, 5(1), 51-53.
- Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., Rosselli, M., & Gómez, C. (2000). Age-related cognitive decline during normal aging: the complex effect of education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 15(6), 495-513.
- Bäckman, L., & Karlsson, T. (1986). Episodic remembering in young adults, 73-year-olds, and 82-year-olds. *Scandinavian Journal of Psychology*, 27(1), 320-325.
- Baddeley, A., Della Sala, S., Papagno, C., & Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and nondysexecutive patients with a frontal lesion. *Neuropsychology*, 11(2), 187-194.
- Baird, B. J., Tombaugh, T. N., & Francis, M. (2007). The effects of practice on speed of information processing using the adjusting-paced serial addition test (adjusting-PSAT) and the computerized tests of information processing (CTIP). *Applied Neuropsychology*, 14(2), 88-100.
- Ball, K., Berch, D. B., Helmers, K. F., Jobe, J. B., Leveck, M. D., Marsiske, M., Morris, J.N., Rebock, G.W., Smith, D.M., Tennstedt, S.L., Unverzagt, F. W., & Willis, S.L. (2002). Effects of cognitive training interventions with older adults: a randomized controlled trial. *Jama*, 288(18), 2271-2281.
- Balota, D. A., Dolan, P. O., & Duchek, J. M. (2000). Memory changes in healthy older adults. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 395–409). New York: Oxford University Press.
- Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*, 23(5), 611.
- Barbey, A. K., Colom, R., Solomon, J., Krueger, F., Forbes, C., & Grafman, J. (2012). An integrative architecture for general intelligence and executive function revealed by lesion mapping. *Brain*, 135(4), 1154-1164.

- Bartels, C., Wegrzyn, M., Wiedl, A., Ackermann, V., & Ehrenreich, H. (2010). Practice effects in healthy adults: a longitudinal study on frequent repetitive cognitive testing. *BMC Neuroscience*, *11*(1), 118.
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and Aging*, *23*(4), 765-777.
- Bastin, C., Simon, J., Kurth, S., Collette, F., & Salmon, É. (2013). Variabilité individuelle dans le fonctionnement de la mémoire épisodique au cours du vieillissement normal et pathologique: le rôle de la réserve cognitive. *Revue de Neuropsychologie*, *5*(4), 235-242.
- Beaunieux, H., Hubert, V., Witkowski, T., Pitel, A. L., Rossi, S., Danion, J. M., ... & Eustache, F. (2006). Which processes are involved in cognitive procedural learning? *Memory*, *14*(5), 521-539.
- Beglinger, L. J., Gaydos, B., Tangphao-Daniels, O., Duff, K., Kareken, D. A., Crawford, J., Fastenau, P.S., & Siemers, E. R. (2005). Practice effects and the use of alternate forms in serial neuropsychological testing. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *20*(4), 517-529.
- Bejaoui, M., & Pedinielli, J. L. (2010). Flexibilité cognitive, attention sélective et fluidité verbale sémantique dans trois dimensions de schizophrénie: Psychotique, négative et de désorganisation. *Pratiques Psychologiques*, *16*(3), 259-272.
- Belleville, S., & Bherer, L. (2012). Biomarkers of cognitive training effects in aging. *Current Translational Geriatrics and Experimental Gerontology Reports*, *1*(2), 104-110.
- Belleville, S., Clément, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., & Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain*, *134*(6), 1623-1634.
- Belleville, S., Gilbert, B., Fontaine, F., Gagnon, L., Ménard, É., & Gauthier, S. (2006). Improvement of episodic memory in persons with mild cognitive impairment and healthy older adults: evidence from a cognitive intervention program. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *22*(5), 486-499.
- Belleville, S., Mellah, S., de Boysson, C., Demonet, J. F., & Bier, B. (2014). The pattern and loci of training-induced brain changes in healthy older adults are predicted by the nature of the intervention. *PloS one*, *9*(8), e102710.

- Besnier, N. (2014). Chapitre 4. La schizophrénie et le trouble bipolaire. In *Neuropsychologie et Santé* (pp. 77-122). Dunod.
- 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.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K., & Becic, E. (2005). Training effects on dual-task performance: are there age-related differences in plasticity of attentional control? *Psychology and Aging*, 20(4), 695-709.
- Bisiacchi, P. S., Borella, E., Bergamaschi, S., Carretti, B., & Mondini, S. (2008). Interplay between memory and executive functions in normal and pathological aging. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30(6), 723-733.
- Bissig, D., & Lustig, C. (2007). Who benefits from memory training?. *Psychological Science*, 18(8), 720-726.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: A meta-analysis. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(5), 223-233.
- Borella, E., Carretti, B., Cantarella, A., Riboldi, F., Zavagnin, M., & De Beni, R. (2014). Benefits of training visuospatial working memory in young-old and old-old. *Developmental Psychology*, 50(3), 714-727.
- Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., & De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging*, 25(4), 767-778.
- Bosma, H., Van Boxtel, M. P. J., Ponds, R. W. H. M., Houx, P. J. H., & Jolles, J. (2003). Education and age-related cognitive decline: the contribution of mental workload. *Educational Gerontology*, 29(2), 165-173.
- Botwinick, J. (1984). *Aging and behavior*. New York: Springer Publishing Company
- Bouazzaoui, B., Angel, L., Fay, S., Taconnat, L., Froger, C., & Isingrini, M. (2014). Does the greater involvement of executive control in memory with age act as a compensatory mechanism?. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 68(1), 59-66.
- Boulanger, M., Snyder, P. J., & Cohen, H. (2006, August). Ralentissement cognitif dans le vieillissement: fonctions exécutives et apprentissage procédural lors d'une tâche

- informatisée de labyrinthe. In *Annales Médico-psychologiques, Revue Psychiatrique* (Vol. 164, No. 6, pp. 463-469). Elsevier Masson.
- Braver, T. S., Paxton, J. L., Locke, H. S., & Barch, D. M. (2009). Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(18), 7351-7356.
- Brehmer, Y., Li, S. C., Müller, V., Von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2007). Memory plasticity across the life span: uncovering children's latent potential. *Developmental Psychology, 43*(2), 465.
- Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., & Bäckman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage, 58*(4), 1110-1120.
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: training gains, transfer, and maintenance. *Training-Induced Cognitive and Neural Plasticity, 72*.
- Bier, B., & Belleville, S. (2010). Optimiser le fonctionnement cognitif au cours du vieillissement: facteurs de réserve, stimulation cognitive et plasticité cérébrale. *Neuropsychologia Latinoamericana, 2*(3).
- Briggs, S. D., Raz, N., & Marks, W. (1999). Age-related deficits in generation and manipulation of mental images: I. The role of sensorimotor speed and working memory. *Psychology and Aging, 14*(3), 427.
- Broadway, J. M., & Engle, R. W. (2010). Validating running memory span: Measurement of working memory capacity and links with fluid intelligence. *Behavior Research Methods, 42*(2), 563-570.
- Bruyer, R., & Scailquin, J. C. (1999). Assessment of visuospatial short effect of aging. *European Review of Applied Psychology, 49*(3), 175-181.
- Buck, K. K., Atkinson, T. M., & Ryan, J. P. (2008). Evidence of practice effects in variants of the Trail Making Test during serial assessment. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 30*(3), 312-318.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and Executive Function in Aging and AD Multiple Factors that Cause Decline and Reserve Factors that Compensate. *Neuron, 44*(1), 195-208.

- Bugajska, A., Clarys, D., Jarry, C., Tacconat, L., Tapia, G., Vanneste, S., & Isingrini, M. (2007). The effect of aging in recollective experience: The processing speed and executive functioning hypothesis. *Consciousness and Cognition, 16*(4), 797-808.
- Buitenweg, J. I., Murre, J. M., & Ridderinkhof, K. R. (2012). Brain training in progress: a review of trainability in healthy seniors. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 79-89.
- Bunce, D. (2003). Cognitive support at encoding attenuates age differences in recollective experience among adults of lower frontal lobe function. *Neuropsychology, 17*(3), 353-361.
- Burger, L., Uittenhove, K., Lemaire, P., & Tacconat, L. (under review). Strategy difficulty effects in young and older adults' episodic memory are modulated by inter-stimulus intervals and executive control processes. *Acta Psychologica*.
- Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., Hutchison, S., Perrig-Chiello, P., Däpp, C., Müller, M., ... & Perrig, W. J. (2008). Impact of working memory training on memory performance in old-old adults. *Psychology and Aging, 23*(4), 743.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging, 17*(1), 85-100.
- Cabeza, R., Grady, C. L., Nyberg, L., McIntosh, A. R., Tulving, E., Kapur, S., ... & Craik, F. I. (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: a positron emission tomography study. *The Journal of Neuroscience, 17*(1), 391-400.
- Cabeza, R., Nyberg, L., & Park, D. (Eds.). (2004). *Cognitive neuroscience of aging: Linking cognitive and cerebral aging*. Oxford University Press.
- Cagney, K. A., & Lauderdale, D. S. (2002). Education, wealth, and cognitive function in later life. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 57*(2), 163-172.
- Campanholo, K. R., Romão, M. A., Machado, M. A. R., Serrao, V. T., Coutinho, D. G. C., Benute, G. R. G., ... de Lucia, M. C. S. (2014). Performance of an adult Brazilian sample on the Trail Making Test and Stroop Test. *Dementia and Neuropsychologia, 8*, 26-31.
- Capitani, E., Barbarotto, R., & Laiacina, M. (1996). Does education influence the age-related cognitive decline? A further inquiry. *Developmental Neuropsychology, 12*(2), 231-240.
- Capron, J. (2015). Examen des fonctions cognitives en médecine interne. *La Revue de Médecine Interne, 36*(12), 818-824.

- Carlson, M. C., Xue, Q. L., Zhou, J., & Fried, L. P. (2009). Executive decline and dysfunction precedes declines in memory: the Women's Health and Aging Study II. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 64(1), 110-117.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: a theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97(3), 404-431.
- Catale, C., Lejeune, C., Schmitz, X., & Meulemans, T. (2014). Validation d'un test d'inhibition auprès d'enfants présentant un trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue Canadienne des Sciences du Comportement*, 46(1), 66-72
- Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental psychology*, 37(5), 715-730.
- Charness, N., & Campbell, J. I. (1988). Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(2), 115-129.
- Chasseigne, G., Lafon, P., & Mullet, É. (2002). Aging and rule learning: The case of the multiplicative law. *The American Journal of Psychology*.
- Chauvel, G., Maquestiaux, F., Didierjean, A., Joubert, S., Dieudonné, B., & Verny, M. (2011). [Use of nondeclarative and automatic memory processes in motor learning: how to mitigate the effects of aging]. *Geriatric et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement*, 9(4), 455-463.
- Chein, J. M., & Schneider, W. (2005). Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning. *Cognitive Brain Research*, 25(3), 607-623.
- Clark, J. E., Lanphear, A. K., & Riddick, C. C. (1987). The effects of videogame playing on the response selection processing of elderly adults. *Journal of Gerontology*, 42(1), 82-85.
- Clarys, D., Bugajska, A., Tapia, G., & Alexia Baudouin, A. (2009). Ageing, remembering, and executive function. *Memory*, 17(2), 158-168.
- Clarys, D., Souchay, C., Baudouin, A., Fay, S., Vanneste, S., Taconnat, L., & Isingrini, M. (2007). Contribution des fonctions exécutives et de la vitesse de traitement au vieillissement de la mémoire épisodique. *L'Année Psychologique*, 107(1), 15-38.

- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & Van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience*, *139*(1), 209-221.
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française*, *59*(1), 41-58.
- Collette, F., Schmidt, C., Scherrer, C., Adam, S., & Salmon, E. (2009). Specificity of inhibitory deficits in normal aging and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *30*(6), 875-889.
- Collette, F., Van der Linden, M., & Salmon, E. (1999). Executive dysfunction in Alzheimer's disease. *Cortex*, *35*(1), 57-72.
- Collie, A., Maruff, P., Darby, D. G., & Mc Stephen, M. (2003). The effects of practice on the cognitive test performance of neurologically normal individuals assessed at brief test–retest intervals. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *9*(03), 419-428.
- Cook, D. A., & Beckman, T. J. (2006). Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. *The American Journal of Medicine*, *119*(2), 166-e7-166-e16.
- Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resources. In F. I. M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 191–211). New York: Plenum.
- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972) Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, *11*(6), 671-684.
- Craik, F. I. M. (1986). A functional account of agedifferences in memory. In F. Flix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities, mechanisms and performances* (pp. 409-422). North-Holland: Elsevier.
- 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.
- Craik, F. I., & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(3), 131-138.
- Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*(3), 268-294.

- Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., ... & Chen, W. G. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*, 134(6), 1591-1609..
 Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*, 134(6), 1591-1609.
- Cunningham, J. M., Pliskin, N. H., Cassisi, J. E., Tsang, B., & Rao, S. M. (1997). Relationship between confabulation and measures of memory and executive function. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19(6), 867-877.
- Curran, T. (2000). Brain potentials of recollection and familiarity. *Memory & Cognition*, 28(6), 923-938.
- Curran, T. (2004). Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of recollection and familiarity. *Neuropsychologia*, 42(8), 1088-1106.
- Curran, T., & Cleary, A. M. (2003). Using ERPs to dissociate recollection from familiarity in picture recognition. *Cognitive Brain Research*, 15(2), 191-205.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 720-730.
- Daigneault, S., Braun, C. M., & Whitaker, H. A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8(1), 99-114.
- Damasio, A. R. (1985). Disorders of complex visual processing: agnosias, achromatopsia, Balint's syndrome, and related difficulties of orientation and construction. *Principles of Behavioral Neurology*, 26, 259-88.
- Davidson, P. S., & Glisky, E. L. (2002). Neuropsychological correlates of recollection and familiarity in normal aging. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2(2), 174-186.
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(2), 85-98.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior–anterior shift in aging. *Cerebral cortex*, 18(5), 1201-1209.
- Delbecq-DeRouesné, J., & Beauvois, M. F. (1989). Memory processes and aging: A defect of automatic rather than controlled processes?. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 1, 121-150.

- Deltour, J. J. (1993). Echelle de vocabulaire de Mill Hill de JC Raven. *Adaptation française et normes européennes du Mill Hill et du Standard Progressive Matrices de Raven (PM38)*. Braine-le-Château: Editions l'application des techniques modernes.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review, 12*(1), 45-75.
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of aging and cognition* (pp. 1–54).
- Desgranges, B., Eustache, F., & Rioux, P. (1994). Effets de l'âge et du niveau d'étude sur différents sous-systèmes mnésiques. *L'année Psychologique, 94*(3), 345-367.
- Dittmann-Kohli, F., Lachman, M. E., Kliegl, R., & Baltes, P. B. (1991). Effects of cognitive training and testing on intellectual efficacy beliefs in elderly adults. *Journal of Gerontology, 46*(4), P162-P164.
- Dorbath, L., Hasselhorn, M., & Titz, C. (2013). Effects of education on executive functioning and its trainability. *Educational Gerontology, 39*(5), 314-325.
- Dror, I. E., & Kosslyn, S. M. (1994). Mental imagery and aging. *Psychology and aging, 9*(1), 90-102.
- Duarte, A., Ranganath, C., Trujillo, C., & Knight, R. T. (2006). Intact recollection memory in high-performing older adults: ERP and behavioral evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(1), 33-47.
- Duchek, J. M. (1984). Encoding and retrieval differences between young and old: The impact of attentional capacity usage. *Developmental Psychology, 20*(6), 1173-1180.
- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms underlying reduction in Stroop interference with practice for young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 20*(2), 470-484.
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (2001). Measuring strategy production during associative learning: The relative utility of concurrent versus retrospective reports. *Memory & Cognition, 29*(2), 247-253
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1998). Aging and deficits in associative memory: What is the role of strategy production? *Psychology and Aging, 13*(4), 597-607.
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (2000). Updating knowledge about encoding strategies: A componential analysis of learning about strategy effectiveness from task experience. *Psychology and Aging, 15*(3), 462.

- Dunlosky, J., Hertzog, C., & Powell-Moman, A. (2005). The contribution of mediator-based deficiencies to age differences in associative learning. *Developmental Psychology, 41*(2), 389-400.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Steinhaus, L. A., Shearer, D. E., & Dustman, T. J. (1992). The effects of videogame playing on neuropsychological performance of elderly individuals. *Journal of Gerontology, 47*(3), P168-P171.
- Duverne, S., & Lemaire, P. (2004). Age-related differences in arithmetic problem-verification strategies. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 59*(3), 135-142.
- Dye, O. A. (1979). Effects of practice on Trail Making Test performance. *Perceptual and Motor Skills, 48*(1), 296-296.
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders Imaging in clinical neuroscience. *British Medical Bulletin, 65*(1), 49-59.
- Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., ... & Kramer, A. F. (2007). Training-induced plasticity in older adults: effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiology of Aging, 28*(2), 272-283.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: towards the integration of current multisystem models of memory. *Neuropsychology Review, 18*(1), 53-69.
- Eysenck, M. W., & Eysenck, M. C. (1979). Processing depth, elaboration of encoding, memory stores, and expended processing capacity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 5*(5), 472.
- Faria, C. D. A., Alves, H. V. D., & Charchat-Fichman, H. (2015). The most frequently used tests for assessing executive functions in aging. *Dementia & Neuropsychologia, 9*(2), 149-155.
- Fay, S., Isingrini, M., & Clarys, D. (2005). Effects of depth-of-processing and ageing on word-stem and word-fragment implicit memory tasks: Test of the lexical-processing hypothesis. *European Journal of Cognitive Psychology, 17*(6), 785-802.
- Fay, S., Le Guidec, M.-L. & Isingrini, M. (2005). Mémoire implicite et vieillissement : étude de l'influence du type d'encodage et du fonctionnement exécutif. In L. Taconnat, D. Clarys, S. Vanneste & M. Isingrini (Eds), *Manifestations cognitives du vieillissement psychologique, Actes des VIIèmes Journées du Vieillissement Cognitif*. Editions Publibook, Paris, 67-92.

