



**HAL**  
open science

# Vieillesse de la mémoire de travail : le rôle du rafraîchissement attentionnel

Gabriel Jarjat

► **To cite this version:**

Gabriel Jarjat. Vieillesse de la mémoire de travail : le rôle du rafraîchissement attentionnel. Psychologie. Université Grenoble Alpes, 2019. Français. NNT : 2019GREAS041 . tel-02899489

**HAL Id: tel-02899489**

**<https://theses.hal.science/tel-02899489v1>**

Submitted on 15 Jul 2020

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

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

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

### **DOCTEUR DE LA COMMUNAUTE UNIVERSITE GRENOBLE ALPES**

Spécialité : **Sciences cognitives, psychologie et  
neurocognition**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Gabriel Jarjat**

Thèse dirigée par **Pascal HOT (Professeur des Universités,  
Univ. Savoie Mont-Blanc)** et co-encadrée par **Sophie PORTRAT  
(Maître de conférences, Univ.Grenoble Alpes)**

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition  
(LPNC, UMR CNRS 5105)** dans l'École Doctorale Ingénierie pour la  
Santé, la Cognition et l'Environnement (**EDISCE, Grenoble**)

## **Vieillessement de la mémoire de travail : le rôle du rafraîchissement attentionnel**

Thèse soutenue publiquement le **26 Février 2019**,  
devant le jury composé de :

**Mme, Laurence, TACONNAT**

Professeure, Université François-Rabelais, Présidente

**Mme, Fabienne, COLLETTE**

Directrice de Recherche, Université de Liège, Rapporteur

**Mme, Evie, VERGAUWE**

Professeure Assistante, Université de Genève, Examinatrice

**M, Alessandro, GUIDA**

Maître de Conférences, Université Rennes 2, Examineur

**Mme, Sophie, PORTRAT**

Maître de Conférences, Université Grenoble Alpes, Co-encadrante Invitée

**M, Pascal, HOT**

Professeur, Université Savoie Mont-Blanc, Directeur de thèse





## Remerciements

*Tout d'abord, mille mercis, au bas mot, à vous, Pascal et Sophie ! Premièrement, merci de m'avoir fait assez confiance pour accepter de partir à l'aventure avec moi pendant 3 ans. Enfin, ce qui devait être trois ans... Merci, donc, d'avoir accepté, sans sourciller, le prolongement de votre encadrement pendant quelques mois. Et quel encadrement ! Je crois, très sincèrement, que l'on ne peut espérer avoir de meilleurs encadrants de thèse. Au-delà de toutes vos qualités de chercheurs, vous m'avez fait très largement bénéficier de votre disponibilité, de votre patience et de votre soutien. Sans vous, je n'aurais jamais pu mener ce travail à son terme. Merci Pascal, d'avoir été tellement plus qu'une simple signature dans cette thèse, malgré ton affection bien connue pour l'étude de la MDT. Qui sait, peut-être vas-tu abandonner le domaine des émotions maintenant ☺ ? Merci Sophie, de me supporter, depuis 6 ans déjà ! J'en profite pour m'excuser des sueurs froides qui t'auront privée de vraies nuits de sommeil, particulièrement lors de la dernière ligne droite. Merci pour ta bienveillance, ta gentillesse indéfectible, et pour tout le temps que tu auras consacré à me former, scientifiquement, mais également humainement. J'admirerai éternellement ta persévérance à me tirer vers le haut. Il en va de même pour ta patience à m'écouter tout remettre en question pour, finalement, en revenir au point initial ! Enfin, merci d'avoir été tellement plus qu'une encadrante de thèse : mon possible futur universitaire, ce sera à toi que je le dois.*

*Je tiens à remercier ensuite très chaleureusement les membres du jury de thèse, Laurence Taconnat, Fabienne Collette, Evie Vergauwe et Alessandro Guida pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques avisées lors de la soutenance. Merci également à toi, Evie, pour ton investissement dans ce qui sera, je souhaite, l'après thèse.*

*Je remercie également toutes les personnes ayant accepté de participer aux expériences présentées dans ce manuscrit. Sans leur bonne volonté, ce travail n'aurait pas pu aboutir. L'aide de toutes celles et ceux qui ont réalisé certaines des passations expérimentales a également été nécessaire pour réaliser ce travail. Ainsi, un grand merci à Rémi, Alexandre, "Lily", Nathanael, Clémence, Sophie, Audrey, Martina, Marie, Abigaïl, Justin, Mélissa, Kévin, Rebecca et Laura.*

*Pour avoir rendu possible mon Indoc' à l'Université d'Essex, je remercie l'Experimental Psychology Society, le LPNC, Chris Moulin et Geoff Ward. Je remercie également Vanessa Loaiza pour avoir accepté de me superviser, ainsi que pour son aide essentielle dans la conception, la réalisation et la valorisation de ce projet. Merci Vanessa, pour ton accueil si chaleureux, ta patience et ta gentillesse !*

*Merci à tous les membres du LPNC : les grenoblois et les chambériens. La bonne humeur, la bienveillance et l'entraide qui règne sur les deux sites du laboratoire auront grandement participé au bon déroulement de cette thèse. En particulier, je souhaite remercier Benoît Lemaire. Si, avec Sophie, tu ne m'avais pas initié aux arcanes de la MDT et du TBRS, cette thèse n'aurait pas vu le jour ! Je tiens également à remercier chaleureusement Sophie Donnadiou, pour avoir accepté d'être ma référente pédagogique dans le cadre du label RES. Merci également aux doctorants, actuels et anciens, de Chambéry et Grenoble, pour ces belles années passées en votre compagnie. Et notamment, je tiens à remercier ma compatriote ardéchoise Mélody Mailliez et ma compatriote de thèse Violette Hoareau. Merci à toi, Mélo, pour m'avoir hébergé, aidé et soutenu, en particulier lors du grand jour ! Et merci à toi Violette pour cette belle collaboration, à la fois fructueuse et agréable ! Je tiens aussi à remercier Lison Fanuel, avec qui j'ai également eu le plaisir de collaborer pendant cette thèse.*