- Fisk, J. E., & Sharp, C. A. (2004). Age-related impairment in executive functioning: Updating, inhibition, shifting, and access. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26(7), 874-890.
- Fjell, A. M., Walhovd, K. B., & Reinvang, I. (2005). Age-differences in verbal recognition memory revealed by ERP. *Clinical EEG and Neuroscience*, 36(3), 176-187
- Fjell, A. M., Walhovd, K. B., Reinvang, I., Lundervold, A., Dale, A. M., Quinn, B. T., ... & Fischl, B. (2005). Age does not increase rate of forgetting over weeks—Neuroanatomical volumes and visual memory across the adult life-span. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11(01), 2-15.
- Fluck, E., Fernandes, C., & File, S. E. (2001). Are lorazepam-induced deficits in attention similar to those resulting from aging?. *Journal of Clinical Psychopharmacology*, 21(2), 126-130.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- Foubert-Samier, A., Catheline, G., Amieva, H., Dilharreguy, B., Helmer, C., Allard, M., & Dartigues, J. F. (2012). Education, occupation, leisure activities, and brain reserve: a population-based study. *Neurobiology of Aging*, 33(2), 423-e15.
- Fournet, N., Roulin, J. L., Vallet, F., Beaudoin, M., Agrigoroaei, S., Paignon, A., ... & Desrichard, O. (2012). Evaluating short-term and working memory in older adults: French normative data. *Aging & mental health*, 16(7), 922-930.
- Franck, N. (2012). Remédiation cognitive en psychiatrie. *Journal de thérapie comportementale et cognitive*, 22(3), 81-85.
- Friedman, D., & Johnson, R. (2000). Event-Related Potential (ERP) Studies of Memory Encoding and Retrieval: A Selective Review. *Microscopy Research and Technique* (Vol. 51, pp. 6-28).
- Friedman, D., Nessler, D., & Johnson, R. (2007). Memory encoding and retrieval in the aging brain. *Clinical EEG and Neuroscience*, 38(1), 2-7.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2011). Developmental trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: a behavioral genetic analysis. *Developmental Psychology*, 47(5), 1410-1430.

- Froger, C., Bouazzaoui, B., Isingrini, M., & Taconnat, L. (2012). Study time allocation deficit of older adults: The role of environmental support at encoding?. *Psychology and Aging, 27*(3), 577-588.
- Froger, C., Toczé, C., & Taconnat, L. (2014). Comment la modification du comportement stratégique peut contribuer à l'explication du déclin mnésique au cours du vieillissement. *L'Année Psychologique, 114*(02), 355-387.
- Fuster, J. M. (1991). The prefrontal cortex and its relation to behavior. *Progress in Brain Research, 87*, 201-211.
- Gardiner, J. M. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition, 16*(4), 309-313.
- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1993). Recognition memory and awareness: An experimental approach. *European Journal of Cognitive Psychology, 5*(3), 337-346.
- Ghoneim, M. M., & Mewaldt, S. P. (1990). Benzodiazepines and human memory: a review. *Anesthesiology, 72*(5), 926-938.
- Giffard, B., Desgranges, B., & Eustache, F. (2001). Le vieillissement de la mémoire: vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et Société, (2)*, 33-47.
- Glisky, E. L., Polster, M. R., & Routhieux, B. C. (1995). Double dissociation between item and source memory. *Neuropsychology, 9*, 229-229.
- Godefroy, O. (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques: évaluation en pratique clinique*. Groupe de Boeck.
- Godefroy, O., Jeannerod, M., Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Lobe frontal, fonctions exécutives et contrôle cognitif: Frontal lobe, executive functions and cognitive control. *Revue Neurologique, 164*, 119-127.
- Goldstein, J., Cajko, L., Oosterbroek, M., Michielsen, M., Van Houten, O., & Salverda, F. (1997). Video games and the elderly. *Social Behavior and Personality: an International Journal, 25*(4), 345-352.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Horwitz, B., Maisog, J. M., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., et al. (1995). Age-related reductions in human recognition memory due to impaired encoding. *Science, 269*(5221), 218-221.

- Grafman, J., Jonas, B., & Salazar, A. (1990). Wisconsin Card Sorting Test performance based on location and size of neuroanatomical lesion in Vietnam veterans with penetrating head injury. *Perceptual and Motor Skills*, 71(3), 1120-1122.
- Grégoire, J. (1993). Intelligence et vieillissement au WAIS-R, une analyse transversale de l'échantillon d'étalonnage français avec contrôle du niveau scolaire. *L'Année Psychologique*, 93(3), 379-400.
- Gronwall, D. M., & Sampson, H. (1974). The psychological effects of concussion.
- Gross, A. L., Parisi, J. M., Spira, A. P., Kueider, A. M., Ko, J. Y., Saczynski, J. S., ... & Rebok, G. W. (2012). Memory training interventions for older adults: a meta-analysis. *Aging & Mental Health*, 16(6), 722-734.
- Grosselin, A., Royer, A., Schneider, F. C. G., Brouillet, D., Martin, S., Pellet, J., ... & Massoubre, C. (2010). Inhibition des réponses automatiques au test du Hayling dans la schizophrénie. *L'Encéphale*, 36(4), 277-284.
- Guerrien, A., Leconte-Lambert, C., & Leconte, P. (1993). Time of day effect on attention and memory efficiency: is chronopsychology a method for studying the function of the human subjects?. *Psychologica Belgica*, 33(2), 143-153.
- Guillaume, C., Guillery-Girard, B., Eustache, F., & Desgranges, B. (2009b). Mémoire et vieillissement: données comportementales et électrophysiologiques. *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie*, 9(49), 3-9.
- Haaland, K. Y., Vranes, L. F., Goodwin, J. S., & Garry, P. J. (1987). Wisconsin Card Sort Test performance in a healthy elderly population. *Journal of Gerontology*, 42(3), 345-346.
- Hampstead, B. M., Stringer, A. Y., Stilla, R. F., Giddens, M., & Sathian, K. (2012). Mnemonic strategy training partially restores hippocampal activity in patients with mild cognitive impairment. *Hippocampus*, 22(8), 1652-1658.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108(3), 356.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193-225.
- Hashimoto, R., Meguro, K., Lee, E., Kasai, M., Ishii, H., & Yamaguchi, S. (2006). Effect of age and education on the Trail Making Test and determination of normative data for Japanese elderly people: The Tajiri Project. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 60(4), 422-428.

- Haug, H., & Eggers, R. (1991). Morphometry of the human cortex cerebri and corpus striatum during aging. *Neurobiology of Aging*, *12*(4), 336-338.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2008). Enrichment effects on adult cognitive development can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced?. *Psychological Science in the Public Interest*, *9*(1), 1-65.
- Hodzik, S., & Lemaire, P. (2011). Inhibition and shifting capacities mediate adults' age-related differences in strategy selection and repertoire. *Acta Psychologica*, *137*(3), 335-344.
- Hoyer, W. J., & Verhaeghen, P. (2006). Memory aging. *Handbook of the psychology of aging*, *6*, 209-232.
- Houx, P. J., Jolles, J., & Vreeling, F. W. (1993). Stroop interference: aging effects assessed with the Stroop Color-Word Test. *Experimental Aging Research*, *19*(3), 209-224.
- Hubert, V., Beaunieux, H., Chételat, G., Platel, H., Landeau, B., Danion, J. M., ... & Eustache, F. (2007). The dynamic network subserving the three phases of cognitive procedural learning. *Human Brain Mapping*, *28*(12), 1415-1429.
- Isingrini, M., & Tacconnat, L. (1997). Aspects du vieillissement normal de la mémoire. *Psychologie Française*, *42*(4), 319-331.
- Isingrini, M., & Tacconnat, L. (2008). Mémoire épisodique, fonctionnement frontal et vieillissement [Episodic memory, frontal functioning, and aging]. *Revue Neurologique*, *164*, S91-S95.
- Isingrini, M., & Vazou, F. (1997). Relation between fluid intelligence and frontal lobe functioning in older adults. *The International Journal of Aging & Human Development*, *45*(2), 99-109.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-Back task as a working memory measure. *Memory*, *18*(4), 394-412.
- Jeantin, A., & Pennequin, V. (2006). Explication du déclin du raisonnement inductif par le déficit exécutif lié à l'âge. *L'année Psychologique*, *106*(2), 213-234.
- Kail, R., & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, *86*(2), 199-225.
- Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). Réserve cognitive et fonctionnement cérébral au cours du vieillissement normal et de la maladie d'Alzheimer. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du Vieillissement*, *6*(2), 97-105.

- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. (2007). Working memory, attention control, and the N-Back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *33*(3), 615-622.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, *12*(6), 978-990.
- Karbach, J., & Küper, K. (2016). Cognitive Reserve. *The Encyclopedia of Adulthood and Aging*.
- Karbach, J., Mang, S., & Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychology and Aging*, *25*(3), 677-683.
- Karbach, J., & Schubert, T. (2013). Training-induced cognitive and neural plasticity. *Training-induced cognitive and neural plasticity*, *9*, 6-.
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, *25*(11), 2027-2037.
- Katzman, R. (1993). Education and the prevalence of dementia and Alzheimer's disease. *Neurology*, *43*, 13-20.
- Kausler, D. H. (1994). *Learning and memory in normal aging* (pp. 276-305). San Diego, CA: Academic Press.
- Kelly, A. C., Hester, R., Foxe, J. J., Shpaner, M., & Garavan, H. (2006). Flexible cognitive control: effects of individual differences and brief practice on a complex cognitive task. *Neuroimage*, *31*(2), 866-886.
- Kerns, J. G., Nuechterlein, K. H., Braver, T. S., & Barch, D. M. (2008). Executive functioning component mechanisms and schizophrenia. *Biological Psychiatry*, *64*(1), 26-33.
- Kimchi, R. (1992). Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: a critical review. *Psychological Bulletin*, *112*(1), 24-38.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, *55*(4), 352-358.
- Kliegl, R., Smith, J., & Baltes, P. B. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, *26*(6), 894-904.
- Koch, K., Wagner, G., von Consbruch, K., Nenadic, I., Schultz, C., Ehle, C., ... & Schlösser, R. (2006). Temporal changes in neural activation during practice of information retrieval from short-term memory: an fMRI study. *Brain Research*, *1107*(1), 140-150.

- Kortte, K. B., Horner, M. D., & Windham, W. K. (2002). The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set?. *Applied Neuropsychology*, 9(2), 106-109.
- 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), 339-378.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., & Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: a comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(1), 50-76.
- Krampe, R. T., & Ericsson, K. A. (1996). Maintaining excellence: deliberate practice and elite performance in young and older pianists. *Journal of Experimental Psychology: general*, 125(4), 331-359.
- Kray, J., Eber, J., & Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: a compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age?. *Developmental Science*, 11(2), 223-236.
- Kray, J., Li, K. Z., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: The role of task uncertainty. *Brain and Cognition*, 49(3), 363-381.
- Krenk, L., Rasmussen, L. S., Siersma, V. D., & Kehlet, H. (2012). Short-term practice effects and variability in cognitive testing in a healthy elderly population. *Experimental Gerontology*, 47(6), 432-436.
- Krolak-Salmon, P., & Thomas-Antérion, C. (2010). Fonctions exécutives, attention et mémoire de travail au cours du vieillissement. *Revue de Neuropsychologie*, 2(5), 3-6.
- Lam, M., Eng, G. K., Rapisarda, A., Subramaniam, M., Kraus, M., Keefe, R. S., & Collinson, S. L. (2013). Formulation of the age–education index: Measuring age and education effects in neuropsychological performance. *Psychological Assessment*, 25(1), 67-70.
- Langeslag, S. J., & Van Strien, J. W. (2008). Age differences in the emotional modulation of ERP old/new effects. *International Journal of Psychophysiology*, 70(2), 105-114.
- Le Gall, D., Besnard, J., Havet, V., Pinon, K., & Allain, P. (2009). Contrôle exécutif, cognition sociale, émotions et métacognition. *Revue de Neuropsychologie*, 1(1), 24-33.
- Leibovici, D., Ritchie, K., Ledésert, B., & Touchon, J. (1996). Does education level determine the course of cognitive decline?. *Age and Ageing*, 25(5), 392-397.

- Lemaire, P. (2010). Cognitive strategy variations during aging. *Current Directions in Psychological Science, 19*(6), 363-369.
- Lemaire, P. (2015). Vieillissement cognitif et adaptations stratégiques. *De Boeck : Neuropsychologie*.
- Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*(1), 83-97.
- Lemay, S., Bédard, M. A., Rouleau, I., & Tremblay, P. L. (2004). Practice effect and test-retest reliability of attentional and executive tests in middle-aged to elderly subjects. *The Clinical Neuropsychologist, 18*(2), 284-302.
- Lenahan, M. E., Summers, M. J., Saunders, N. L., Summers, J. J., & Vickers, J. C. (2015). Relationship between education and age-related cognitive decline: a review of recent research. *Psychogeriatrics, 15*(2), 154-162.
- Lévy, R., & Pillon, B. (2006). Troubles cognitifs non démentiels de la maladie de Parkinson. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du Vieillissement, 4*(1), 25-34.
- Lezak, M. (1995). Neuropsychological testing. *University Press, Oxford*.
- Li, K. Z., & Bosman, E. A. (1996). Age differences in Stroop-like interference as a function of semantic relatedness. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 3*(4), 272-284.
- Li, S. C., Lindenberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., & Baltes, P. B. (2004). Lifespan transformations in the couplings of mental abilities and underlying cognitive processes. *Psychological Science, 15*(3), 155-163.
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Röcke, C., Smith, J., & Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging, 23*(4), 731-742.
- Lindenberger, U., Kliegl, R., & Baltes, P. B. (1992). Professional expertise does not eliminate age differences in imagery-based memory performance during adulthood. *Psychology and Aging, 7*(4), 585-593.
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: A user's guide to the stop signal paradigm. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds), *Inhibitory processes in attention, memory, and language*. (pp. 198-239). San Diego: Academic Press.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin, 136*(4), 659-676.

- Lövdén, M., Brehmer, Y., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2012). Training-induced compensation versus magnification of individual differences in memory performance. *Frontiers in Human Neuroscience, 141*(6), 1-14.
- Luo, L., & Craik, F. I. (2008). Aging and memory: A cognitive approach. *The Canadian Journal of Psychiatry, 53*(6), 346-353.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. London: Tavistock.
- Luria, A. R., Karpov, B. A., & Yarbuss, A. L. (1966). Disturbances of active visual perception with lesions of the frontal lobes. *Cortex, 2*(2), 202-212.
- Luriiia, A. R. (1966). *Human brain and psychological processes*. Harper & Row.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review, 19*(4), 504-522.
- Luszcz, M. A., & Bryan, J. (1999). Toward understanding age-related memory loss in late adulthood. *Gerontology, 45*(1), 2-9.
- Mackinnon, A., & Mulligan, R. (2005). Estimation de l'intelligence prémorbide chez les francophones. *L'Encéphale, 31*(1), 31-43.
- Manly, J. J., Touradji, P., Tang, M. X., & Stern, Y. (2003). Literacy and memory decline among ethnically diverse elders. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 25*(5), 680-690.
- Maquestiaux, F. (2016). Qualitative attentional changes with age in doing two tasks at once. *Psychonomic Bulletin & Review, 23*, 54-41.
- Mark, R. E., & Rugg, M. D. (1998). Age effects on brain activity associated with episodic memory retrieval. An electrophysiological study. *Brain, 121*(5), 861-873.
- May, C. P., Hasher, L. & Foong, N. (2005), "Implicit Memory, Age, and Time of Day: Paradoxical Priming Effects," *Psychological Science, 16*(2), 96-100.
- McCaffrey, R. J., Ortega, A., & Haase, R. F. (1993). Effects of repeated neuropsychological assessments. *Archives of Clinical Neuropsychology, 8*(6), 519-524.
- McComb, E., Tuokko, H., Brewster, P., Chou, P. H. B., Kolitz, K., Crossley, M., & Simard, M. (2011). Mental Alternation Test: Administration mode, age, and practice effects. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 33*(2), 234-241.

- McDaniel, M. A., Einstein, G. O., & Jacoby, L. L. (2008). New considerations in aging and memory: the glass may be half full. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 251-310). New York: Psychology Press.
- McGurk, S. R., Twamley, E. W., Sitzer, D. I., McHugo, G. J., & Mueser, K. T. (2007). A meta-analysis of cognitive remediation in schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*.
- Mejia, S., Pineda, D., Alvarez, L. M., & Ardila, A. (1998). Individual Differences in Memory and Executive Function Abilities During Normal Aging. *International Journal of Neuroscience*, *95*(3-4), 271-284.
- Milham, M. P., Banich, M. T., Claus, E. D., & Cohen, N. J. (2003). Practice-related effects demonstrate complementary roles of anterior cingulate and prefrontal cortices in attentional control. *Neuroimage*, *18*(2), 483-493.
- Mittenberg, W., Seidenberg, M., O'leary, D. S., & DiGiulio, D. V. (1989). Changes in cerebral functioning associated with normal aging. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *11*(6), 918-932.
- 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.
- 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.
- Morice, R., & Delahunty, A. (1996). Frontal/executive impairments in schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, *22*(1), 125-137.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, *81*(2), 111-121.
- Moscovitch, M., & Winocur, G. (1992). The neuropsychology of memory and aging. In F. I. M. Craik and T. A. Salthouse (Eds), *The Handbook of Aging and Cognition*, 315-371. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mozolic, J. L., Long, A. B., Morgan, A. R., Rawley-Payne, M., & Laurienti, P. J. (2011). A cognitive training intervention improves modality-specific attention in a randomized controlled trial of healthy older adults. *Neurobiology of Aging*, *32*(4), 655-668.

- Neill, E., & Rossell, S. L. (2013). Executive functioning in schizophrenia: The result of impairments in lower order cognitive skills?. *Schizophrenia Research*, *150*(1), 76-80.
- Noack, H., Lövdén, M., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2013). Age-related differences in temporal and spatial dimensions of episodic memory performance before and after hundred days of practice. *Psychology and Aging*, *28*(2), 467-480.
- Noice, H., Noice, T., & Staines, G. (2004). A short-term intervention to enhance cognitive and affective functioning in older adults. *Journal of aging and health*, *16*(4), 562-585.
- Osorio, A., Ballesteros, S., Fay, S., & Pouthas, V. (2009). The effect of age on word-stem cued recall: A behavioral and electrophysiological study. *Brain Research*, *1289*, 56-68.
- Owen, A. M., Downes, J. J., Sahakian, B. J., Polkey, C. E., & Robbins, T. W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, *28*(10), 1021-1034.
- Pacaud S. (1990). Performance in relation to age and educational level: A monumental research. *Experimental Aging Research*, *3*, 123-136.
- Paivio, A., & Csapo, K. (1969). Concrete image and verbal memory codes. *Journal of Experimental Psychology*, *80*(2p1), 279-285.
- Paivio, A., & Csapo, K. (1971). Short-term sequential memory for pictures and words. *Psychonomic Science*, *24*(2), 50-51.
- Paivio, A., & Csapo, K. (1973). Picture superiority in free recall: Imagery or dual coding?. *Cognitive Psychology*, *5*(2), 176-206.
- Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes, A. R. (1987). Neural correlates of encoding in an incidental learning paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *67*(4), 360-371.
- Paller, K. A., & Wagner, A. D. (2002). Observing the transformation of experience into memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(2), 93-102.
- Palmer, B. W., Heaton, R. K., Paulsen, J. S., Kuck, J., Braff, D., Harris, M. J., ... & Jeste, D. V. (1997). Is it possible to be schizophrenic yet neuropsychologically normal?. *Neuropsychology*, *11*(3), 437-446.
- 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*, 299-320.

- Park, D. C., Lodi-Smith, J., Drew, L., Haber, S., Hebrank, A., Bischof, G. N., & Aamodt, W. (2014). The impact of sustained engagement on cognitive function in older adults the Synapse project. *Psychological Science, 25*(1), 103-112.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual review of psychology, 60*, 173.
- Parkinson, S. R. (1980). Aging and amnesia: A running span analysis. *Bulletin of the Psychonomic Society, 15*(4), 215-217.
- Perret, E. (1974). The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in verbal categorical behaviour. *Neuropsychologia, 12*(3), 323-330.
- Peter-Favre, C., & Dewilde, V. (1999). Lobes frontaux et langage. *Neuropsychologie des Lobes Frontaux, 203-235*.
- Peters, F., Majerus, S., Olivier, L., Van der Linden, M., Salmon, E., & Collette, F. (2007). A multicomponent exploration of verbal short-term storage deficits in normal aging and Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 29*(4), 405-417.
- Piolino, P., Chételat, G., Matuszewski, V., Landeau, B., Mézenge, F., Viader, F., De La Sayette, V., Eustache, F., & Desgranges, B. (2007). In search of autobiographical memories: A PET study in the frontal variant of frontotemporal dementia. *Neuropsychologia, 45*(12), 2730-2743.
- Plaie, T., & Isingrini, M. (2003). Effet différentiel du vieillissement sur les processus impliqués dans la génération d'images mentales. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 57*(4), 304.
- Plaie, T., & Thomas, D. (2008). Implications des processus d'imagerie mentale dans le déficit du codage imagé des informations verbales au cours du vieillissement normal. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale, 62*(2), 117-126.
- Plumet, J., Gil, R., & Gaonac'h, D. (2005). Neuropsychological assessment of executive functions in women: effects of age and education. *Neuropsychology, 19*(5), 566-577.
- Poon, L. W., Rubin, D. C., & Wilson, B. A. (Eds.). (1989). *Everyday cognition in adulthood and late life*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Puglisi, J. T., Park, D. C., Smith, A. D., & Dudley, W. N. (1988). Age differences in encoding specificity. *Journal of Gerontology*, 43(6), P145-P150.
- Rabinowitz, J. C. (1984). Aging and recognition failure. *Journal of Gerontology*, 39(1), 65-71.
- Rabinowitz, J. C., Craik, F. I., & Ackerman, B. P. (1982). A processing resource account of age differences in recall. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 36(2), 325.
- Raffard, S., & Bayard, S. (2012). Understanding the executive functioning heterogeneity in schizophrenia. *Brain and Cognition*, 79(1), 60-69.
- Rajaram, S. (1993). Remembering and knowing: Two means of access to the personal past. *Memory and Cognition*, 21, 89-89.
- Rasmusson, X. D., Zonderman, A. B., Kawas, C., & Resnick, S. M. (1998). Effects of age and dementia on the Trail Making Test. *The Clinical Neuropsychologist*, 12(2), 169-178.
- Raucher-Chéné, D., Cuervo-Lombard, C. V., Bera-Potelle, C., & Havet, J. M. (2011). Schizophrénie du sujet âgé: particularités cliniques, cognitives et sociales. *NPG Neurologie-Psychiatrie-Gériatrie*, 11(64), 157-165.
- Raven, J.C., Court, J.H., & Raven, J. (1986). *Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary scales*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings.
- Rebok, G. W., Carlson, M. C., & Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62(Special Issue 1), 53-61.
- Redick, T. S., Broadway, J. M., Meier, M. E., Kuriakose, P. S., Unsworth, N., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2012). Measuring working memory capacity with automated complex span tasks. *European Journal of Psychological Assessment*.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8(3), 271-276.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1994). A selective and critical review of neuropsychological deficits and the frontal lobes. *Neuropsychology Review*, 4(3), 161-198.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Lustig, C. (2005). Brain aging: reorganizing discoveries about the aging mind. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 245-251.

- Reuter-Lorenz, P. A., & Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Sciences*, 17, 177–182.
- Rhodes, M. G. (2004). Age-Related Differences in Performance on the Wisconsin Card Sorting Test: A Meta-Analytic Review. *Psychology and Aging*, 19(3), 482-494.
- Richardson-Klavehn, A., Gardiner, J. M., & Java, R.I. (1996). Memory: Task dissociations, process dissociations and dissociations of consciousness. In G. Underwood (Ed.), *Implicit cognition* (pp. 85-158). New York: Oxford University Press.
- Richmond, L. L., Morrison, A. B., Chein, J. M., & Olson, I. R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychology and Aging*, 26(4), 813-822.
- Ritchie, S. J., Bates, T. C., Der, G., Starr, J. M., & Deary, I. J. (2013). Education is associated with higher later life IQ scores, but not with faster cognitive processing speed. *Psychology and Aging*, 28(2), 515-521.
- Robert, M., & Michel, E. (2008). Les troubles des fonctions exécutives dans les pathologies psychiatriques. *Godefroy O, GREFEX éd. Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. Marseille: Solal*, 165-77.
- Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (1991). Age-related differences in the maintenance and modification of automatic processes: Arithmetic Stroop interference. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 33(1), 45-56.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Rönnlund, M., Lövdén, M., & Nilsson, L. G. (2001). Adult age differences in Tower of Hanoi performance: Influence from demographic and cognitive variables. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8(4), 269-283.
- Saverino, C., Fatima, Z., Sarraf, S., Oder, A., Strother, S. C., & Grady, C. L. (2016). The Associative Memory Deficit in Aging Is Related to Reduced Selectivity of Brain Activity during Encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Salthouse, T. A. (1988). Resource-reduction interpretations of cognitive aging. *Developmental Review*, 8(3), 238-272.
- Salthouse, T. A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental Review*, 10(1), 101-124.
- Salthouse, T. A. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 535-543.

- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*(3), 403-427.
- Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, *54*(1), 35-54.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*(4), 566-593.
- Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, *27*(5), 763-776.
- Saoud, M., & d'Amato, T. (2006). *La schizophrénie de l'adulte*. Paris: Masson.
- Satz, P. (1993). Brain reserve capacity on symptom onset after brain injury: a formulation and review of evidence for threshold theory. *Neuropsychology*, *7*(3), 273.
- Sauzéon, H., N'Kaoua, B., & Claverie, B. (2001). The Effect of self-Generated Category Cues on Organizational Processing in the Recall Performance of Young, Middle-Old and Old Adults. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (2001/2, 5).
- Saykin, A. J., Gur, R. C., Gur, R. E., Shtasel, D. L., Flannery, K. A., Mozley, L. H., ... & Mozley, P. D. (1995). Normative neuropsychological test performance: effects of age, education, gender and ethnicity. *Applied Neuropsychology*, *2*(2), 79-88.
- Scailquin, R. B. J. C. (2000). Effects of aging on the generation of mental images. *Experimental Aging Research*, *26*(4), 337-351.
- Schacter, D. L., Alpert, N. M., Savage, C. R., Rauch, S. L., & Albert, M. S. (1996). Conscious recollection and the human hippocampal formation: evidence from positron emission tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *93*(1), 321-325.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, *84*(1), 1.
- Schmidt, C., Peigneux, P., Cajochen, C., & Collette, F. (2012). Adapting test timing to the sleep-wake schedule: effects on diurnal neurobehavioral performance changes in young evening and older morning chronotypes. *Chronobiology International*, *29*(4), 482-490.
- Schmiedek, F., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2009). Interference and facilitation in spatial working memory: age-associated differences in lure effects in the n-Back paradigm. *Psychology and Aging*, *24*(1), 203-210.

- Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: Findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience, 2*, 27.
- Senkfor, A. J., & Van Petten, C. (1998). Who said what? £An event-related potential investigation of source and item memory. *Learning, Memory, 24*(4), 1005-1025.
- Shallice, T. (1988). Specialisation within the semantic system. *Cognitive Neuropsychology, 5*(1), 133-142.
- Shallice, T. I. M., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain, 114*(2), 727-741.
- Shenton, M. E., Dickey, C. C., Frumin, M., & McCarley, R. W. (2001). A review of MRI findings in schizophrenia. *Schizophrenia Research, 49*(1), 1-52.
- Sherman, E. M., Strauss, E., & Spellacy, F. (1997). Validity of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT) in adults referred for neuropsychological assessment after head injury. *The Clinical Neuropsychologist, 11*(1), 34-45.
- Shimamura, A. P., Berry, J. M., Mangels, J. A., Rusting, C. L., & Jurica, P. J. (1995). Memory and cognitive abilities in university professors: Evidence for successful aging. *Psychological Science, 271*-277.
- Shimamura, A. P., Janowsky, J. S., & Squire, L. R. (1990). Memory for the temporal order of events in patients with frontal lobe lesions and amnesic patients. *Neuropsychologia, 28*(8), 803-813.
- Shing, Y. L., Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2012). Memory updating practice across 100 days in the COGITO study. *Psychology and Aging, 27*(2), 451-461.
- Silver, H., & Bilker, W. B. (2013). Pathways to similar executive impairment: comparison of schizophrenia patients and healthy aging individuals. *Psychiatry Research, 210*(3), 694-701.
- Sindi, S., Fiocco, A. J., Juster, R. P., Pruessner, J., & Lupien, S. J. (2013). When we test, do we stress? Impact of the testing environment on cortisol secretion and memory performance in older adults. *Psychoneuroendocrinology, 38*(8), 1388-1396.
- Ska, B., & Joannette, Y. (2006). Vieillissement normal et cognition. *M/S: Médecine Sciences, 22*(3), 284-287.
- Sorel, O., & Pennequin, V. (2008). Aging of the planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition, 66*(2), 196-201.

- Souchay, C., Isingrini, M., & Espagnet, L. (2000). Aging, episodic memory feeling-of-knowing, and frontal functioning. *Neuropsychology, 14*(2), 299.
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1994). Memory for facts, source, and context: Can frontal lobe dysfunction explain age-related differences?. *Psychology and Aging, 9*(1), 149-159
- Staff, R. T., Murray, A. D., Deary, I. J., & Whalley, L. J. (2004). What provides cerebral reserve?. *Brain, 127*(5), 1191-1199.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society, 8*(03), 448-460.
- Stern, Y. (2003). The Concept of Cognitive Reserve: A Catalyst for Research. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 25*(5), 589-593.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia, 47*(10), 2015-2028.
- Stigsdotter Neely, A. , & Bäckman, L. (1995). Effects of multifactorial memory training in old age: Generalizability across tasks and individuals. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 50*(3), 134-140.
- Stine-Morrow, E. A., & Basak, C. (2011). Cognitive interventions. *Handbook of the Psychology of aging, 7*, 153-171.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*(6), 643.
- Taconnat, L., Baudouin, A., Fay, S., Clarys, D., Vanneste, S., Tournelle, L., & Isingrini, M. (2006). Aging and implementation of encoding strategies in the generation of rhymes: the role of executive functions. *Neuropsychology, 20*(6), 658-665.
- Taconnat, L., Baudouin, A., Fay, S., Raz, N., Bouazzaoui, B., El-Hage, W., ... & Ergis, A. M. (2010). Episodic memory and organizational strategy in free recall in unipolar depression: The role of cognitive support and executive functions. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 32*(7), 719-727.
- Taconnat, L., Clarys, D., Vanneste, S., Bouazzaoui, B., & Isingrini, M. (2007). Aging and strategic retrieval in a cued-recall test: The role of executive functions and fluid intelligence. *Brain and Cognition, 64*(1), 1-6.
- Taconnat, L., Raz, N., Toczé, C., Bouazzaoui, B., Sauzéon, H., Fay, S., & Isingrini, M. (2009). Ageing and organisation strategies in free recall: The role of cognitive flexibility. *European Journal of Cognitive Psychology, 21*(2-3), 347-365.

- Taillade, M., Sauzéon, H., Pala, P. A., Déjos, M., Larrue, F., Gross, C., & N’Kaoua, B. (2013). Age-related way finding differences in real large-scale environments: detrimental motor control effects during spatial learning are mediated by executive decline?. *PloS one*, *8*(7), e67193.
- Toczé, C., Bouazzaoui, B., & Taconnat, L. (2012). Vieillesse et mémoire: Rôle de la flexibilité cognitive dans l’utilisation de stratégies mnésiques adaptées et dans le rappel. *Regards Croisés des Sciences Cognitives sur la Créativité, la Motivation et le Vieillesse*, 125-137.
- Tombaugh, T. N. (2004). Trail Making Test A and B: normative data stratified by age and education. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *19*(2), 203-214.
- Tombaugh, T. N. (2006). A comprehensive review of the paced auditory serial addition test (PASAT). *Archives of Clinical Neuropsychology*, *21*(1), 53-76.
- Tournier, I., & Postal, V. (2011). Strategy selection and aging: Impact of item concreteness in paired-associate task. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *18*(2), 195-213.
- Tranter, L. J., & Koutstaal, W. (2008). Age and flexible thinking: An experimental demonstration of the beneficial effects of increased cognitively stimulating activity on fluid intelligence in healthy older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *15*(2), 184-207.
- Trott, C. T., Friedman, D., Ritter, W., Fabiani, M., & Snodgrass, J. G. (1999). Episodic priming and memory for temporal source: Event-related potentials reveal age-related differences in prefrontal functioning. *Psychology and Aging*, *14*(3), 390-413.
- Tucker, A.M., & Stern, Y. (2011). Cognitive reserve in aging. *Current Alzheimer Research*, *8*(4), 354-360.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving, G. H. Bower & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory*. New York: Academic Press.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Tulving, E. (1991). Concepts of human memory. In L.R. Squire, N. M. Weinberger, G. L. Lynch & J. L. McGaugh (Eds.), *Memory: Organization and locus of change* (pp. 3–32). Oxford: Oxford University Press.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo vadis? In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neuroscience* (pp. 839-847). Cambridge: A Bradford book, The MIT Press.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, *80*(5), 352-373.