*Enfin, je souhaite remercier vivement tous ceux, extérieurs au laboratoire, qui auront permis de maintenir un certain équilibre pendant cette période particulière. En particulier, merci à Steaph et Pallou pour cette formidable coloc', ainsi qu'à Jean-Rasta et Martin - biche -, pour avoir partagé leur après-midi du 22 juillet avec moi. Il m'aura fallu au moins ça pour franchir la dernière marche ! Je ne saurais que trop remercier ma famille d'avoir su supporter mes absences. Un merci tout particulier à mes grands-parents, pour avoir joué les participants pilotes de certaines expériences. Merci à toi, Maman, pour m'avoir recueilli au pire de la tempête. Merci à toi, Nadège, de partager les tâches difficiles. Sans toi, je n'aurais sans doute pas pu terminer mon travail en Angleterre. Un grand merci également pour avoir motivé Elya à nous rejoindre le 6 juin et pour toutes les fêtes et anniversaires que je n'aurais pas oublié de souhaiter ces trois dernières années ! Et bien sûr, merci à toute ma belle-famille pour votre soutien et vos encouragements ! Un merci tout particulier à Dominique, chez qui une partie de ce manuscrit a été rédigé.*

*Le mot de la fin sera bien entendu pour toi ma chère. Merci pour tes encouragements, ta relecture, merci d'avoir pris soin de moi, d'avoir supporté au quotidien la difficile vie commune avec un thésard, et tant d'autres choses encore. Je n'ose pas imaginer ce qu'auraient été ces années de thèse sans toi à mes côtés. J'espère qu'un jour, tu me pardonneras d'être parti à Colchester le 7 juin.*



# Abstract

Working memory, the system that holds a limited amount of information temporarily in a heightened state of availability for use in ongoing information processing, is amongst cognitive functions that decline with advancing age. Two distinct mechanisms for maintaining verbal information in working memory have been identified: articulatory rehearsal and attentional refreshing. This latter mechanism is based on attentional processes, which are particularly sensitive to the effects of aging. However, the study of the effects of aging on attentional refreshing remains fragmented and its results contradictory. This thesis aims to evaluate the hypothesis that the functioning of attentional refreshing, for the maintenance of verbal information, is impaired with age. To do so, we assessed the effects of the use of this mechanism, for younger and older participants, on memory performance over short and long term. Taken together, the results of the seven studies conducted suggest that attentional refreshing is impaired in aging. However, factors such as consolidation of information, which modulate the benefit of attentional refreshing on the maintenance of information, seem to affect the observation of the effect of age. Future research examining the functioning of attentional refreshing in aging should further understanding of (1) the involvement of factors modulating the effect of refreshing on the observation of the effect of age on this mechanism and (2) the precise locus of the age-related deficit in attentional refreshing.

**KEYWORDS:** cognitive aging; working memory; attentional refreshing; articulatory rehearsal



# Résumé

La mémoire de travail, système permettant de maintenir des informations dans un état d'accessibilité élevé, en vue de réaliser une tâche cognitive donnée, fait partie des fonctions cognitives dont les performances déclinent avec l'avancée en âge. Deux mécanismes distincts de maintien des informations verbales en mémoire de travail ont été identifiés : la répétition subvocale et le rafraîchissement attentionnel. Ce dernier mécanisme repose sur des processus attentionnels, particulièrement sensibles aux effets du vieillissement. L'étude des effets du vieillissement sur le rafraîchissement attentionnel demeure toutefois parcellaire et ses résultats contradictoires. Ce travail de thèse a pour objectif d'évaluer l'hypothèse selon laquelle le fonctionnement du rafraîchissement attentionnel pour le maintien d'informations verbales est altéré avec l'âge. Pour ce faire, nous avons évalué les effets de l'utilisation de ce mécanisme sur les performances de mémorisation d'informations verbales à court et à long terme chez des participants jeunes et âgés. Globalement, les résultats des sept études menées semblent suggérer que le rafraîchissement attentionnel est altéré dans le vieillissement. Cependant, des facteurs tels que la consolidation des informations, qui modulent le bénéfice de ce mécanisme sur le maintien des informations, semblent pouvoir masquer l'observation de l'effet de l'âge. Les futures recherches s'intéressant au fonctionnement du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement devront approfondir les questions (1) de l'implication des facteurs modulant l'effet du rafraîchissement sur l'observation des effets de l'âge sur ce mécanisme et (2) de l'origine précise du déficit de rafraîchissement attentionnel lié à l'âge.

**MOTS-CLÉS** : vieillissement cognitif ; mémoire de travail ; rafraîchissement attentionnel ; répétition subvocale

# Sommaire

---

<b>Préambule</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre 1. Mémoire de travail et mémoire à long terme: des systèmes distincts mais reliés.</b>	<b>8</b>
<b>1. Premières conceptions de la mémoire de travail</b>	<b>10</b>
<b>2. Modèle à composantes multiples et mémoire à long terme.</b>	<b>15</b>
2.1. Versions à trois composantes	15
2.2. Version à quatre composantes: l'introduction du buffer épisodique	19
<b>3. Modèle des processus emboîtés et mémoire à long terme</b>	<b>22</b>
3.1. La capacité limitée du focus attentionnel	24
3.2. Le déclin temporel des informations en mémoire de travail	26
<b>4. Conclusion</b>	<b>30</b>
<b>Chapitre 2. Le maintien des informations verbales en mémoire de travail</b>	<b>32</b>
<b>1. Un mécanisme de maintien spécifique : la répétition subvocale</b>	<b>33</b>
1.1. La boucle phonologique	34
1.2. L'effet de similarité phonologique	35
1.3. L'effet de longueur de mots	36
1.4. L'effet de suppression articulaire	37
<b>2. Un mécanisme de maintien général : le rafraîchissement attentionnel</b>	<b>38</b>
2.1. Le modèle de partage temporel des ressources	39
2.1.1. Prémices du modèle: le développement de la mémoire de travail chez l'enfant	39
2.1.2. Les quatre postulats du TBRS	43
2.1.3. Le concept de coût cognitif	45
2.2. Le rôle de l'attention dans le maintien en mémoire de travail: Fanuel*, Jarjat*, Tillmann, Hot, Plancher et Portrat (en préparation).	47
<b>3. Conclusion</b>	<b>83</b>
<b>Chapitre 3. Mémoire de travail et vieillissement</b>	<b>86</b>
<b>1. Facteurs généraux du vieillissement cognitif</b>	<b>89</b>
1.1 La théorie du ralentissement cognitif	89

1.2. Le contrôle de l'inhibition	92
1.3. Limites de l'approche globale	94
<b>2. Vieillesse et mémoire de travail: le cadre du modèle à composantes multiples</b>	<b>98</b>
2.1. Vieillesse et boucle phonologique	98
2.2. Vieillesse et administrateur central	99
<b>3. Conclusion et problématique</b>	<b>103</b>
<b>Chapitre 4. Etudes Expérimentales</b>	<b>110</b>
<b>1. Rafrâichissement attentionnel et mémorisation à court terme</b>	<b>111</b>
1.1. Étude 1: l'effet du délai de rétention et du CC sur les performances de mémorisation à court terme des adultes jeunes et âgés.	115
1.1.1. Méthode	118
1.1.2. Résultats	122
1.1.3. Discussion intermédiaire	126
1.2. Étude 2: modulation de la relation entre coût cognitif et mémorisation à court terme selon l'activité de traitement.	129
1.2.1. Méthode	129
1.2.2. Résultats	132
1.2.3. Discussion intermédiaire	135
1.3. Études 3 et 4: effets du coût cognitif sur la mémorisation à court terme chez des adultes jeunes et âgés.	136
1.3.1. Jarjat, Portrat & Hot (2018), The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences.	137
1.3.2. Jarjat, Portrat & Hot (2018), supplementary material	151
1.4. Conclusion intermédiaire	156
<b>2. Rafrâichissement attentionnel et mémorisation à long terme</b>	<b>159</b>
2.1 Étude 5: effet du temps libre cumulé sur la mémorisation à long terme chez des adultes jeunes.	166
2.1.1. Jarjat, Hoareau, Plancher, Hot, Lemaire et Portrat (2018), Annals of the New York Academy of Sciences.	167
2.1.2. Synthèse des résultats	180
2.2 Étude 6: effets du temps libre cumulé sur la mémorisation à long terme chez des adultes jeunes et âgés.	182
2.2.1. Méthode	183
2.2.2. Résultats	183
2.2.3. Discussion intermédiaire	191
2.3. Rafrâichissement attentionnel et mémoire de source	195
2.3.1. La mémoire de source	195
2.3.2. Étude 7: effets du rafrâichissement attentionnel sur la mémoire de source chez des adultes jeunes et âgés.	199

<b>Chapitre 5. Discussion générale</b>	<b>246</b>
<b>1. Synthèse des résultats expérimentaux</b>	<b>247</b>
1.1. Mémorisation à court terme, rafraîchissement attentionnel et vieillissement	248
1.2. Mémorisation à long terme, rafraîchissement attentionnel et vieillissement	251
<b>2. L'effet de l'âge sur le maintien des informations verbales en mémoire de travail: les apports du travail de thèse.</b>	<b>255</b>
2.1. La répétition subvocale dans le vieillissement	255
2.2. Le rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement: vers une réconciliation de la littérature?	256
2.3. Des résultats inconsistants.	258
2.4. Bénéfice du rafraîchissement attentionnel: le rôle de la consolidation des informations.	260
2.5. Le déficit du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement: la décomposition du mécanisme en différents sous-processus.	263
2.5.1. L'hypothèse du déficit d'initiation du rafraîchissement attentionnel.	264
2.5.1. L'hypothèse du déficit d'exécution du rafraîchissement attentionnel.	267
2.6. Un déficit de rafraîchissement attentionnel ou de disponibilité des informations?	267
<b>5.3. Conclusion</b>	<b>268</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>270</b>
<b>Index des Figures</b>	<b>306</b>
<b>Index des Tableaux</b>	<b>308</b>



# Préambule

---

D'après l'Insee (2018), la France comptait à la fin des années 1940 un peu plus de 6 millions et demi de personnes de plus de 60 ans. Pour 2018, les données provisoires indiquent qu'elles seraient proches de 17 millions. L'augmentation du nombre de personnes âgées n'étant pas un phénomène spécifique à la France, l'Organisation Mondiale de la Santé a fait du « bien vieillir » une priorité mondiale (communiqué de presse, 2014).

Pour répondre à cet objectif ambitieux, il semble nécessaire de comprendre les différents changements qui accompagnent le vieillissement. En effet, le vieillissement est un phénomène naturel qui entraîne de nombreuses modifications (sociales, physiques, cognitives, physiologiques), lesquelles peuvent mener à une perte de qualité de vie des personnes âgées, voire à une perte d'autonomie. Ainsi, de nombreuses études ont investigué l'influence de l'âge sur les différentes fonctions cognitives. Globalement, toutes ces études semblent indiquer l'existence d'une disparité dans le vieillissement cognitif. Alors que certaines fonctions déclinent peu avec l'âge, ou tardivement, d'autres sont sensiblement impactées, et ce précocement. Parmi les fonctions particulièrement sensibles au vieillissement, se trouve la mémoire de travail. Celle-ci peut être définie comme l'ensemble des processus impliqués dans le maintien d'informations dans un état d'accessibilité privilégié, lequel permet la manipulation de ces informations en vue de réaliser une tâche donnée. La plupart des activités mentales (e.g., langage, mathématiques, raisonnement) engagent donc la mémoire de travail, la plaçant ainsi au cœur du fonctionnement cognitif. Comprendre les effets de l'âge sur le fonctionnement de la mémoire de travail est donc un enjeu majeur de l'étude du vieillissement cognitif.

Dans le premier chapitre de cette thèse, nous présenterons l'émergence du système de mémoire de travail dans la littérature, notamment au travers de sa différenciation vis-à-vis du système de mémoire à long terme. Bien que distincts, nous verrons que ces systèmes entretiennent des liens bidirectionnels, suggérant que les processus de la mémoire de travail peuvent influencer la mémoire à long terme. Notre travail s'étant exclusivement focalisé sur la mémorisation d'informations verbales, le deuxième chapitre portera sur les deux mécanismes de maintien actif de ces informations : la répétition subvocale et le rafraîchissement attentionnel. Nous intégrerons plus particulièrement la présentation du rafraîchissement attentionnel dans un modèle de mémoire de travail, le modèle de partage temporel des ressources. Au travers d'un article<sup>1</sup>, nous présenterons les arguments théoriques, issus de plusieurs modèles, mais également les évidences empiriques en accord avec l'hypothèse d'un mécanisme de maintien général des informations en mémoire de travail. Le troisième chapitre de cette thèse portera sur le vieillissement de la mémoire de travail. Une approche du vieillissement cognitif suggère qu'un nombre restreint de facteurs généraux, dont la mémoire de travail, permettrait d'expliquer une part importante des changements cognitifs dans le vieillissement. Ces facteurs n'étant pas mutuellement exclusifs, nous présenterons, dans un premier temps, comment l'hypothèse du ralentissement de la vitesse de traitement des informations et l'hypothèse du déficit de l'inhibition s'articulent autour du déclin de la mémoire de travail chez les personnes âgées. Nous présenterons également les limites de ces hypothèses, mettant ainsi en avant la complémentarité de l'approche analytique qui s'intéresse au vieillissement cognitif au travers de l'étude spécifique des différentes composantes et processus de la cognition. Dans le cadre du vieillissement de la MDT, nous verrons que l'approche analytique s'intègre principalement dans le cadre du modèle à composantes multiples et suggère une atteinte spécifique des processus attentionnels dans le vieillissement.