- Uittenhove, K., Burger, L., Tacconat, L., & Lemaire, P. (2014). Sequential difficulty effects during execution of memory strategies in young and older adults. *Memory*, 23(6), 806-816.
- Valeri, G., & Speranza, M. (2009). Modèles neuropsychologiques dans l'autisme et les troubles envahissants du développement. *Développements*, (1), 34-48.
- Van Der Elst, W. I. M., Van Boxtel, M. P., Van Breukelen, G. J., & Jolles, J. (2005). Rey's verbal learning test: normative data for 1855 healthy participants aged 24–81 years and the influence of age, sex, education, and mode of presentation. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11(03), 290-302.
- Van Der Elst, W., Van Boxtel, M. P., Van Breukelen, G. J., & Jolles, J. (2008). Detecting the significance of changes in performance on the Stroop Color-Word Test, Rey's Verbal Learning Test, and the Letter Digit Substitution Test: the regression-based change approach. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(01), 71-80.
- Van der Linden, M., Brédart, S., & Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. *British Journal of Psychology*, 85(1), 145-152.
- Van Gerven, P. W., Meijer, W. A., & Jolles, J. (2007). Education does not protect against age-related decline of switching focal attention in working memory. *Brain and Cognition*, 64(2), 158-163.
- Velanova, K., Lustig, C., Jacoby, L. L., & Buckner, R. L. (2007). Evidence for frontally mediated controlled processing differences in older adults. *Cerebral Cortex*, 17(5), 1033-1046.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(2), 332-339.
- Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 134-154.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998). Aging and the Stroop effect: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, 13(1), 120.
- Verhaeghen, P., & Marcoen, A. (1996). On the mechanisms of plasticity in young and older adults after instruction in the method of loci: evidence for an amplification model. *Psychology and Aging*, 11(1), 164-178.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A., & Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: a meta-analytic study. *Psychology and Aging*, 7(2), 242.

- Walhovd, K. B., Fjell, A. M., Dale, A. M., McEvoy, L. K., Brewer, J., Karow, D. S., ... & Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2010). Multi-modal imaging predicts memory performance in normal aging and cognitive decline. *Neurobiology of Aging, 31*(7), 1107-1121.
- Wascher, E., Schneider, D., Hoffmann, S., Beste, C., & Sanger, J. (2012). When compensation fails: attentional deficits in healthy ageing caused by visual distraction. *Neuropsychologia, 50*(14), 3185-3192.
- Wechsler, D. (1997). Wechsler Adult Intelligence Scale—3rd Edition (WAIS-3®) San Antonio, TX: Harcourt Assessment.
- Wechsler, D. (2010). *WAIS-IV: chelle d'intelligence de Wechsler pour adultes*.
- Wegelin, D. J., Friedman, D., Varughese, N., & Stern, Y. (2002). Age-related changes in source memory retrieval: an ERP replication and extension. *Cognitive Brain Research, 13*(3), 323-338.
- Werkle-Bergner, M., Muller, V., Li, S. C., & Lindenberger, U. (2006). Cortical EEG correlates of successful memory encoding: Implications for lifespan comparisons. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 30*(6), 839-854.
- Weschler, D. (2000). WAIS-III: Weschler Adult Intelligence Scale III G Echelle d'intelligence de Weschler pour Adultes. TroisiLme Edition.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin, 120*(2), 272-292.
- Whalley, L. J., Deary, I. J., Appleton, C. L., & Starr, J. M. (2004). Cognitive reserve and the neurobiology of cognitive aging. *Ageing Research Reviews, 3*(4), 369-382.
- Whelihan, W. M., & Leshner, E. L. (1985). Neuropsychological changes in frontal functions with aging. *Developmental Neuropsychology, 1*(4), 371-380.
- Wilding, E. L. (1999). Separating retrieval strategies from retrieval success: An event-related potential study of source memory. *Neuropsychologia, 37*(4), 441-454.
- Wilk, C. M., Gold, J. M., McMahon, R. P., Humber, K., Iannone, V. N., & Buchanan, R. W. (2005). No, it is not possible to be schizophrenic yet neuropsychologically normal. *Neuropsychology, 19*(6), 778-786.
- Wilkinson, A. J., & Yang, L. (2012). Plasticity of inhibition in older adults: retest practice and transfer effects. *Psychology and Aging, 27*(3), 606-615.

- Wolf, D., Zschuschke, L., Scheurich, A., Schmitz, F., Lieb, K., Tüscher, O., & Fellgiebel, A. (2014). Age-related increases in stroop interference: Delineation of general slowing based on behavioral and white matter analyses. *Human Brain Mapping, 35*(5), 2448-2458.
- Wolk, D. A., Sen, N. M., Chong, H., Riis, J. L., McGinnis, S. M., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2009). ERP correlates of item recognition memory: Effects of age and performance. *Brain Research.*
- . Zahodne, L.B., Glymour, M.M., Sparks, C., Bontempo, D., Dixon, R.A., MacDonald, S.W.S., & Manly, J.J. (2011). Education does not slow cognitive decline with aging: 12-year evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Journal of the International Neuropsychological Society, 17*(6), 1039-1046.
- Zigmond, A. S., & Snaith, R. P. (1983). The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 67*(6), 361-370.
- Zinke, K., Zeintl, M., Rose, N. S., Putzmann, J., Pydde, A., & Kliegel, M. (2014). Working memory training and transfer in older adults: Effects of age, baseline performance, and training gains. *Developmental Psychology, 50* (1), 304-314

ANNEXES

Annexe 1 : Stroop test (Stroop, 1935)

CARTE A					CARTE B					CARTE C				
ROUGE	BLEU	VERT	ROUGE	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	BLEU	VERT	ROUGE	BLEU
VERT	VERT	ROUGE	BLEU	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	VERT	ROUGE	BLEU	VERT
BLEU	ROUGE	BLEU	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	ROUGE	BLEU	ROUGE	ROUGE
VERT	BLEU	ROUGE	ROUGE	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	BLEU	ROUGE	BLEU	ROUGE
ROUGE	ROUGE	VERT	BLEU	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	ROUGE	ROUGE	VERT	BLEU
BLEU	VERT	BLEU	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	VERT	BLEU	VERT	ROUGE
ROUGE	BLEU	VERT	BLEU	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	BLEU	VERT	BLEU	VERT
BLEU	VERT	ROUGE	ROUGE	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	VERT	ROUGE	VERT	ROUGE
VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	BLEU
BLEU	VERT	VERT	BLEU	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	BLEU
VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	VERT	VERT	BLEU	VERT
ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	ROUGE	ROUGE	BLEU	ROUGE
VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	BLEU	ROUGE	ROUGE	VERT
BLEU	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT
ROUGE	VERT	VERT	BLEU	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE
BLEU	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	VERT	VERT	BLEU	BLEU
ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE
ROUGE	VERT	BLEU	ROUGE	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	BLEU	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE
VERT	ROUGE	VERT	BLEU	BLEU	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	VERT	BLEU	ROUGE	VERT
ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	VERT	ROUGE	VERT	BLEU	BLEU
VERT	ROUGE	VERT	BLEU	VERT	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXX	ROUGE	BLEU	ROUGE	VERT	ROUGE

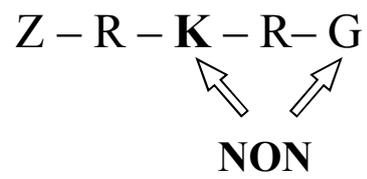
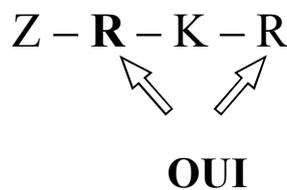
N-BACK TEST

Je vais vous dire plusieurs lettres. Il faudra me dire si la dernière lettre donnée est la même que la deuxième précédant cette dernière lettre.

Puis, à chaque nouvelle lettre, vous ferez la même chose : il faudra me dire si « **OUI** » ou « **NON** », la dernière lettre est la même que la deuxième précédant cette lettre.

Prenons un exemple :

- Si je vous dis : « Z », « R », puis « K », est-ce que « K » correspond à la deuxième lettre précédant cette dernière lettre ? (NON).
- Si je vous dis ensuite : « R » ? (OUI).
- Si je vous dis : « G » ? (NON).

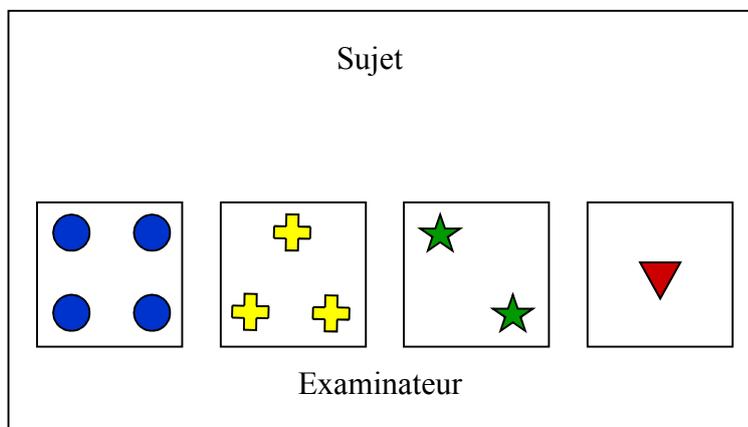


SEQUENCE DE LETTRES

F	
L	
F	O / N
L	O / N
S	N / O
L	O / N
R	N / O
L	O / N
S	N / O
R	N / O
S	O / N
B	N / O
P	N / O
B	O / N
D	N / O
G	N / O
D	O / N
G	O / N
L	N / O
M	N / O
F	N / O
M	O / N
N	N / O
M	O / N
N	O / N
L	N / O
M	N / O
L	O / N
M	O / N
L	O / N

CONSIGNES POUR LE WCST (version révisée, Heaton et al., 1993)
Traduites par David CLARYS

Le WCST a été standardisé et étalonné pour des sujets âgés entre 6,5 ans et 89 ans. Avant de l'administrer, il faut s'assurer que les cartes sont correctement orientées et classées dans le bon ordre. Il faut placer les 4 cartes stimuli sur la table de gauche à droite (selon la perspective du sujet) dans l'ordre suivant: A, B, C, D (voir schéma).



Pendant le placement des cartes, la consigne est donnée:

" Ce test est assez inhabituel parce que je ne peux pas vous fournir beaucoup d'explications. Je vais vous demander de classer chaque carte de ces 2 paquets (pointer les paquets de cartes réponses) avec l'une de ces 4 cartes (pointer chaque carte stimulus en commençant par le triangle rouge). Vous devez toujours prendre la carte supérieure du paquet et la placer sous l'une des 4 cartes avec laquelle vous pensez qu'elle peut s'associer. Je ne peux pas vous dire comment classer les cartes,

mais je vous dirai à chaque fois si votre classement est bon ou faux. Après ma réponse, vous laissez la carte là où vous l'avez placée, et vous prenez la carte suivante. Le temps n'est pas limité. Etes-vous prêt ? "

Ensuite, il faut donner l'un des paquets de cartes au sujet en présentant les figures au-dessus. Il ne faut fournir aucune information supplémentaire concernant par exemple les différentes catégories, ou les changements de catégories. Généralement, une simple répétition des consignes suffit à clarifier le test.

La 1^{ère} catégorie de classement est impérativement la couleur. Au début, l'examineur répond donc "correct" lorsque le sujet effectue un classement selon la couleur et "faux" lorsque le classement est basé sur une autre catégorie. Ceci se poursuit jusqu'à ce que le sujet ait effectué 10 classements consécutifs selon la couleur. Ensuite, et sans commentaires ou indications, l'examineur change la catégorie de réponses "correctes". Il s'agit alors de la forme. Ce critère de classement demeure le critère correct ait à nouveau effectué 10 classements consécutifs selon la forme. A nouveau, sans en informer le sujet, l'examineur change la catégorie de réponses "correctes". Il s'agit cette fois du nombre. Après 10 classements consécutifs selon le nombre, l'examineur reprend la couleur, puis la forme, et enfin le nombre, de la même manière.

Le test continue jusqu'à ce que le sujet ait complété avec succès les 6 catégories où jusqu'à ce que les 2 paquets de cartes soient utilisés. Ce test dure en général entre 20 et 30 minutes.

Notation des réponses:

La feuille de notation doit être en dehors du champ de vision du sujet. A chaque fois que le sujet effectue un classement, il faut barrer chaque catégorie (CFNA) identique sur la carte stimulus et sur la carte réponse. On va donc à chaque fois barrer entre 1 et 3 catégories. Enfin, si la carte réponse n'est associée à aucune dimension de la carte cible, il faut barrer la lettre A pour Autre. Pour déterminer quand un sujet a complété avec succès une catégorie et pour faciliter la notation, il est préférable de numéroter les réponses correctes jusqu'à 10 en se servant des tirets à gauche de chaque item. A chaque fois qu'une séquence de réponses correctes est interrompue par une erreur, la numérotation des réponses correctes recommence à 1. Lorsque 10 réponses correctes consécutives

ont été effectuées, on tire un trait sous le dernier item et on peut écrire le symbole de la catégorie suivante à gauche de l'item suivant pour se repérer plus facilement.

Cotation:

Les réponses correctes sont représentées par les items qui ont été numérotés. Les autres sont des erreurs et doivent être entourés. Parmi les réponses (correctes ou non), on va distinguer les réponses persévératives des réponses non persévératives. Lorsqu'un sujet persiste à utiliser un mode de classement qui est incorrect malgré la réponse négative de l'examineur, il s'agit d'une erreur persévérative. Dans ce cas, on note un "p" à droite de l'item. Ce type d'erreur peut se produire pour les 3 catégories (couleur, forme, nombre) mais pas pour le classement "Autre". On ne peut considérer une erreur comme persévérative que si l'on a préalablement établi le critère persévérant de classement. Il faut donc que le sujet ait déjà commis une erreur et qu'elle ne soit pas ambiguë (c'est à dire que la carte réponse peut être classée uniquement selon un critère avec la carte stimulus). Ensuite, chaque réponse incorrecte basée sur ce même critère de classement sera persévérative, même si d'autres réponses qui ne reposent pas sur ce critère sont intervenues dans la séquence. Après chaque catégorie complétée, si le sujet poursuit son classement selon le critère précédent, il s'agit d'une erreur persévérative à condition qu'elle ne soit pas ambiguë. Une ou plusieurs réponses ambiguës (correctes ou non) peuvent aussi être considérées comme des réponses persévératives si elles se trouvent entre des réponses persévératives non ambiguës basées sur le même critère de classement et qu'aucune autre réponse basée sur un autre critère n'est intervenue (illustrations dans la figure 4).

Enfin, le critère persévératif de classement est modifié lorsque le sujet effectue 3 erreurs consécutives non ambiguës selon un nouveau critère persévératif. Dans ce cas, les erreurs sont considérés comme persévératives uniquement à partir de la 2^{nde}. Une difficulté supplémentaire de cotation apparaît lorsque des réponses ambiguës qui font intervenir ce nouveau critère persévératif sont intercalées entre les 3 erreurs non ambiguës. Ces réponses ambiguës (correctes ou non) seront considérées comme persévératives si elles interviennent entre la 2^{nde} et la 3^{ème} erreur non ambiguë (illustrations dans la figure 5).

Calcul des différents scores:

- Nombre d'items réalisés
- Nombre total de réponses correctes
- Nombre de catégories complétées
- Nombre d'essais pour compléter la 1^{ère} catégorie. Si le sujet n'a pas réussi à compléter une catégorie, son score est de 129.
- Nombre total d'erreurs et pourcentage
- Nombre total de réponses persévératives et pourcentage
- Nombre total d'erreurs persévératives et pourcentage
- Nombre de réponses de type conceptuel et pourcentage. Ces réponses correctes sont celles qui apparaissent par série de 3 au minimum.
- Echec dans le maintien de la série: nombre de séquences de 5 classements corrects et plus suivis par au moins 1 erreur.
- Learning to Learn: ce score peut être calculé uniquement si le sujet a au minimum complété 2 catégories et commencé une troisième (c'est à dire s'il a effectué au moins 10 essais dans cette 3^{ème} catégorie). Il faut donc compter le nombre de catégorie complétées et commencées. Ensuite, on calcule un pourcentage d'erreurs pour chacune de ces catégories, puis la différence de pourcentage d'erreurs entre les catégories adjacentes (F-C, N-F, ...). Enfin, on fait la somme et la moyenne de ces différences de pourcentage d'erreurs.

Les différents pourcentages sont calculés en divisant les scores bruts par le nombre d'essais réalisés et en multipliant par 100, et en arrondissant au nombre entier le plus proche.

Annexe 4: Mill-Hill (avec correction : bonne réponse : mot souligné) (Raven, Court & Raven, 1986)

SUJET N°: _____ GROUPE: _____ LISTE: _____

TEST DE VOCABULAIRE

Consigne:

Dans chaque groupe de six mots, soulignez le mot qui signifie la même chose que le mot écrit en majuscules au-dessus du groupe.

Le premier mot est donné en exemple.

1. MALARIA

base paludisme
théâtre fruit
océan ton

2. RUSE

couleur niaiserie
rude brûlure
rue astuce

3. RENONCER

contredire décrier
abandonner exécuter
démentir assembler

4. BAVARD

babillard courageux
taciturne solide
émerger montrer

5. CAPRICE

plainte bruit
fantaisie matrice
chevrette attaque

6. EVASION

vagabond caprice
obscurité fuite
vision erreur

7. PLAINTIF

astriquent craintif
pétulant gémissant
investigateur timide

8. ANONYMAT

applicable magnifique
anomie fictif soulever
faux sans-nom

9. ELEVER

lancer bouger
travailler
résoudre disperser

10. FASCINE

maltraité effrayé
empoisonné charmé
fasciculé copié

11. FECOND

comestible optatif
profond prolifique
sublime aride

12. IMMERGER

fréquenter embrasser
plonger renverser
émerger montrer

13. COURTOIS

affreux orgueilleux
aimable court
révérend vrai

14. GOELETTE

building homme
goéland chant
plante voilier

15. FUTILE

inimitable contraire
sublime frivole
utile aimant

16. PRECIS

naturel stupide
fautif petit
rigoureux confus

17. PROSPERITE

imagination opulence
empiètement supplique
prospection succession

18. MEDIRE

défier atténuer
suspendre calomnier
dénaturer conclure

19. AMULETTE

charme veste
mouvement talisman
amulette saveur

20. EXTRAVAGANT

inexplicable égoïste
romantique bizarre
raisonné louablesoin

21. RESSEMBLANCE

analogie étourderie
apparence repos
souvenir

22. ADJACENT

incontestable continu
instable taciturne
loquace contigu

23. CONSACRER

dissiper consoler
supprimer expliquer
dédier sacrer

24. EBAUCHER

esquisser embaucher
débaucher déraciner
élaborer approcher

25. POMPEUX

démocratique ampoulé
essoufflé prudent
destructif anxieux

26. COUCHE

élevé gênant
lourd repoussé
repentant étendu

27. DILIGENT

rebelle lent
complaisant expéditif
séduisant crédule

28. SPECIEUX

fallacieux contemporain
nourrissant typique
spacieux flexible

29. TEMERITE

précipitation imprudence
nervosité stabilité
ponctualité humilité

30. DISCOURIR

haranguer dédaigner
mépriser abroger
dire courir

31. CONCILIER

rassembler accorder
renverser concéder
compresser renforcer

32. LIBERTIN

missionnaire libérateur
libéral maudit
régicide dissolu

33. LIBERTE

licence libéré
richesse ennui
libertaire joyeux

34. COMMUNICATOIRE

implacable chétif
combinatoire calme
mémorable menaçant

Annexe 5 : Test de la latéralité manuelle (Oldfield, 1971)

Nom :

Prénom :

SCORE DE LATERALITE

	Score de latéralité (Edimburg ≥ 0.8)	Gauche	Droite
1	Ecrire		
2	Dessiner		
3	Lancer un objet		
4	Utiliser des ciseaux		
5	Utiliser la brosse à dents		
6	Couper avec un couteau (sans fourchette)		
7	Tenir un balai/râteau (quelle main en haut)		
8	Frotter une allumette		
9	Utiliser une cuillère à soupe		
10	Ouvrir un pot (dévisser le couvercle)		

D : nombre d'actions réalisées avec le côté droit

G : nombre d'actions réalisées avec le côté gauche

SCORE = |__| , |__|

Annexe 6 : Mini Mental State Examination (Folstein, Folstein & McHugh, 1975)

Mini Mental State Examination (MMSE) (Version consensuelle du GRECO)

Orientation

/ 10

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire.
Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.
Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? _____

Si la réponse est incorrecte ou incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

1. En quelle année sommes-nous ?
2. En quelle saison ?
3. En quel mois ?
4. Quel jour du mois ?
5. Quel jour de la semaine ?

Je vais vous poser maintenant quelques questions sur l'endroit où nous trouvons.

6. Quel est le nom de l'hôpital où nous sommes ?*
7. Dans quelle ville se trouve-t-il ?
8. Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ?**
9. Dans quelle province ou région est située ce département ?
10. A quel étage sommes-nous ?

Apprentissage

/ 3

Je vais vous dire trois mots ; je vous voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure.

- | | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|--------------------------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil | <input type="checkbox"/> |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe | <input type="checkbox"/> |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard | <input type="checkbox"/> |

Répéter les 3 mots.

Attention et calcul

/ 5

Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ?*

- | | | |
|-----|----|--------------------------|
| 14. | 93 | <input type="checkbox"/> |
| 15. | 86 | <input type="checkbox"/> |
| 16. | 79 | <input type="checkbox"/> |
| 17. | 72 | <input type="checkbox"/> |
| 18. | 65 | <input type="checkbox"/> |

Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander :
Voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers ?**

Rappel

/ 3

Pourvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandés de répéter et de retenir tout à l'heure ?

- | | | | | | |
|------------|----|--------|----|----------|--------------------------|
| 11. Cigare | | Citron | | Fauteuil | <input type="checkbox"/> |
| 12. Fleur | ou | Clé | ou | Tulipe | <input type="checkbox"/> |
| 13. Porte | | Ballon | | Canard | <input type="checkbox"/> |

Langage

/ 8

- | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| Montrer un crayon. | 22. Quel est le nom de cet objet ?* | <input type="checkbox"/> |
| Montrer votre montre. | 23. Quel est le nom de cet objet ?** | <input type="checkbox"/> |
| 24. Ecoutez bien et répétez après moi : « PAS DE MAIS, DE SI, NI DE ET »*** | | <input type="checkbox"/> |

Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant : « Ecoutez bien et faites ce que je vais vous dire :

25. Prenez cette feuille de papier avec votre main droite,
26. Pliez-la en deux,
27. Et jetez-la par terre. »****

Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractère : « FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :
28. « Faites ce qui est écrit ».

Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :

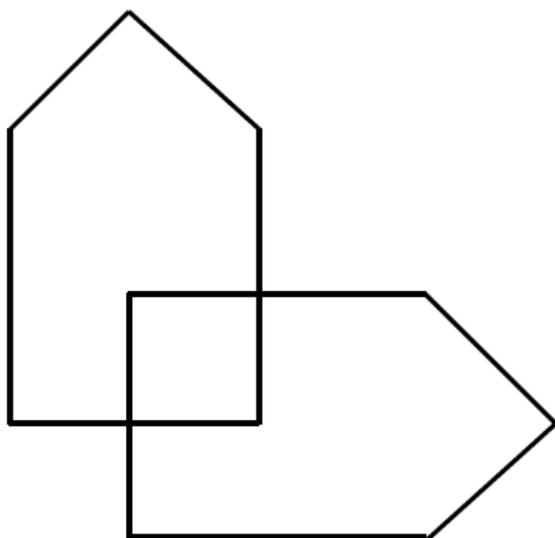
29. « Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. »*****

Praxies constructives

/ 1

Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander : 30. « Voulez-vous recopier ce dessin ? »

« FERMEZ LES YEUX »



Questionnaire de Mac Nair

Il s'agit d'un auto-questionnaire qui comprend 15 questions permettant d'évaluer la plainte mnésique. Vous devrez choisir entre 4 modalités de réponses qui sont : « jamais », « rarement », « parfois » ou « la plupart du temps ».

	<i>Jamais</i>	<i>rarement</i>	<i>parfois</i>	<i>souvent</i>
1. Avez-vous des difficultés à vous rappeler des événements de l'actualité récente ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Avez-vous des difficultés à suivre un film (ou une émission TV ou un livre) parce que vous oubliez ce qui vient de se passer ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Vous arrive-t-il d'entrer dans une pièce et de ne plus savoir ce que vous venez y chercher ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Vous arrive-t-il d'oublier de faire des choses importantes que vous aviez prévues ou que vous deviez faire, comme par exemple : régler des factures, vous rendre à un rendez-vous ou à une invitation ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Avez-vous des difficultés à vous souvenir des numéros de	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<i>Jamais</i>	<i>rarement</i>	<i>parfois</i>	<i>souvent</i>
9. Vous arrive-t-il d'oublier d'éteindre le gaz, ou les plaques de cuisson, ou le robinet, ou de fermer la maison ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Vous arrive-t-il de répéter plusieurs fois la même chose parce que vous oubliez que vous l'avez déjà dite ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Avez-vous des difficultés à retrouver des noms de personnes célèbres (acteurs connus) ou de lieux de vacances ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Avez-vous des difficultés à apprendre des choses nouvelles comme par exemple des jeux, des recettes ou de nouveaux modes d'emploi ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Avez-vous besoin de tout noter ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Vous arrive-t-il de perdre des objets ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Vous arrive-t-il d'oublier immédiatement ce que les gens viennent de vous dire ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 8 : HADS, Hospital and Anxiété Depression Scale (Zigmond & Snaith, 1983)

HADS / CORRECTION				
1	2	3	4	
Pas du tout semblable à moi	Un peu semblable à moi	Assez semblable à moi	Très semblable à moi	
1- Je suis tendu(e)			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
2- Je prends plaisir aux mêmes choses qu'autrefois			1	2 3 4
Dépression			3	2 1 0
3- J'ai l'impression que quelque chose d'horrible va m'arriver			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
4- Je ris facilement et vois le bon côté des choses			1	2 3 4
Dépression			3	2 1 0
5- Je me fais du souci			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
6- Je suis de bonne humeur			1	2 3 4
Dépression			3	2 1 0
7- Je peux rester assis(e) et me sentir décontracté(e)			1	2 3 4
Anxiété			3	2 1 0
8- J'ai l'impression de ne fonctionner qu'à vitesse réduite			1	2 3 4
Dépression			0	1 2 3
9- J'éprouve des sensations de peur			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
10- Je ne m'intéresse plus à mon apparence			1	2 3 4
Dépression			0	1 2 3
11- J'ai la bougeotte et je n'arrive pas à tenir en place			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
12- Je me promets beaucoup de plaisir de certaines choses			1	2 3 4
Dépression			3	2 1 0
13- j'éprouve des sensations soudaines de paniques			1	2 3 4
Anxiété			0	1 2 3
14- Je peux prendre plaisir à un bon livre ou à une émission de radio ou de télévision			1	2 3 4
Dépression			3	2 1 0

ÉCHELLE D'ESTIME DE SOI (ÉES-10)

Traduction de l'échelle: "Rosenberg's Self-Esteem scale", 1965

par *Évelyne F. Vallières et Robert J. Vallerand, 1990*

International Journal of Psychology 25, 305-316

Description de l'échelle

Cette échelle représente une validation transculturelle du Rosenberg Self-Esteem Scale publié en 1965. Elle représente une évaluation de l'estime de soi globale que la personne peut avoir d'elle-même. L'échelle comprend 10 énoncés mesurés sur une échelle de 1 à 4.

PERCEPTION PERSONNEL

Pour chacune des caractéristiques ou descriptions suivantes, indiquez à quel point chacune est vraie pour vous en encerclant le chiffre approprié.

Tout à fait en désaccord	Plutôt en désaccord	Plutôt en accord	Tout à fait en accord
1	2	3	4
1. Je pense que je suis une personne de valeur, au moins égale à n'importe qui d'autre.	1	2	3 4
2. Je pense que je possède un certain nombre de belles qualités.	1	2	3 4
3. Tout bien considéré, je suis porté-e à me considérer comme un-e raté-e.	1	2	3 4
4. Je suis capable de faire les choses aussi bien que la majorité des gens.	1	2	3 4
5. Je sens peu de raisons d'être fier-e de moi.	1	2	3 4
6. J'ai une attitude positive vis-à-vis moi-même.	1	2	3 4
7. Dans l'ensemble, je suis satisfait-e de moi.	1	2	3 4
8. J'aimerais avoir plus de respect pour moi-même.	1	2	3 4
9. Parfois je me sens vraiment inutile.	1	2	3 4
10. Il m'arrive de penser que je suis un-e bon-ne à rien.	1	2	3 4

© *Evelyne F. Vallières et Robert J. Vallerand, 1990.*

CLE DE CODIFICATION

ÉES-10

1, 2, 3*, 4, 5*, 6, 7, 8*, 9*, 10* Estime de soi

* Énoncé formulé négativement, inverser la cote d'évaluation

V.V.I.Q.
(Visual vividness Imagery Questionnaire, Marks, 1973.)
Exemple d'une question qui vous demanderait d'évoquer une image. Si votre image visuelle est en moyennement nette et vivace, vous inscririez l'estimation 2 dans la case correspondante, comme ci-dessous :

Consigne :

Ce questionnaire a pour but d'apprécier la netteté, la précision et la vivacité de vos images mentales. Les questions consisteront pour vous à évoquer un certain nombre d'images, qui pourront être visuelles, auditives, tactiles, etc.

Vous devrez estimer la vivacité de chaque image en vous référant à l'échelle d'estimation présentée ci-dessous. Par exemple, si votre image est « vague et imprécise », vous lui donnerez l'estimation 1. Inscrivez votre réponse dans la case correspondant à chaque question ; il vous suffit d'y porter le chiffre approprié. Avant de passer aux questions de la page suivante, familiarisez-vous d'abord avec les degrés de cette échelle d'estimation. Pendant tout le questionnaire, reportez-vous à cette échelle pour juger de la vivacité de vos images. Cette échelle vous sera redonnée à chaque page. Ne passez pas à la page suivante tant que vous n'avez pas répondu à toutes les questions d'une page et ne revenez pas en arrière pour contrôler celles que vous avez déjà faites. Essayer de répondre à chaque question de façon indépendante, sans vous reporter aux autres questions auxquelles vous avez répondu.

ECHELLE D'ESTIMATION

L'image évoquée par une question peut être :

- *Parfaitement nette, aussi précise et vivace qu'une véritable perception* : Estimation 4
- *Relativement nette, presque aussi vivace qu'une perception* : Estimation 3
- *Moyennement nette et vivace* : Estimation 2
- *Vague et imprécise* : Estimation 1
- *Aucune image* : Estimation 0

Pensez à un membre de votre famille ou à un ami que vous rencontrez souvent. Examinez attentivement l'image visuelle qui vous vient à l'esprit. Évaluez les images évoquées par chaque question en fonction des degrés de netteté et de vivacité présentés dans l'échelle d'estimation.

QUESTION

ESTIMATION

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ 1a_ Le contour exact du visage, de la tête, des épaules et du corps. ○ 2a_ Les positions caractéristiques de la tête et le maintien du corps. ○ 3a_ L'allure et l'amplitude précises de la démarche. ○ 4a_ Les différentes couleurs d'une tenue vestimentaire habituelle. | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
|--|--|

ECHELLE D'ESTIMATION

L'image évoquée par une question peut être :

- *Parfaitement nette, aussi précise et vivace qu'une véritable perception* : Estimation 4
- *Relativement nette, presque aussi vivace qu'une perception* : Estimation 3
- *Moyennement nette et vivace* : Estimation 2
- *Vague et imprécise* : Estimation 1
- *Aucune image* : Estimation 0

Pensez à la devanture d'un magasin que vous connaissez bien.
 Examinez attentivement l'image visuelle qui vous vient à l'esprit. Évaluez
 Imaginez maintenant le soleil qui se lève. Examinez attentivement
 l'image visuelle qui vous vient à l'esprit. Évaluez cette image en fonction
 des degrés de netteté et de vivacité présentés dans l'échelle
 d'estimation.

QUESTION	ESTIMATION
1a_ L'apparence générale du magasin, vu de l'autre côté de la rue.	<input type="checkbox"/>
1b_ Le soleil se lève au-dessus de l'horizon dans un ciel brumeux.	<input type="checkbox"/>
2b_ Le ciel s'éclaircit et le soleil est entouré de bleu.	<input type="checkbox"/>
3a_ Vous êtes près de l'entrée. La couleur, la forme et les détails de la porte.	<input type="checkbox"/>
3b_ Il fait un ciel d'orage ; les nuages sont illuminés par les éclairs.	<input type="checkbox"/>
4b_ Un arc-en-ciel apparaît.	<input type="checkbox"/>

ECHELLE D'ESTIMATION

ECHELLE D'ESTIMATION

L'image évoquée par une question peut être :

- *Parfaitement nette, aussi précise et vivace qu'une véritable perception* : Estimation 4
- *Relativement nette, presque aussi vivace qu'une perception* : Estimation 3
- *Moyennement nette et vivace* : Estimation 2
- *Vague et imprécise* : Estimation 1
- *Aucune image* : Estimation 0

Pensez à la devanture d'un magasin que vous connaissez bien. Examinez attentivement l'image visuelle qui vous vient à l'esprit. Évaluez cette image en fonction des degrés de netteté et de vivacité présentés dans l'échelle d'estimation.

QUESTION

ESTIMATION

- | QUESTION | ESTIMATION |
|--|--------------------------|
| <input type="radio"/> 1c_ L'apparence générale du magasin, vu de l'autre côté de la rue. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 2c_ La présentation de la vitrine, avec la couleur, la forme, les détails des articles exposés. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 3c_ Vous êtes près de l'entrée. La couleur, la forme et les détails de la porte. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 4c_ Vous entrez dans le magasin et vous allez jusqu'au comptoir. Un vendeur vous sert. L'argent change de mains. | <input type="checkbox"/> |

ECHELLE D'ESTIMATION

ECHELLE D'ESTIMATION

L'image évoquée par une question peut être :

- *Parfaitement nette, aussi précise et vivace qu'une véritable perception* : Estimation 4
- *Relativement nette, presque aussi vivace qu'une perception* : Estimation 3
- *Moyennement nette et vivace* : Estimation 2
- *Vague et imprécise* : Estimation 1
- *Aucune image* : Estimation 0

Pensez maintenant à un paysage de campagne, avec des arbres, des montagnes et un lac. Examinez attentivement l'image visuelle qui vous vient à l'esprit. Évaluez cette image en fonction des degrés de netteté et de vivacité présentés dans l'échelle d'estimation.