---

<sup>1</sup> Fanuel\*, Jarjat\*, Tillmann, Hot, Plancher et Portrat (en preparation).

En résumé, ces trois chapitres d'introduction théorique permettront de mettre en lumière que le système de mémoire de travail est distinct mais lié à la mémoire à long terme (Chapitre 1). En lien avec cette proposition théorique, le rafraîchissement attentionnel, mécanisme de maintien général des informations de la mémoire de travail, influence la mémorisation des informations verbales à court et à plus long terme (Chapitre 2). Enfin, les études ayant exploré le déclin du fonctionnement de la mémoire de travail chez les personnes âgées indiquent que les processus attentionnels sont impactés de façon spécifique chez les personnes âgées (Chapitre 3). L'objectif de cette thèse est alors de déterminer, de manière expérimentale, si le rafraîchissement attentionnel est affecté par le vieillissement normal.

Pour tester cette hypothèse, nous avons mené deux lignes de recherches. Premièrement, nous avons évalué l'évolution avec l'âge de l'effet du rafraîchissement attentionnel sur la mémorisation à court terme. Spécifiquement, nous avons mené une série d'expériences utilisant un paradigme d'empan complexe dans lequel les participants doivent mémoriser des listes d'items, chaque item étant suivi de traitements à effectuer. L'Étude 1 était d'écarter l'hypothèse selon laquelle les personnes âgées ne sont pas capables d'utiliser le rafraîchissement attentionnel dans ces situations d'empan complexe. Conformément à nos prédictions et à la littérature, nous avons observé des résultats contraires à cette hypothèse. Cependant, l'Étude 1 a également échoué à mettre en évidence un effet classiquement observé dans la littérature. Nous avons donc mené l'Étude 2 afin de mettre en évidence cet effet dans un paradigme expérimental légèrement modifié de celui utilisé dans l'Étude 1. Conformément à nos hypothèses, la modification de la tâche d'empan complexe dans l'Étude 2 a permis de mettre en évidence l'effet que nous n'avions pas observé dans l'Étude 1. Sur la base des résultats de l'Étude 1, suggérant que les personnes âgées utilisent le rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe, nous avons réalisé l'Étude 3, dont l'objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle les performances de mémorisation à



court terme des personnes âgées sont moins influencées par la variation de l'opportunité d'utiliser le rafraîchissement attentionnel que chez les jeunes adultes. Cette étude, publiée dans la revue *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*<sup>2</sup>, a été complétée par une quatrième étude afin d'écarter une interprétation alternative des résultats observés.

Dans la deuxième ligne de recherche, nous avons évalué l'évolution avec l'âge de l'effet du rafraîchissement attentionnel sur la mémorisation à plus long terme. Pour cela, nous avons utilisé deux paradigmes expérimentaux différents. Dans les Études 5 et 6, nous nous sommes intéressés aux performances de rappel différé d'informations étudiées dans un paradigme d'empan complexe. Spécifiquement, dans l'Étude 5 nous avons testé une hypothèse originale chez de jeunes adultes concernant l'effet de deux facteurs, connus pour influencer l'utilisation du rafraîchissement attentionnel, sur le rappel différé d'informations. Suite à cette étude, publiée dans la revue *Annals of the New York Academy of Sciences*<sup>3</sup>, nous avons recruté un groupe de personnes âgées afin d'évaluer les effets de l'âge dans un protocole expérimental identique. Les résultats de la comparaison des performances des adultes jeunes et âgés seront présentés dans l'Étude 6. Enfin, dans l'Étude 7, nous avons utilisé un paradigme de mémoire de source qui nous a permis d'évaluer les effets du vieillissement sur le rafraîchissement dans le contexte de la mémoire à long terme épisodique. Cette étude a mené à la rédaction d'un article, soumis à un journal à comité de lecture<sup>4</sup>.

Enfin, nous reviendrons sur les principaux résultats de nos différents travaux. Certains résultats contradictoires seront mis à profit pour mettre en évidence la nécessité de tenir compte de l'interaction du bénéfice du rafraîchissement attentionnel avec d'autres facteurs

---

<sup>2</sup> Jarjat, Portrat et Hot (2018)

<sup>3</sup> Jarjat, Hoareau, Plancher, Hot, Lemaire et Portrat (2018)

<sup>4</sup> Jarjat, Loaiza, Ward, Hot et Portrat (en préparation)

pour tester l'hypothèse d'un déficit lié à l'âge. Ces résultats permettront également de discuter plus largement de l'inconsistance des résultats observée dans la littérature s'intéressant à la question du rafraîchissement attentionnel sur du matériel visuo-spatial. Nous verrons ainsi que les recherches futures devront tenter de répondre à l'origine précise du déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement.



# Chapitre 1. Mémoire de travail et mémoire à long terme: des systèmes distincts mais reliés.

---

## *Objectifs*

- Présenter les concepts de mémoire de travail et de mémoire à long terme.
- Mettre en lumière les liens bidirectionnels entre mémoire de travail et mémoire à long terme.
- Présenter les caractéristiques spécifiques de la mémoire de travail.