QUESTION

ESTIMATION

- | | |
|--|--------------------------|
| <input type="radio"/> 1d_ Les contours du paysage. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 2d_ La couleur et la forme des arbres. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 3d_ La couleur et la forme du lac. | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> 4d_ Une rafale de vent souffle sur les arbres et provoque des vagues sur le lac. | <input type="checkbox"/> |

ECHELLE D'ESTIMATION

L'image évoquée par une question peut être :

- *Parfaitement nette, aussi précise et vivace qu'une véritable perception* : Estimation 4
- *Relativement nette, presque aussi vivace qu'une perception* : Estimation 3
- *Moyennement nette et vivace* : Estimation 2
- *Vague et imprécise* : Estimation 1
- *Aucune image* : Estimation 0

INVENTAIRE D'AUTO-ÉVALUATION DE L'ANXIÉTÉ ÉTAT-TRAIT

STAI Forme Y-A *

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

* Spielberger CD, 1983. Traduction française Schweitzer MB et Paulhan I, 1990. D'après Guelfi JD (58)

INVENTAIRE D'AUTO-ÉVALUATION DE L'ANXIÉTÉ ÉTAT-TRAIT

STAI Forme Y-B *

	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
21	Je me sens de bonne humeur, aimable.			
22	Je me sens nerveux (nerveuse) et agité(e)			
23	Je me sens content(e) de moi.			
24	Je voudrais être aussi heureux (heureuse) que les autres semblent l'être.			
25	J'ai un sentiment d'échec.			
26	Je me sens reposé(e).			
27	J'ai tout mon sang-froid.			
28	J'ai l'impression que les difficultés s'accumulent à un tel point que je peux plus les surmonter.			
29	Je m'inquiète à propos de choses sans importance.			
30	Je suis heureux(se).			
31	J'ai des pensées qui me perturbent.			
32	Je manque de confiance en moi.			
33	Je me sens sans inquiétude, en sécurité, en sûreté.			
34	Je prends facilement des décisions.			
35	Je me sens incompetent(e), pas à la hauteur.			
36	Je suis satisfait(e).			
37	Des idées sans importance trottent dans ma tête, me dérangent.			
38	Je prends les déceptions tellement à cœur que je les oublie difficilement.			
39	Je suis une personne posée, solide, stable.			
40	Je deviens tendu(e) et agité(e) quand je réfléchis à mes soucis.			

* Spielberger CD, 1983. Traduction française Schweitzer MB et Paulhan I, 1990. D'après Guelfi JD (58)

Annexe 12 : Listes de mots utilisés pour l'apprentissage avec électroencéphalogramme

L1a	L1b	L1c	L2a	L2b	L2c	L3a	L3b	L3c
ANTIDOTE	AÉRODROME	ABBATAGE	ABSTINENCE	AFFLUENT	AMBIANCE	ACCOLADE	ATTACHE	ARCHIPEL
AVANCÉE	ASSIDUITÉ	AMANDIER	APPENTIS	ASTROLOGUE	AVENTURIER	AGRÉGÉ	BACHANTE	BATTERIE
BARRETTE	BERGAMOTE	BORDEREAU	BASSINE	BIGOUDI	BOUSSOLE	BILLARD	BRASSARD	CADENAS
CABOTINAGE	CANCRE	CELLULITE	CACHALOT	CAPUCHE	CENDRIER	CARTILAGE	CERCEAU	CIRCUIT
CHOUCROUTE	COLLECTE	COSTAUD	CHROMOSOME	COMÉDIEN	COUPON	CONDIMENT	CREVAISON	DÉBALLAGE
CURARE	DÉLINQUANT	DÉTECTEUR	CYCLISME	DÉMARREUR	DEVINETTE	DENTITION	DIABÈTE	DOCTORAT
DISPENSE	DYNAMITE	ÉLECTRON	DIVIDENDE	ÉCHARDE	EMBRUN	ÉCLAIREUR	ÉCRITURE	EMPRISE
ENVERGURE	ESTOCADE	FAISAN	ÉPILEPSIE	ÉTALON	FANTASME	ÉQUINOXE	ÉTOURDERIE	FARANDOLE
FIGURANT	FONDUE	GARDON	FILATURE	FOSSILE	GAZOUILLIS	FINITION	FOUINE	GÉNÉRIQUE
GRAVEUR	HARPON	HYDROLYSE	GRENOUILLE	HÉMOPHILIE	HYPOTENUSE	GRILLADE	HÉRISSON	IMMIGRANT
INFLUX	JARDINAGE	LOCATION	INITIATION	JUELLE	LÉGATION	LABORANTIN	INSTANCE	LAVERIE
MANDATAIRE	MÉLODRAME	MILICE	LONGÉVITE	MAQUETTE	MENTHE	LEVAIN	LOTION	MARMELADE
MORILLE	NEURONE	OFFICINE	MINIATURE	MOUSSON	NOTICE	MÈRCERIE	MIRABELLE	MUSÈLIÈRE
ORTHOPÉDIE	PARACHUTE	PERCUSSION	OPERCULE	PAGAILLE	PASSOIRE	OPTIQUE	PAILLASSON	PATINOIRE
PISSENLIT	PORTILLON	PROVISEUR	PEUPLIER	PLACENTA	POSTILLON	PHARAON	PLUMEAU	POTERIE
RADIATEUR	RECTORAT	RENOUVEAU	PSYCHOSE	RAMASSIS	REDEVANCE	QUATRAIN	RANCOEUR	RAPPORTAGE
ROTISSERIE	SARCOPHAGE	SEMESTRE	REPAIRE	ROULETTE	SATIÉTÉ	RÉFÉCTOIRE	RÉSIDENT	SABLIER
SILICE	SOLIDARITÉ	SPÉCIMEN	SENTEUR	SIMULATEUR	SPIRITISME	SAUVETEUR	SEPTENNAT	STATUETTE
SURVIE	TARTRE	TISSAGE	TÉLÉPATHIE	TOMBOLA	TRICHEUR	SUSPICION	TEMPPLIER	TONNELLE
TREMPLIN	VARICE	VILLAGEOIS	VELOUTÉ	VIOLATION	VOYANCE	TROUSSE	VENTOUSE	VISIÈRE
L4a	L4b	L4c	L5a	L5b	L5c	L6a	L6b	L6c
ACROPOLE	AMERTUME	ANGLICAN	ACTIVISME	ALLIGATOR	ANIMATEUR	ADMISSION	ALTERNANCE	ANNULAIRE
AUBERGINE	ASCENDANCE	ARRIVANT	ARTICHAUT	AUDITION	BALAFRE	ASPIRINE	AUTOPSIE	BANQUISE
BAGARREUR	BÉCANE	BISTOURI	BÉLLATRE	BOISERIE	BRISTOL	BÉNÉDICITÉ	BONNICHE	BROCHETTE
BRETELLE	CAFÉINE	CASSOULET	CALENDES	CATAPULTE	CHEVREAU	CAUSERIE	CAMBOUIS	CHIRURGIE
CHARADE	CIVISME	COPISTE	CLAVICULE	COQUETIER	CROQUETTE	CLOCHARD	CORDONNIE	CUISSON
CRISSEMENT	DÉCALAGE	DEPANNAGE	DÉDALE	DÉRAPAGE	DIFFÉREND	DÉFICIT	DÉSERTEUR	DIPLOMATIE
DICTION	DOMINO	ÉCOUTEUR	DOUILLE	ENGRENAGE	ESPADON	DRAGUEUR	EFFRACTION	ENTRACTE
ENCOCHE	ESCALOPE	EXPERTISE	EXTINCTEUR	FERMOIR	FLEURET	ESSAYAGE	FACTURE	FEUILLETON
FAUCON	FLAGEOLET	FRANGIPANE	FROMENT	GIROLLE	GUÉRILLA	FLORILÈGE	GALAXIE	HUMIDITÉ
GÉOLOGUE	GROSEILLE	HIPPOCAMPE	HOMONYME	INCUBATION	INVERSION	HABITAT	GOUACHE	INDEMNITÉ
IMPACT	INTERNAT	LAITAGE	LAMBRIS	LIMAILLE	MAGNÉSIUM	JAMBONNEAU	LANGOUSTE	LIVREUR
LIBELLULE	MACAQUE	MASSAGE	MATÉRIAU	MÉTÉORITE	MOLLESSE	MAJORATION	MÉDIUM	MICROSCOPE
MESSIE	MODULE	MUTINERIE	NATURISME	OBLIGATION	OCCIPUT	MONOLOGUE	NECROSE	OCTOGONE
OBSÈQUES	ORANGEADE	PALETTE	ORGANISTE	PAPILLE	PELLICULE	ORIGAN	PAQUERETTE	PENDAISON
QUINZAINE	PHILTRE	POIVRON	PILOTAGE	POMPON	PRÉDATEUR	PINCEMENT	PONCHO	PRIMATE
POURBOIRE	PÉDAGOGIE	RÉGLISSE	RABATTEUR	RAVIOLI	RELAIS	RACOLAGE	REBORD	REMORQUE
RETOUCHE	SAVANE	SACRILÈGE	ROMARIN	SALADIER	SCAROLE	RONDELLE	SANGLIER	SÉCRÉTION
SÉQUELLE	SOMMIER	STRABISME	SERINGUE	SOUPAPE	SUPERFICIE	SIGNATAIRE	SONNERIE	SUBSTITUT
SYMBIOSE	TENDON	TORPILLE	TOURISME	TERRIEN	TAPIOCA	TABLETTE	THÉORÈME	TRACTEUR
TURBOT	VERGLAS	VITRIOL	VACATION	VIGNETTE	VOILIER	VANILLE	VIELLE	VOLTIGE

Annexe 13 : Paires de mots utilisés pour mesurer les stratégies de mémorisation

Liste 1		Liste 2		Liste 3		Liste 4	
Pédiatre	Docteur	Pédiatre	Chien	Chèvre	Cornes	Chèvre	Train
Marelle	Palet	Marelle	Balcon	Coquillage	Océan	Coquillage	Tambour
Javelot	Flèche	Javelot	Carotte	Couronne	Tête	Couronne	Maïs
Rubis	Cadeau	Rubis	Gouttière	Cruche	Lait	Cruche	Bidon
Parasite	Poussière	Parasite	Tabac	Timbre	Colle	Timbre	Gâteau
Clavicule	Omoplate	Clavicule	Zèbre	Toupie	Enfant	Toupie	Hibou
Ecrou	Prison	Ecrou	Banque	Puits	Pierre	Puits	Vitre
Météorite	Roche	Météorite	Ecole	Poivron	Salade	Poivron	Tuyau
Tarentule	Bestiole	Tarentule	Barbe	Marteau	Outil	Marteau	Grenouille
Autruche	Sable	Autruche	Chapeau	Laitue	Limace	Laitue	Epée
Mosaïque	Fresque	Mosaïque	Citron	Horloge	Coucou	Horloge	Feuille
Sorcier	Baguette	Sorcier	Chameau	Cygne	Princesse	Cygne	Statue
Faune	Forêt	Faune	Bougie	Vase	Tulipe	Vase	Perruque
Anesthésie	Hôpital	Anesthésie	Canon	Valise	Poignée	Valise	Rideau
Dermatologue	Acné	Dermatologue	Artichaut	Tonneau	Bouteille	Tonneau	Souris
Fossile	Cheminée	Fossile	Squelette	Tasse	Pont	Tasse	Soucoupe
Bandeau	Guitare	Bandeau	Tissus	Serrure	Médaille	Serrure	Fer
Cyclope	Chemise	Cyclope	Monstre	Seau	Moulin	Seau	Serpillière
Dédicace	Raquette	Dédicace	Photographie	Rose	Lunette	Rose	Pétale
Luciole	Mouchoir	Luciole	Insecte	Piscine	Dent	Piscine	Baignade
Passoire	Banc	Passoire	Ecumoire	Pipe	Pingouin	Pipe	Homme
Crabe	Nœud	Crabe	Plage	Pinceau	Lampe	Pinceau	Artiste
Planeur	Caillou	Planeur	Ciel	Pince	Carnet	Pince	Nez
Pancréas	Volcan	Pancréas	Estomac	Peigne	Journal	Peigne	Coiffure
Gouvernail	Œuf	Gouvernail	Barre	Main	Eglise	Main	Gant
Brosse	Escargot	Brosse	Vêtement	Kangourou	Montagne	Kangourou	Boxe
Casserole	Aiguille	Casserole	Manche	Girafe	Miroir	Girafe	Taches
Aquarium	Pyramide	Aquarium	Dauphin	Abeille	Coussin	Abeille	Bourdon
Berceau	Crayon	Berceau	Lit	Accordéon	Palmier	Accordéon	Violon
Bouilloire	Ours	Bouilloire	Café	Bureau	Bouquet	Bureau	Ordinateur

Annexe 14 : Test de Hayling (Burgess & Shallice, 1996)



Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation
 Département des Sciences Cognitives
 Unité de Neuropsychologie

Nom : _____ Scolarité : _____ Sexe : ___ Date : _____
 Prénom : _____ Profession : _____ Age : _____

TEST EN COURS DE VALIDATION.
 PRIERE DE NE PAS DIFFUSER.

TEST DE HAYLING Version mars 2007
 (Burgess et Shallice)

Partie A : Contrôle

Exemples : Les prisonniers se sont évadés de la _____
 Il a trouvé un oasis dans le _____

1. Il a posté sa lettre en oubliant de mettre un _____ (___ sec)
2. Le boulanger mit la pâte à cuire dans le _____ (___ sec)
3. Ce puzzle est incomplet car il manque une _____ (___ sec)
4. Il prit rendez-vous chez le dentiste car il avait mal aux _____ (___ sec)
5. La poule a pondu un _____ (___ sec)
6. Au printemps, l'oiseau construit son _____ (___ sec)
7. Sur la plage, les enfants aiment faire des châteaux de _____ (___ sec)
8. Il ne pouvait ouvrir la porte car elle était fermée à _____ (___ sec)
9. Il alla chez le coiffeur se faire couper les _____ (___ sec)
10. Pour l'appeler il me faut son numéro de _____ (___ sec)
11. Curieux, il regardait par le trou de la _____ (___ sec)
12. Le menuisier a enfoncé un clou avec son _____ (___ sec)
13. Ce motard a eu une amende pour excès de _____ (___ sec)
14. En été, il s'installe à l'ombre pour éviter les coups de _____ (___ sec)
15. Il y a sept jours dans une _____ (___ sec)

Total : _____ sec

Partie B : Inhibition/Évocation libre

Exemples : Il fait froid ; ferme la _____ (banane, fenêtre, vitre, penderie, neige, l'auto)
 Le taux de criminalité a augmenté cette _____ (brosse à dent, année)

- | | TR | 30* | Pénal. (*) |
|---|------------------------------------|--------------------------|------------|
| 1. Pour mieux voir de près, il doit porter des _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2. L'alpiniste arrive au sommet de la _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3. Hier, il est allé voir ce film au _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4. Les jeunes mariés sont partis en voyage de _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5. Le facteur s'est fait mordre par un _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6. Le lion est le roi des _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7. En automne, les arbres perdent leurs _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 8. L'instituteur n'avait plus de craie pour écrire au _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 9. Les pompiers ont éteint le _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 10. Cette région a déjà subi deux tremblements de _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 11. Le fermier est allé traire les _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 12. Pour se protéger de la pluie, il a ouvert son _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 13. Ces chaussures ont été réparées par le _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 14. Sa promenade en vélo a été courte car il a crevé un _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 15. Il est bon de manger trois fois par _____ | (___ sec) <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |

TR total :	sec	TR corrigé :	sec	Pénalités :	RC :
-------------------	-----	---------------------	-----	--------------------	-------------

(*) TR = temps de réponse « réel »
 30* = case à cocher en cas de pénalité (TR « corrigé » = 30 sec.)
 Pénal. = valeur de la pénalité (1 ou 3 pts)

Annexe 15 : Test du Local-global (Kimchi, 1992)

1^{er} bloc

Vous allez voir apparaître des chiffres en **bleu** qui sont eux-mêmes composés de chiffres.
Votre tâche est de nommer le plus rapidement possible le chiffre que vous voyez de manière globale (le chiffre formé par les autres chiffres).
Après avoir donné votre réponse, vous appuierez sur la touche « espace » pour passer à l'item suivant.

2^{ème} bloc

Vous allez voir apparaître des chiffres en **orange** qui sont eux-mêmes composés de chiffres.
Votre tâche est de nommer le plus rapidement possible le chiffre que vous voyez de manière locale (les petits chiffres qui composent le grand chiffre).
Après avoir donné votre réponse, vous appuierez sur la touche « espace » pour passer à l'item suivant.