L'idée qu'il existerait plusieurs systèmes de mémoire peut paraître intuitive. Par exemple, il n'est pas rare de constater qu'un enseignant peut avoir des difficultés à retenir les prénoms des quelques nouveaux élèves qu'il accueille dans sa classe, alors qu'il est capable d'enseigner de nombreux concepts pendant deux heures de cours. C'est d'ailleurs à partir d'une approche introspective similaire que l'idée qu'il existerait deux états de la mémoire a été proposée dès la fin du XIXe siècle. À cet égard, la référence historique la plus citée est sans doute celle de William James qui, dès 1890, distinguait dans son ouvrage *Principes de Psychologie*, une mémoire primaire et une mémoire secondaire. Selon James, la mémoire primaire correspond à l'ensemble des informations présentes dans le champ de la conscience, tandis que la mémoire secondaire correspond à l'ensemble des informations qui nécessitent d'être ramenées dans le champ de la conscience. Bien que le terme de mémoire primaire soit

toujours utilisé dans la littérature, le terme de mémoire de travail (que nous nommerons **MDT** dans la suite de ce manuscrit) est, à l'heure actuelle, plus généralement utilisé. Une des difficultés majeures concernant la MDT est qu'il existe de nombreuses définitions dans la littérature scientifique (e.g., Cowan, 2017a, pour une revue). Cependant, une définition proposée par Cowan (2017) nous semble relativement athéorique. Spécifiquement, il propose de définir la MDT comme le système cognitif, ou ensemble de processus, à l'origine du maintien temporaire d'informations dans un état d'accessibilité privilégié permettant leur manipulation en vue de réaliser une tâche cognitive en cours. À l'opposé, on parle aujourd'hui plutôt de mémoire à long terme (que nous nommerons **MLT** dans la suite de ce manuscrit) que de mémoire secondaire. La MLT correspond à l'immense système de stockage des événements passés. Cet espace de stockage regroupe aussi bien des connaissances factuelles ou contextuelles pouvant être conscientisées et verbalisées (i.e., *mémoire sémantique*, *mémoire épisodique*), que des apprentissages moteurs ou perceptifs (*mémoire procédurale*) (e.g., Endel Tulving, 1972, 1983, 1985, 2002).

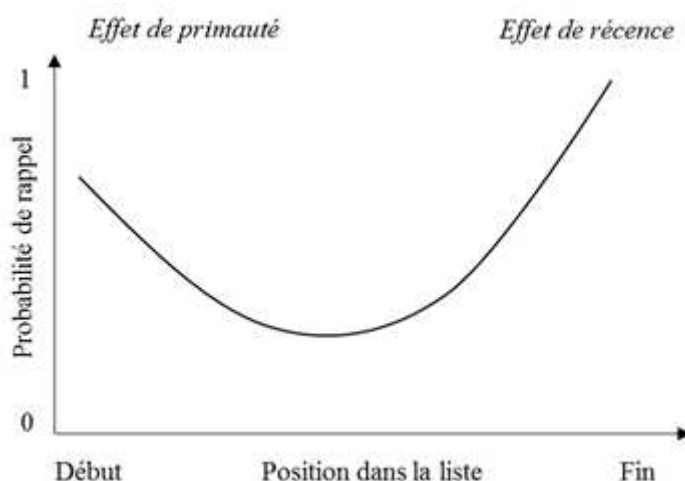
Le concept de MDT ayant émergé suite à la proposition de l'existence d'un système différent de la MLT, la relation entre ces deux systèmes sera le fil rouge de ce chapitre. Dans un premier temps, nous présenterons les premières conceptualisations de la MDT. Nous verrons ainsi que, dès ces premières conceptualisations, certains liens entre MDT et MLT étaient déjà décrits. Nous présenterons, dans un second temps, l'évolution du concept de MDT au travers de la proposition du modèle à *composantes multiples* de Baddeley et Hitch (1974). Nous verrons alors qu'à la suite des premières conceptualisations de la MDT, les liens entre MDT et MLT dans ce modèle ont été de plus en plus spécifiés, en même temps que le modèle a évolué. Enfin, nous verrons que dans certains modèles de MDT un pas de plus est franchi. En effet, des modèles tels que celui *des processus emboîtés* de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005) intègrent complètement la MDT dans la MLT. Au travers de la présentation du

modèle de Cowan, nous développerons également les deux caractéristiques de la MDT permettant de la différencier du système de MLT, à savoir une capacité limitée et une sensibilité au déclin temporel.

## 1. Premières conceptions de la mémoire de travail

Bien que la proposition de différents systèmes de mémoire soit ancienne (e.g., James, 1890), c'est avec l'émergence du courant cognitiviste que cette idée influencera profondément la conception du fonctionnement de la mémoire humaine. En effet, au-delà des interprétations issues de l'introspection, différentes observations neuropsychologiques et expérimentales s'intégraient raisonnablement dans une conception fragmentée de la mémoire. D'une part, l'étude du patient H.M. (Scoville, 1954) a mis en évidence la possibilité de présenter des déficits de mémorisation à long terme tout en ayant des capacités de mémorisation à court terme préservées. Plus précisément, à la suite de la résection bilatérale de ses lobes temporaux internes, le patient H.M. montrait un déficit sévère dans le maintien de nouvelles informations sur le long terme. Cependant, son niveau d'intelligence était au-dessus de la moyenne et il restait capable de retenir des informations pendant une courte période s'il n'était pas distrait entre temps (Scoville & Milner, 1957). D'autre part, dans le cadre de la psychologie expérimentale, les résultats obtenus dans les tâches de rappel libre étaient habituellement interprétés en termes d'implication de deux systèmes de mémoire. Dans ces tâches, qui consistent à présenter une liste d'items qui doivent être rappelés dans une phase de rappel ultérieur, les résultats généralement observés montrent que la probabilité de rappel des items dépend de leur position dans la liste, donnant lieu à une courbe de performance en « U » (Figure 1.1). Spécifiquement, le rappel des premiers items de la liste est très bon (*effet de primauté*), le rappel des derniers items est excellent (*effet de récence*), et le rappel des items

présentés au milieu de la liste est le plus faible (e.g., Murdock, 1962). Il est également observé que le rappel des premiers items de la liste est sensible à la manipulation de leur rythme de présentation. Celui des derniers items est, quant à lui, sensible à la manipulation du temps séparant la phase de présentation de la phase de rappel (e.g., Glanzer & Cunitz, 1966). Ainsi, ces résultats semblent suggérer que le rappel des participants dans des tâches de rappel libre est sous-tendu par deux systèmes de mémoire distincts, sensibles à différentes variables expérimentales.



**Figure 1.1.** Résultats typiques lors d'une tâche de rappel libre.

Se reposant sur ces observations neuropsychologiques et expérimentales, de nombreux auteurs ont proposé que la mémoire humaine serait fractionnée en différents systèmes (e.g., Atkinson & Shiffrin, 1968; Broadbent, 1958; Murdock, 1967; Waugh & Norman, 1965). Inspirés par l'approche informatique du traitement de l'information, ces modèles supposent que les informations sont traitées de façon séquentielle dans différents systèmes de mémoire. Le modèle élaboré par Atkinson et Shiffrin (1968, 1971), sans doute le plus connu, illustre bien l'idée d'une architecture globale de la mémoire intégrant plusieurs systèmes. Dans leur

modèle, trois systèmes sont proposés: le système de stockage sensoriel, le système de stockage à court terme, et le système de stockage à long terme (Figure 1.2).

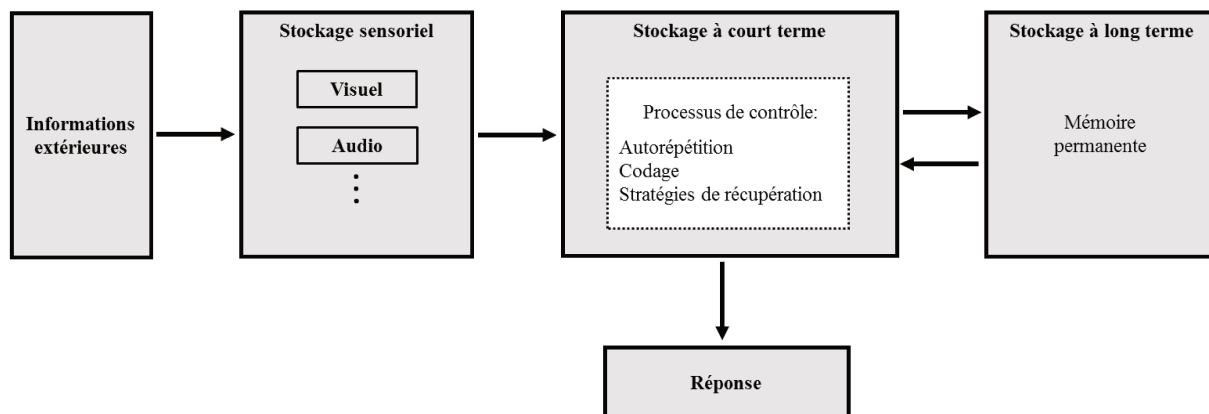


Figure 1.2. Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1971).

Les informations sont ainsi supposées naviguer d'un système à l'autre de façon séquentielle. Plus spécifiquement, après avoir été encodées par les récepteurs sensoriels, les informations sont stockées pendant moins d'une seconde (Sperling, 1960) dans le système de stockage sensoriel, puis transitent vers le système de stockage à court terme, avant d'être stockées durablement dans le système à long terme. Pour Atkinson et Shiffrin, le système à court terme, qui correspond au contenu de la conscience, possède des processus de contrôle de l'information. Par conséquent, bien qu'Atkinson et Shiffrin utilisent le terme de mémoire à court terme, le système qu'ils décrivent correspond bien au concept, plus actuel, de MDT : un système dans lequel « *les décisions sont prises, les problèmes sont résolus, et le flux d'information est dirigé* » (Atkinson & Shiffrin, 1971, p. 83). Plus particulièrement, le transfert des informations dans le système à long terme dépendrait des processus mis en jeu dans le système à court terme. Par exemple, la probabilité de passage de l'information dans le système à long terme serait fonction de sa durée dans le système à court terme. L'utilisation



du processus d'autorépétition, permettant de maintenir plus longtemps les informations dans le système à court terme, augmenterait par conséquent les chances d'un passage dans le système à long terme (Atkinson & Shiffrin, 1971). De plus, Atkinson et Shiffrin attribuent également au système à court terme des processus de récupération des informations stockées dans le système à long terme. Par conséquent, le modèle modal d'Atkinson et Shiffrin spécifie déjà certains liens entre MDT et MLT, notamment au travers du rôle de la MDT dans la mémorisation à long terme.

Néanmoins, comme le notent Baddeley et Hitch (1974, pp. 47–48) : « *malgré la fréquence à laquelle on a attribué à la mémoire à court terme ce rôle de mémoire opérationnelle, ou mémoire de travail, les preuves empiriques d'une telle considération sont remarquablement rares.* ». De plus, peu de temps avant la publication de Baddeley et Hitch, Warrington et Shallice (1969; Shallice & Warrington, 1970) ont décrit le cas du patient K.F. qui présentait de lourds déficits de mémorisation à court terme mais pas de déficits majeurs de mémorisation à long terme, ni de problèmes de compréhension. Au vu de la place centrale qu'Atkinson et Shiffrin attribuent à leur système à court terme (i.e., la MDT), Baddeley et Hitch (1974) relèvent que l'on aurait dû observer de lourds déficits intellectuels chez ce patient. Ces deux constats majeurs ont mené Baddeley et Hitch (1974) à conduire un volumineux travail de recherche pour explorer, plus en détails, les caractéristiques du système de mémoire à court terme. La logique sous-tendant les dix expériences qu'ils ont menées était la suivante. Si le système unitaire de stockage à court terme proposé par Atkinson et Shiffrin est à l'origine du maintien d'informations et de la réalisation de tâches cognitives, alors, capturer une part de la capacité de ce système en demandant aux participants de retenir des informations (i.e., imposer une *charge mémorielle*) devrait affecter la réalisation concurrente d'une tâche cognitive. Baddeley et Hitch (1974) ont testé cette hypothèse en proposant à des participants de retenir des séries de chiffres de différentes longueurs (jusqu'à six) tout en

effectuant des tâches de raisonnement verbal, de compréhension orale, ou de mémorisation de mots. Au vu du système proposé par Atkinson et Shiffrin, une charge mémorielle de six chiffres, proche de la capacité maximale du système, devrait induire un espace résiduel presque nul pour la réalisation des tâches cognitives. Ces dernières devraient donc être très difficilement réalisables.