3^{ème} bloc

Vous allez voir apparaître des chiffres en **bleu** et en **orange**.
Votre tâche est de nommer le plus rapidement possible les chiffres que vous voyez en **bleu** de manière globale (le grand chiffre) et ceux que vous voyez en **orange** de manière locale (les petits chiffres).
Après avoir donné votre réponse, vous appuierez sur la touche « espace » pour passer à l'item suivant.

3333333
3
3
3
3 3
3
3 3
3 3
33333
Item non congruent

Réponse : 5

1
1 1
1
1
1
1
1
1
1
1111111
Item congruent

Réponse : 1

3333333
3
3
3
3 3
3
3 3
3 3
33333
Item non congruent

Réponse : 3

22222
2 2
2
2
2
2
2
2
2
2222222
Item congruent

Réponse : 2

Annexe 16 : test du Running Span (Morris & Jones, 1990)

Running span (Fonctions exécutives- Mise à jour).

Présentation successive des 12 listes de lettres. Le sujet ne sait pas à l'avance de combien de lettres sera composée la liste. **Il doit restituer les 4 dernières lettres.** On commence par 2 essais qui ne seront pas pris en compte dans le score final

Score : nombre de lettres correctement restituées.

Entraînement

G S H D R Réponse: S H D R

J M S V N D P Réponse: V N D P

- 1- P Z B G M K L
- 2- G F P V N Q Z T M L D
- 3- Z L K J N B R T V
- 4- J P M Z Q
- 5- D H T R Z X P
- 6- N V X C R T P M Q H M
- 7- T K X V Q
- 8- P K G D S Q R N V
- 9- R Z Q X V N P
- 10- H J P M V B Z T R Q N
- 11- V X Z R P
- 12- L J H Z C D T B N

LE STOP SIGNAL

Voici une liste de mots, et vous devez indiquer pour chaque mot s'il désigne ou non un animal.

Vous cochez la case « **Animal** » lorsque le mot présenté est un nom d'animal et la case « **Non Animal** » si le mot évoque autre chose qu'un animal.

Votre temps de réponse et le nombre de réponses correctes sont mesurés, vous devez donc répondre aussi vite que possible et sans faire d'erreurs.

Essayez tout d'abord de compléter cette liste, à titre d'exemple :

	Animal	Non Animal
discours*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pneu*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
blague**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
autruche*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cahier*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
morceau**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
zèbre*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
singe*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
congrès**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
poule**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LISTE A

	Animal	Non Animal
carte**	ĩ	ĩ
hôtel*	ĩ	ĩ
lapin**	ĩ	ĩ
matériel*	ĩ	ĩ
dauphin***	ĩ	ĩ
religion**	ĩ	ĩ
piano*	ĩ	ĩ
renard***	ĩ	ĩ
hibou***	ĩ	ĩ
valet*	ĩ	ĩ
dromadaire**	ĩ	ĩ
témoin**	ĩ	ĩ
papillon*	ĩ	ĩ
lavande*	ĩ	ĩ
loup***	ĩ	ĩ
froid**	ĩ	ĩ
coussin*	ĩ	ĩ
peintre*	ĩ	ĩ
chou*	ĩ	ĩ
écureuil**	ĩ	ĩ
parfum***	ĩ	ĩ
grillon*	ĩ	ĩ
navire***	ĩ	ĩ

mouche**	ĩ	ĩ
temple*	ĩ	ĩ
miroir***	ĩ	ĩ
noyau**	ĩ	ĩ
écrevisse*	ĩ	ĩ
parlement*	ĩ	ĩ
rideau**	ĩ	ĩ
vipère***	ĩ	ĩ
sonnerie**	ĩ	ĩ

LISTE A'

	Animal	Non Animal
parenthèse**	ĩ	ĩ
goéland***	ĩ	ĩ
dissection*	ĩ	ĩ
riche***	ĩ	ĩ
zeste***	ĩ	ĩ
truite**	ĩ	ĩ
mauvais*	ĩ	ĩ
chat*	ĩ	ĩ
énergique**	ĩ	ĩ
concombre***	ĩ	ĩ
aventure*	ĩ	ĩ
sanglier*	ĩ	ĩ
balsamique*	ĩ	ĩ
militer**	ĩ	ĩ
rhinocéros***	ĩ	ĩ
planche**	ĩ	ĩ
radar**	ĩ	ĩ

lion*	ĩ	ĩ
azur***	ĩ	ĩ
médaille*	ĩ	ĩ
dénaturer**	ĩ	ĩ
baleine*	ĩ	ĩ
flamant*	ĩ	ĩ
truffe***	ĩ	ĩ
iceberg**	ĩ	ĩ
thèse*	ĩ	ĩ
peau***	ĩ	ĩ
urbain*	ĩ	ĩ
mulet*	ĩ	ĩ
emploie**	ĩ	ĩ
vache**	ĩ	ĩ
flèche***	ĩ	ĩ

LE STOP SIGNAL (suite)

Maintenant, vous devez réaliser le même exercice que précédemment, SAUF que lorsque le mot présenté s'accompagne de deux astérisques (**): vous ne devez pas donner de réponse (ne pas cocher les cases) et passer directement au mot suivant dans la liste.

Là encore, sont mesurés votre temps de réponse et les réponses correctes, vous devez donc compléter cette liste **au plus vite et sans hésitation**.

Avant de commencer, voyons un exemple :

	Animal	Non Animal
fraternité*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
cheval*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
limousine**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rupture*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
oeuvre**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
tortue*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
contrainte*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pyramide*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mouton**	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
valeur*	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LISTE B

	Animal	Non Animal
passage*	ĩ	ĩ
tissu***	ĩ	ĩ
crapaud*	ĩ	ĩ
église*	ĩ	ĩ
invité**	ĩ	ĩ
passoire*	ĩ	ĩ
médiateur***	ĩ	ĩ
canard**	ĩ	ĩ
débat**	ĩ	ĩ
figue*	ĩ	ĩ
cristallins***	ĩ	ĩ
dindon***	ĩ	ĩ
minute*	ĩ	ĩ
inspection**	ĩ	ĩ
pépite*	ĩ	ĩ
costume*	ĩ	ĩ
panda**	ĩ	ĩ
canal*	ĩ	ĩ
servant***	ĩ	ĩ
crocodile*	ĩ	ĩ
képi***	ĩ	ĩ
lingot**	ĩ	ĩ
mission*	ĩ	ĩ
défaut*	ĩ	ĩ
crédit*	ĩ	ĩ
parvis**	ĩ	ĩ

cigale***	ĩ	ĩ
arme***	ĩ	ĩ
panthère*	ĩ	ĩ
jugement***	ĩ	ĩ
gazelle**	ĩ	ĩ
médicament*	ĩ	ĩ

LISTE B'

	Animal	Non Animal
paon***	↑	↑
sorbet*	↑	↑
dire**	↑	↑
antilope*	↑	↑
mouton***	↑	↑
tendance*	↑	↑
corbeau**	↑	↑
péjoratif*	↑	↑
endive**	↑	↑
liaison*	↑	↑
coq***	↑	↑
flac***	↑	↑
laitue**	↑	↑
hygiène*	↑	↑
instinct***	↑	↑
cerf*	↑	↑
esthétique*	↑	↑
phoque**	↑	↑
mariage*	↑	↑
grecque*	↑	↑
parrain***	↑	↑
brebis***	↑	↑
anguille*	↑	↑
matrone*	↑	↑
fritte***	↑	↑
disloquer**	↑	↑

lézard***	ı	ı
tenue*	ı	ı
manchot**	ı	ı
percepteur***	ı	ı
lâcheté**	ı	ı
siècle*	ı	ı

Annexe 19 : Test du Paced Auditory Serial Addition Test (Gronwall & Sampson, 1974)

PASAT-4 secondes (version modifiée de B. Naëgele & S. Mazza) Protocole de réponses

Exemples

Exemple audio. 1 ^{er} essai			Exemple audio. 2 ^{ème} essai			Exemple audio. 3 ^{ème} essai		
Chiffres énoncés	R.A	R.S	Chiffres énoncés	R.A	R.S	Chiffres énoncés	R.A	R.S
1			1			1		
5	6		5	6		5	6	
3	8		3	8		3	8	
7	10		7	10		7	10	
8	15		8	15		8	15	
2	10		2	10		2	10	

R.A = Réponses attendues R.S = Réponses du sujet

Test

Chiffres énoncés			Chiffres-énoncés			Chiffres énoncés		
« Attention »	R.A	R.S		R.A	R.S		RA.	R.S
2								
7	9		9	10		7	10	
3	10		6	15		1	8	
4	7		5	11		3	4	
7	11		3	8		2	5	
1	8		1	4		3	5	
5	6		4	5		7	10	
6	11		1	5		7	14	
3	9		2	3		1	8	
1	4		6	8		5	6	

3	4		3	9		5	10	
6	9		7	10		6	11	
4	10		1	8		3	9	
3	7		8	9		1	4	
2	5		3	11		3	4	
7	9		8	11		1	4	
4	11		1	9		9	10	
5	9		4	5		1	10	
3	8		7	11		5	6	
2	5		2	9		2	7	
1	3		3	5		1	3	
	BN=			BN=		« Stop »	BN =	

Total des Bonnes réponses (BN) 1 60 = Centile :

Nombre d'erreurs de Télescopage =

Erreurs de calcul =

Non réponse =

Nombre de bonnes réponses non données dans le temps imparti =

Annexe 20: Test du Nombre-lettre (Rogers & Monsell, 1995)

Consigne : « Je vais vous présenter une série de tableaux à quatre cases. Dans l'une des cases de chaque tableau se situe un couple constitué d'un chiffre et d'une lettre. Quand le couple se situe dans l'une des deux cases du HAUT, vous devez dire si le chiffre est PAIR ou IMPAIR. Quand le couple se situe dans l'une des deux cases du BAS, vous devez dire si la lettre est une VOYELLE ou une CONSONNE. Vous devez répondre le plus rapidement ».

Phase 1 : Exemples d'écran d'essais consécutifs, lorsque l'item est en haut, les personnes doivent répondre si l'item est un chiffre pair ou impair

	S4

F5	

	L8

	R2

Phase 2 : Exemples d'écran d'essais consécutifs lorsque l'item est en bas le participant doit répondre si la lettre est une consonne ou une voyelle

E5	

	G1

K6	

U9	

Phase 3 : Exemples d'écran d'essais consécutifs, lorsque l'item est en haut, les personnes doivent répondre si l'item est un chiffre pair ou impair, lorsque l'item est en bas le participant doit répondre si la lettre est une consonne ou une voyelle

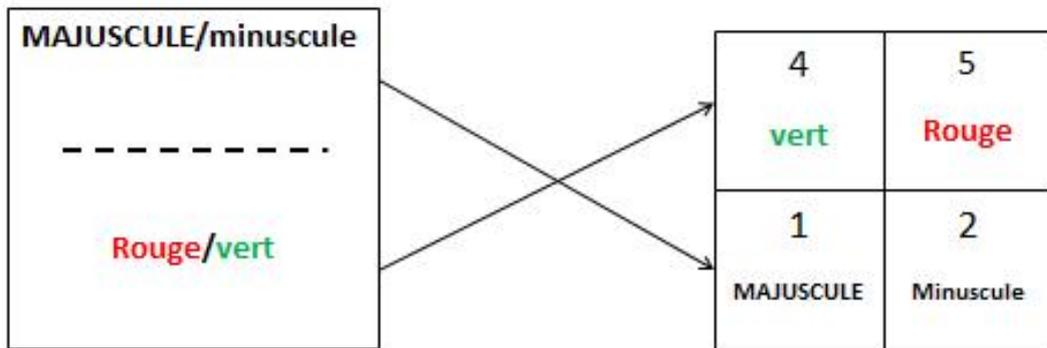
	F6

P3	

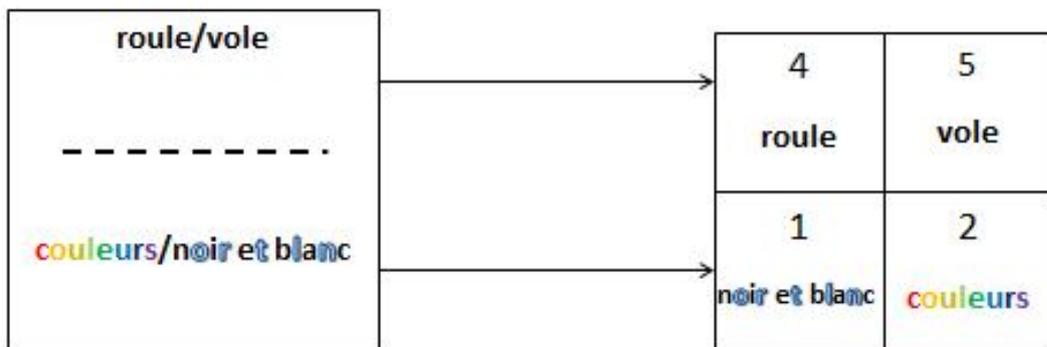
J7	

D4	

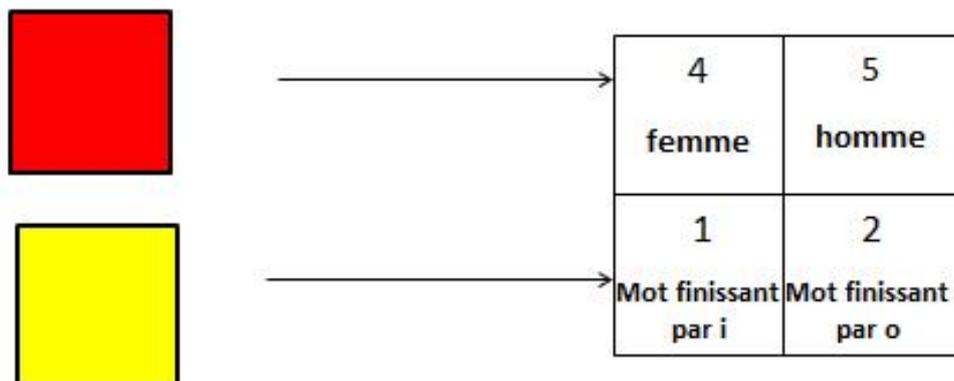
Flexibilité majuscule/minuscule ; rouge/vert



Flexibilité roule/vole ; couleurs/noir et blanc



Flexibilité mots finissant par i/o ; voix d'homme/de femme



Carte A : Vous devez lire dans votre tête le plus rapidement possible en colonne ces noms d'animaux

FRELON	PIVERT	LION	ANTILOPE
FOURMI	MORSE	GIRAFE	CIGALE
ESCARGOT	PANTHERE	GORILLE	SCARABEE
GUÊPE	ARAIGNEE	BUFFLE	TAUREAU
CERF	MUSARAIGNE	ABEILLE	LIBELLULE
HAMSTER	OURS	MOINEAU	LAMA
ELEPHANT	LIMACE	BALEINE	LEOPARD
BISON	PAPILLON	MITE	RAT
LEZARD	BICHE	YACK	PUCE
CAFARD	PANDA	HANNETON	ASTICOT
CRABE	RENNE	VER	LOUP
ETALON	PONEY	TIGRE	CRAPAUD
MERLE	COCCINELLE	CROCODILE	HIRONDELLE
DAUPHIN	SCORPION	BŒUF	CHENILLE
CHAMEAU	MULOT	REQUIN	PHOQUE
ORQUE	GRENOUILLE	MOUSTIQUE	ANE
ZEBRE	ELAN	SAUTERELLE	MOUCHE
VACHE	POUX	CREVETTE	CHEVAL
DROMADAIRE	AUTRUCHE	JUMENT	DAIM
MOULE	JAGUAR	SOURIS	PUCERON

CARTEB = Vous devez lire à voix haute le plus rapidement possible en colonne ces noms d'animaux

MUSARAIGNE
SCARABEE
FOURMI
PANTHERE
OURS
CAFARD
ELEPHANT
LEZARD
AUTRUCHE
RAT
MOINEAU
SAUTERELLE
MOUSTIQUE
ANE
REQUIN
CHENILLE
YACK
VACHE
DAUPHIN
POUX

ABEILLE
PANDA
BALEINE
MITE
SOURIS
LION
MOULE
GIRAFE
CHAMEAU
BUFFLE
ESCARGOT
CROCODILE
PUCE
GRENOUILLE
CRABE
BŒUF
DAIM
PONEY
BISON
LIBELLULE

TAUREAU
CERF
GORILLE
MORSE
COCCINELLE
GUÊPE
TIGRE
HAMSTER
JUMENT
HANNETON
LOUP
LAMA
ASTICOT
ETALON
ANTILOPE
FRELON
CRAPAUD
ARAIGNEE
CHEVAL
ELAN

PUCERON
MULOT
BICHE
JAGUAR
ZEBRE
MERLE
LEOPARD
RENNE
DROMADAIRE
VER
HIRONDELLE
PIVERT
CREVETTE
PAPILLON
PHOQUE
LIMACE
MOUCHE
SCORPION
CIGALE
ORQUE

Carte C : Vous devez lire à voix haute uniquement les noms d'animaux plus petits que les chats ex :
luciole

SOURIS	ABEILLE	MULOT	TAUREAU
FOURMI	PANDA	SAUTERELLE	FRELON
SCARABEE	PANTHERE	GORILLE	MOINEAU
BALEINE	VER	MORSE	JAGUAR
GIRAFE	MUSARAIGNE	LIBELLULE	PIVERT
HAMSTER	BUFFLE	MITE	LAMA
ELEPHANT	MOULE	DAUPHIN	LEOPARD
BISON	OURS	CAFARD	ESCARGOT
LEZARD	REQUIN	YACK	COCCINELLE
RAT	ETALON	HANNETON	AUTRUCHE
CRABE	RENNE	HIRONDELLE	LOUP
BUEUF	ASTICOT	BICHE	ANTILOPE
MOUSTIQUE	PUCE	CROCODILE	ARAIGNEE
ANE	LION	PAPILLON	CHENILLE
CHAMEAU	JUMENT	GRENOUILLE	PHOQUE
SCORPION	CRAPAUD	ORQUE	PONEY
MERLE	DAIM	CERF	MOUCHE
VACHE	POUX	CREVETTE	CHEVAL
TIGRE	DROMADAIRE	ZEBRE	ELAN
LIMACE	GUÊPE	CIGALE	PUCERON

Annexe 20 : Proverbes 2-Back

Je vais vous lire une liste de proverbes incomplets. Vous allez devoir compléter la fin de chaque proverbe mais avec le mot qu'il manquait dans le proverbe précédent.