À l'opposé de cette prédiction, Baddeley et Hitch (1974) ont observé que l'introduction d'une charge mémorielle, même lorsqu'elle était de six chiffres à mémoriser, affectait peu la qualité des réponses aux tâches cognitives. Sur la base de ces résultats, Baddeley et Hitch (1974) se sont détachés du système unitaire de MDT décrit par Atkinson et Shiffrin et ont proposé un nouveau modèle de MDT « à composantes multiples ». Ce modèle est souvent considéré comme le plus extrême dans le continuum du niveau de distinction entre MDT et MLT. Par exemple, Loaiza et Camos (2016, p. 3) notent que : « *Alors que certains modèles ont souligné une distinction claire entre MDT et MLT (e.g., Baddeley, 2000; Barrouillet & Camos, 2015), d'autres ont considéré la MDT comme intégrée dans le contexte plus large de la MLT [...], et d'autres encore ne voient aucunes raisons de faire une distinction du tout.* ». Dans la section suivante, nous allons présenter les différentes versions du modèle à composantes multiples proposé initialement par Baddeley et Hitch. Comme nous venons de le voir, ce modèle est considéré comme représentant l'hypothèse d'une distinction claire entre la MDT et la MLT. Il s'agira alors de démontrer que des liens ont été de plus en plus spécifiés entre ces deux systèmes au fil de l'évolution de ce modèle<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Dans le Chapitre 2, l'autre modèle cité par Loaiza et Camos (2016) qui suppose également une distinction nette entre les deux systèmes, à savoir le modèle de Barrouillet et Camos (2015), sera présenté plus en détails. Nous verrons que, comme pour le modèle à composantes multiples, ces auteurs supposent de nombreux liens entre les deux systèmes.

## 2. Modèle à composantes multiples et mémoire à long terme.

### 2.1. Versions à trois composantes

Dans la première version du modèle de Baddeley et Hitch (1974; Baddeley, 1986), trois composantes sont décrites : l'*administrateur central*, un système attentionnel à capacité limitée et deux systèmes de stockage temporaire des informations: la *boucle phonologique* pour les informations verbales, et le *calepin visuo-spatial* pour les informations visuelles et spatiales. Comme illustré dans la Figure 1.3, la représentation graphique de cette version du modèle ne fait pas apparaître la MLT.



**Figure 1.3.** Illustration de la version originale du modèle à composantes multiples de Baddeley et Hitch (1974), tirée de Baddeley (2000).

Cependant, Baddeley et Hitch (1974) envisagent des relations entre MDT et MLT au travers de l'administrateur central. Par exemple, ils notent que l'administrateur central est probablement impliqué dans l'utilisation de règles de récupérations des informations. Spécifiquement, lorsque des traces mnésiques sont dégradées, ces règles de récupération vont influencer leur interprétation afin que les réponses des participants ne soient pas complètement inappropriées (e.g., rappeler un chiffre dans une expérience qui implique la mémorisation de lettres). Plus important encore, ce serait l'administrateur central qui serait responsable du transfert des informations en MLT. Néanmoins, reconnaissant la difficulté à explorer les fonctions de l'administrateur central (Baddeley & Hitch, 1974), les auteurs ont

principalement étudié la boucle phonologique dans un premier temps. Ces recherches ayant mis en lumière des liens entre MDT et MLT, nous allons, à l'instar des auteurs, détailler la boucle phonologique avant de détailler l'administrateur central<sup>6</sup>.

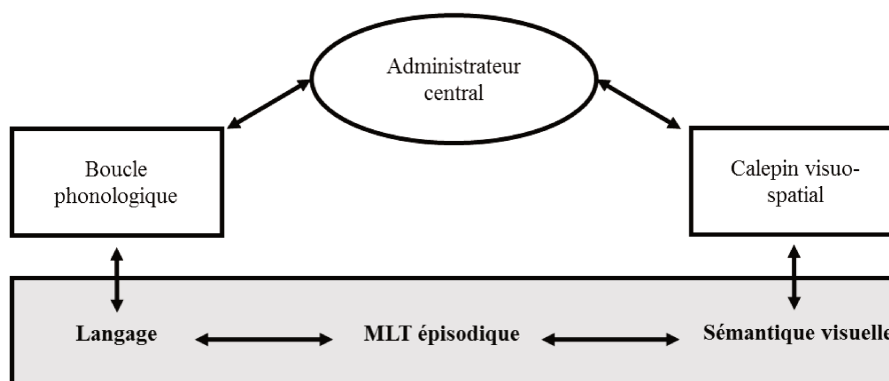
Comme le note Baddeley (2003a, 2012, 2017), bien que de nombreuses études aient montré que la boucle phonologique était pertinente pour rendre compte de nombreux phénomènes de laboratoire, son utilité, d'un point de vue évolutif, peut-être questionnée. À ce propos, Baddeley souligne que l'on illustre généralement l'utilisation de la boucle phonologique par l'exemple de la mémorisation d'un numéro de téléphone, une activité somme toute assez peu importante. Ainsi, pour rendre compte de l'existence de cette composante, l'hypothèse selon laquelle la boucle phonologique est nécessaire à la production et à la compréhension du langage a été proposée. Cette hypothèse a néanmoins été abandonnée suite à l'étude de la patiente P.V (Vallar & Baddeley, 1984). En effet, alors que cette patiente présentait une altération spécifique de la boucle phonologique, elle ne semblait pas particulièrement déficitaire dans des activités de compréhension et de production langagières, sauf dans le cas de phrases hautement complexes. Une autre hypothèse, plaçant la boucle phonologique au cœur de l'apprentissage du langage, a donc été proposée. Cette hypothèse a été explorée au travers de deux lignes de recherches (pour une revue, voir Baddeley, Gathercole, & Papagno, 1998). La première ligne de recherche s'est intéressée à approfondir le cas de la patiente P.V. en explorant ses capacités d'apprentissage dans une seconde langue. En effet, dans l'étude de Vallar et Baddeley (1984), le matériel utilisé ne comprenait que des mots que la patiente P.V. avait déjà appris. Son déficit de la boucle phonologique ne permettait donc pas de mettre en évidence un lien avec l'apprentissage du langage. En revanche, pour des mots non connus, elle devrait présenter des déficits d'apprentissage. Conformément à cette hypothèse, Baddeley, Papagno et Vallar (1988) ont

---

<sup>6</sup> Cette thèse s'intéressant à la mémorisation d'informations verbales, nous ne détaillerons pas le calepin visuo-spatial.

observé que la patiente P.V. présentait des déficits pour apprendre des paires de mots issues d'une langue étrangère. La seconde ligne de recherche s'est focalisée sur l'acquisition du langage chez les enfants (pour une revue, voir Baddeley, 2003b). Ainsi, il a été observé que les performances à des tâches impliquant l'utilisation de la boucle phonologique étaient corrélées positivement avec le niveau de vocabulaire d'enfants à différents âges (voir Baddeley et al., 1998) : un bon fonctionnement de la boucle phonologique a une influence positive sur l'acquisition de vocabulaire (Gathercole, Willis, Emslie, & Baddeley, 1992). De façon réciproque, les connaissances sémantiques ont aussi une influence sur le fonctionnement de la boucle (e.g., Gathercole, 1995). Par exemple, le rappel immédiat de non-mots avec une structure proche de mots de la langue (e.g., *contramponist*) est plus important que celui de non-mots moins familiers (e.g., *loddenapish*).