Par exemple :

Si je vous dis à la suite :

- Tous les goûts sont dans ... ? puis
- A chaque jour suffit.... ?

⇒ Vous devez me répondre « **(sa) nature** »

- C'est en forgeant qu'on devient ...?

⇒ Vous devez me répondre « **(sa) peine** »

Proverbes	Réponse	Score
Les bons comptes font les bons...?	-	
L'argent n'a pas...?	amis	
Le temps, c'est de ...?	odeur	
Réussir les doigts dans ...?	argent	
L'habit ne fait pas...?	nez	
Aller plus vite que...?	moine	
Avoir les yeux plus gros que...?	musique	
Etre comme un poisson dans...?	ventre	
Mettre la charrue avant...?	eau	
Monter sur ses grands...?	bœuf	
Donner sa langue ...?	chevaux	
Rira bien, qui rira ...?	chat	
Mettre les pieds dans...?	dernier	
Jeter de l'huile sur...?	plat	
Toutes les bonnes choses ont... ?	feu	
Qui part à la chasse, perd...?	fin	
La nuit, tous les chats sont...?	place	
La vengeance est un plat qui se mange...?	gris	
C'est la goutte d'eau qui fait déborder...?	froid	
Il n'y a pas de fumée sans...?	vase	
Mieux vaut prévenir que...?	feu	

Annexe 24: Test des 3 Derniers Proverbes

Je vais vous lire une liste de proverbes incomplets. Vous allez devoir compléter la fin de chaque proverbe dans votre tête et lorsque je m'arrêterai vous devrez me rappeler les trois dernières fins des trois derniers proverbes.

Par exemple :

Si je vous dis à la suite :

- Tous les goûts sont dans la ... ? puis
- A chaque jour suffit sa ?
- Froid aux mains, chaud au... ?
- Mettre de l'eau dans son... ?

⇒ Vous devez me répondre « **peine, cœur, vin** »

Essai 1

- 1 qui vole un œuf, vole un ...?
- 2 avoir des doigts de ...?
- 3 Prendre ses jambes à son ...?
- 4 Avoir le cœur sur la ... ?

Réponses attendues : **fée, cou, main**

Essai 2

- 1 avoir le compas dans...?
- 2 se faire prendre la main dans le ...?
- 3 en voir de toutes les...?

- 4 quand les poules auront des...?
- 5 ne pas y aller avec le dos de la ...?

Réponses attendues : **couleurs, dents, cuillère**

Essai 3

- 1 mettre les petits plats dans le...?
- 2 se lever du mauvais ...?
- 3 se faire prendre la main dans le ...?
- 4 avoir un cheveu sur la ...?

Réponses attendues : **pied, sac, langue**

Essai 4

- 1 ne plus savoir sur quel pied ...?
- 2 reprendre du poil de la ...?
- 3 ne pas voir plus loin que le bout de son ...?
- 4 tourner sept fois sa langue dans sa ...?
- 5 donner sa langue au ...?

Réponses attendues : **nez, bouche, chat**

Essai 5

- 1 après l'effort, le ...?
- 2 être haut comme trois ...?
- 3 en avril, ne te découvre pas d'un ...?

- 4 le temps c'est de ...?
- 5 petit à petit, l'oiseau fait son ...?

Réponses attendues : **fil, argent, nid**

Essai 6

- 1 qui s'y frotte, s'y ...?
- 2 qui va à la chasse, perd sa ...?
- 3 tous les chemins mènent à ...?
- 4 avoir une idée derrière la ...?
- 5 avoir un chat dans la ...?
- 6 avoir la chair de ...?

Réponses attendues : **tête, gorge, poule**

Essai 7

- 1 jeter son argent par les ...?
- 2 remuer le couteau dans la ...?
- 3 se faire rouler dans la ...?
- 4 heureux comme un poisson dans ...?

Réponses attendues : **plaie, farine, eau**

Essai 8

- 1 c'est en forgeant qu'on devient ...?
- 2 malheureux en jeu, heureux en ...?

- 3 il faut de tout pour faire un ...?
- 4 l'argent ne fait pas le ...?
- 5 toutes les bonnes choses ont une ...?

Réponses attendues : **monde, bonheur, fin**

Essai 9

- 1 la nuit porte ...?
- 2 toutes peines méritent ...?
- 3 rira bien qui rira le ...?
- 4 être armé jusqu'aux ...?

Réponses attendues : **salaires, dernier, dents**

Essai 10

- 1 ne pas avoir sa langue dans sa ...?
- 2 avoir le moral à ...?
- 3 avoir le cœur sur la ...?
- 4 il n'y a pas de fumée sans ...?
- 5 qui part à la chasse perd sa ...?
- 6 mettre la charrue avant les ...?

Réponses attendues : **feu, place, bœufs**

Test de Lecture

(Adaptation française du « National Adult Reading Test »)

Nom : _____

Date : ___ / ___ / ___

Dire à l'interviewé(e) :

Essayez de lire à haute voix chacun des mots suivants. Vous ne connaissez probablement pas beaucoup de ces mots, la plupart des gens ne les connaissent pas, mais essayez de les deviner. Donner la liste des mots à l'interviewé(e). Les incitations suivantes sont possibles : Pourriez-vous aller un petit peu plus lentement ? Pourriez-vous répéter cela ?

Arrêter l'interviewé(e) si il/elle se trompe 14 fois sur 15 (mots) ou ne répond pas (ne peut pas répondre) pendant 15 secondes. Criez « Stop ! » après le dernier mot lu. (Encercler ✕ ou ✓ par mot.)

mot			mot		
isthme (ism)	✕	✓	rébus (rebus)	✕	✓
coccyx (kosis)	✕	✓	chamsin (kamsin)	✕	✓
lichen (likén)	✕	✓	occire (oksir)	✕	✓
facétie (fasesi)	✕	✓	gnose (gnooz)	✕	✓
asthme (asm)	✕	✓	oignon (ojnion)	✕	✓
damner (dane)	✕	✓	gars (ga)	✕	✓
aulne (oon)	✕	✓	joug (ju)	✕	✓
broc (bro)	✕	✓	aulx (oo)	✕	✓
speaker (spikoer)	✕	✓	prompt (pron)	✕	✓
beatnik (bitnik)	✕	✓	zinc (zèng)	✕	✓
reître (retr)	✕	✓	gnome (gnoom)	✕	✓
starter (starter)	✕	✓	croc (kro)	✕	✓
béotien (béossien)	✕	✓	varech (varek)	✕	✓
stagnant (stagnan)	✕	✓	argutie (argussi)	✕	✓
pouls (pou)	✕	✓	charisme (karism)	✕	✓

caecal (sekal)	✘	✓	charale (karal)	✘	✓
scherzo (skerdzo/ skerzo)	✘	✓	fasciste (fachist)	✘	✓
choanne (koan)	✘	✓	fuel (fjul)	✘	✓
chorion (korion)	✘	✓	seing (sèn)	✘	✓
agenda (ajènda)	✘	✓	chelem (chelem)	✘	✓
#			#		

INFORMATION – *WAIS III*

Commencer à l'item 5 :

si le sujet réussit les items 5 et 6 → attribuer 1 point aux items 1 à 4,

si le sujet échoue à l'item 5 ou à l'item 6 → administrer les items 4 à 1 (ordre inverse) jusqu'à ce que 2 items consécutifs soient réussis (item 5 compris), avant de continuer.

Arrêt après 6 échecs consécutifs.

Questions...

1. Combien de mois y a-t-il dans une année ?
2. Quel jour vient juste après samedi ?
3. Quelle est la forme d'une balle ?
4. Quel âge avez-vous ?
5. Qu'est-ce qu'un thermomètre ?
6. Où se trouve le Brésil ?
7. De quel côté le soleil se lève-t-il ?
8. Quel est le pays d'origine des Jeux Olympiques ?
9. Sur quel continent se trouve l'Egypte ?
10. Qu'est-ce que Le Coran ?
11. Que signifient les initiales O.N.U., ONU ?
12. Qui a écrit « Hamlet » ?
13. Qui a écrit « Le Tour du Monde en 80 jours » ?
14. Qui était Rodin ?
15. Qui était Martin Luther King ?
16. A quelle invention est associé le nom de Gutenberg ?
17. Qui a peint la Chapelle Sixtine ?

18. Quel est le nom habituellement associé à la théorie de la relativité ?
19. Qu'est-ce qui a rendu célèbre Marie Curie ?
20. Comment s'appelle le plus haut sommet d'Afrique ?
21. Quel personnage de roman célèbre a été créé par Cervantès ?
22. Quelle est la capitale de la Finlande ?
23. Qui est l'auteur de la théorie de l'évolution des espèces ?
24. Qui a écrit « Faust » ?
25. Combien y a-t-il d'habitants dans le monde ?
26. Quel est le nom du premier homme qui a traversé la Manche en avion ?
27. Qu'est-ce qu'un copte ?
28. Quelle invention a permis le développement des ordinateurs personnels ?

Réponses acceptables...

1. 12.
2. Dimanche.
3. Ronde ; sphérique ; circulaire ; une sphère ; une cercle ; comme au football.
4. Vérifier les données.
5. Instrument (objet, appareil) pour mesurer la température ; évaluer la chaleur.
6. Amérique du Sud ; Amérique latine.
Si le sujet donne une réponse précise comme « au Sud du Venezuela », dire : « Oui, mais sur quel continent se trouve le Brésil ? ». Si le sujet dit « Amérique », faire préciser.
7. Est. *Si le sujet montre du doigt, dire : « Oui, mais c'est dans quelle direction ? ».*
8. La Grèce.
9. L'Afrique.
10. Le livre sacré des Musulmans ; l'Évangile des Musulmans ; la Bible arabe ; le livre de prières de l'Islam ; texte de la religion islamique ; Doctrine de Mahomet.
11. Organisation des Nations Unies.
12. Shakespeare.
13. Jules Verne.

14. Un sculpteur.
15. Dirigeant politique des Noirs américains ; s'est battu pour les droits civiques des Noirs américains ; pasteur noir américain, a lancé le mouvement de non-violence aux USA ; pasteur noir américain assassiné, qui a fait de la politique ; pasteur pour la paix, contre le racisme ; pasteur noir pacifiste ; défenseur de la cause noire ; Prix Nobel de la Paix.
Si le sujet dit : « Pasteur noir américain assassiné », faire préciser.
16. L'imprimerie ; la machine à imprimer ; la typographie.
17. Michel-Ange.
18. Albert Einstein ; Einstein.
19. Chimiste ; physicienne ; Prix Nobel de Physique (ou de Chimie) ; scientifique ; à découvert le radium ; à découvert la radioactivité.
(Ne pas créditer « à découvert la radiation (l'atome, l'uranium, rayons X) »).
20. Le Kilimandjaro ou Pic Uhuru.
21. Don Quichotte.
(Ne pas créditer « Sancho Pancha »).
22. Helsinki.
23. Darwin.
24. Goethe, Gounod, Berlioz.
25. 6 milliards d'individus (estimation actuelle). Toute réponse comprise entre 4,8 (-20%) et 7,2 (+20%) milliards est acceptée.
26. Blériot.
27. Chrétien (catholique) d'Égypte (ou d'Éthiopie) ; personne qui professe le monophysisme.
Si le sujet dit : « religieux égyptien », faire préciser.
28. Le microprocesseur. (Ne pas créditer « la puce, micropuce, le transistor »).

Annexe 27 : sub-test « similitudes » de la WAIS-R (Wechsler, 1981)

Départ : Item 6 Arrêt : après 5 échecs consécutifs

Ordre inverse : si le patient échoue à l'item 6 ou 7, administrer les items précédents en ordre inverse jusqu'à ce qu'il réussisse 2 items consécutifs

item	réponse	Note (0 ou 1)
manteau-costume		
jaune-vert		
chien-lion		
cuillère-fourchette		
chaussettes-chaussures		
bateau-voiture		(0,1 ou 2)
œil-orteil		
table-chaise		
soir=e-laine		
cube-cylindre		
manger-dormir		
poème-statue		
récompense-punition		
vapeur-brouillard		
douanier-instituteur		
dictionnaire-annuaire		
caoutchouc-papier		
vent-eau		
sédentaire-nomade		
	total (max=33)	

Effet de l'entraînement des fonctions exécutives sur l'utilisation appropriée de stratégies de mémoire: étude comportementale et électrophysiologique/Transfer effect of executive training on the use of encoding strategies in episodic memory in older adults: behavioral and electrophysiological study

Résumé : L'objectif général de cette thèse était de tester l'efficacité d'un entraînement exécutif ainsi que de tester les transferts des bénéfices de cet entraînement sur d'autres fonctions cognitives notamment la mémoire épisodique au niveau comportemental et électrophysiologique chez des adultes âgés. Pour cela, des effets test-retest ont été observés lors de la passation d'un même test de façon consécutive. Ainsi, la création de nouveaux tests pour confectionner le programme d'entraînement a été nécessaire pour ne pas avoir ces effets tests re-tests lors de la passation des pré-tests et des post-tests. Les entraînements exécutifs ont permis l'amélioration du fonctionnement exécutif mais aussi l'amélioration de la vitesse de traitement, et ces bénéfices ont permis l'annulation des effets d'âge dans le groupe entraîné sur une fonction exécutive : la mise à jour de la mémoire de travail. De plus, des effets de transfert ont été obtenus sur l'utilisation stratégique lors de l'encodage d'information en mémoire épisodique. Plus précisément, les adultes âgés entraînés utilisaient plus de stratégies d'encodages efficaces (encodage profond de type imagerie mentale ou phrase) après l'entraînement exécutif et l'utilisation de ces stratégies était plus efficace. Au niveau cérébral, l'entraînement exécutif semble engendrer des processus de spécialisation cérébrale se traduisant par une diminution de l'activité cérébrale de certaines zones cérébrales. Ce travail de thèse incite le développement de programmes d'entraînement des fonctions exécutives qui semblent permettre des effets de transfert à des tâches non entraînées et ces bénéfices semblent aussi modifier le fonctionnement cérébral, ce qui suppose un effet plus durable. Ceci confirme l'idée qu'un environnement stimulant cognitivement est en lien avec de bonnes capacités cognitives et contribue à un vieillissement réussi. **Mots clés :** mémoire épisodique, entraînement exécutif, vieillissement normal, transfert, stratégies, potentiels évoqués

Abstract: The main objective of this thesis was to test the efficiency of an executive training program and the transfer effects of this program on other cognitive functions, in particular episodic memory strategies and performance. The present work was based on behavioral and electrophysiological data. Practice effects of executive tests have been first tested in young and older adults. Two tests have been practiced across ten practice sessions, and the results showed that the executive functions scores increased after practice, more for the older adults than for the younger ones. In order to develop an executive training program requiring several different tests, we have created new executive tests. The psychometric validity of these tests has been verified and confirmed. These tests have been used for our executive program. Thus, if training effects appeared following this program, they will not be due to the practice of a unique test. Eight sessions of executive stimulation with our new tests have allowed older adults increasing their executive functioning, measured by tests which were different from those employed in the training program (near transfer effects). Other cognitive functions were also improved, as processing speed and episodic memory. For the first time in the literature, far transfer effect have been found memory strategy efficiency and memory performance. More especially, the older adults trained group used more efficient memory strategies (mental imagery or making sentence with the words to be learnt) after the executive training program, and these strategies were more efficient to recall the words. Thus, the memory performance was increased in this group, in comparison the older adults group who did not participate to the training program. At a cerebral level, the executive training seems to decrease the duration of the cerebral activity for the same memory task. However, these results must to be taken with caution and require further analyses to be interpreted correctly. The results of this thesis encourages the development of training programs for executive functions which allows the transfer effects to untrained tasks. These benefits also appear to modify the brain functioning, which implies a longer lasting benefit effect. This work supports the idea that a cognitively stimulating environment is in line with higher cognitive abilities and contributes to successful aging. **Key-words:** episodic memory, executive training, aging, transfer, strategies, event-related potentials.