Ces deux lignes de recherches suggèrent donc que les informations issues de la MLT circulent vers la boucle phonologique (e.g., Gathercole, 1995) et que les informations traitées dans la boucle phonologique influencent le développement du langage (voir Baddeley et al., 1998). En postulant également des liens bidirectionnels semblables entre la MLT et le calepin visuo-spatial, une nouvelle version du modèle à composantes multiples a été proposée (Figure 1.4). Comme nous allons le voir, cette nouvelle proposition a permis de spécifier plus sensiblement les relations entre MDT et MLT.



**Figure 1.4.** Illustration de la version subséquente à Baddeley et Hitch (1974). Figure tirée de Baddeley (2000).

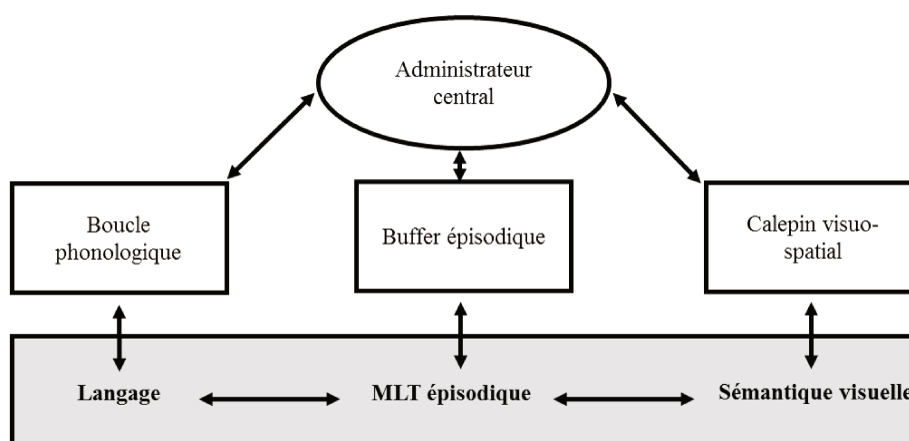
Après un certain temps laissé de côté, l'administrateur central a été détaillé dans des publications subséquentes au chapitre de Baddeley et Hitch (1974). Tout d'abord, Baddeley (1986) décrit ce dernier comme un système purement attentionnel en s'inspirant du modèle de contrôle attentionnel de l'action développé par Norman et Shallice (1980, 1986). Ainsi, l'administrateur central, en tant que superviseur attentionnel, serait important dans des situations peu habituelles (e.g., générer des lettres dans un ordre aléatoire, Baddeley, 1986). Néanmoins, les processus à l'origine du fonctionnement de l'administrateur central seront spécifiés ultérieurement. Baddeley (1996) identifie les fonctions (1) de coordination pour la réalisation de deux tâches, (2) de changement de stratégies de récupération des informations, (3) de s'occuper sélectivement d'une information et inhiber l'effet perturbateur d'autres informations et (4) de maintenir et manipuler les informations en MLT. Notons toutefois qu'en 2012, Baddeley réinterprète ces fonctions en termes de (1) division de l'attention, (2) alternance entre différentes tâches, (3) focalisation de l'attention, et (4) capacité à interagir avec la MLT. Sur ce dernier point, qui nous intéresse particulièrement, l'administrateur central serait ainsi doté d'une capacité d'activation des informations stockées en MLT. Par exemple, l'étude du patient amnésique K.J. a révélé qu'il était capable de rappeler normalement (i.e., autant que des personnes sans pathologie) des informations sur un texte

entendu quand le rappel suivait immédiatement le texte, bien qu'après une demi-heure, il ne se souvenait même pas avoir entendu un texte (Wilson & Baddeley, 1988). Selon Baddeley (1996), la compréhension de texte nécessiterait l'application de modèles mentaux qui seraient construits à partir de l'activation temporaire de représentations en MLT. Ce rôle de l'administrateur central, dans la récupération et le maintien d'informations en MLT, sera spécifié un peu plus tard, après l'addition d'un nouveau sous-système dans le modèle: le *buffer épisodique* (Baddeley, 2000). Cette nouvelle composante sera détaillée dans la sous-section suivante.

## ***2.2. Version à quatre composantes: l'introduction du buffer épisodique***

Bien que la version du modèle à trois composantes ait permis de rendre compte de bon nombre de résultats expérimentaux, d'autres données ont mené à une révision majeure du modèle (voir Baddeley, 2000). Le problème principal de la version précédente du modèle était qu'il était incapable de gérer des informations multidimensionnelles. En effet, les deux composantes de stockage sont spécifiques à un domaine (verbal vs. visuo-spatial), et l'administrateur central n'a pas de capacité de stockage (Baddeley & Logie, 1999). De fait, le modèle ne peut pas rendre compte, par exemple, des effets de similarité visuelle de mots et de lettres (Logie, Della Sala, Wynn, & Baddeley, 2000). Dans cette étude, les auteurs ont observé que des listes de lettres ou de mots similaires sur le plan visuel étaient moins bien rappelées que des listes dissimilaires. Ces résultats laissent suggérer que les informations visuelles et phonologiques d'items verbaux présentés visuellement sont combinées ensemble d'une manière ou d'une autre. Baddeley (2000) propose alors d'ajouter une quatrième composante au modèle : le *buffer épisodique* (Figure 1.5). Le buffer épisodique est décrit comme étant un système de stockage de capacité limitée, fournissant une interface entre les informations issues de la boucle phonologique, du calepin visuo-spatial et de la MLT.

Baddeley suppose initialement que ces différentes informations passent nécessairement par le central exécutif. Ainsi, comme on peut le constater sur la Figure 1.5, il n'y a pas de liens directs entre le buffer épisodique et les deux autres systèmes de stockage.

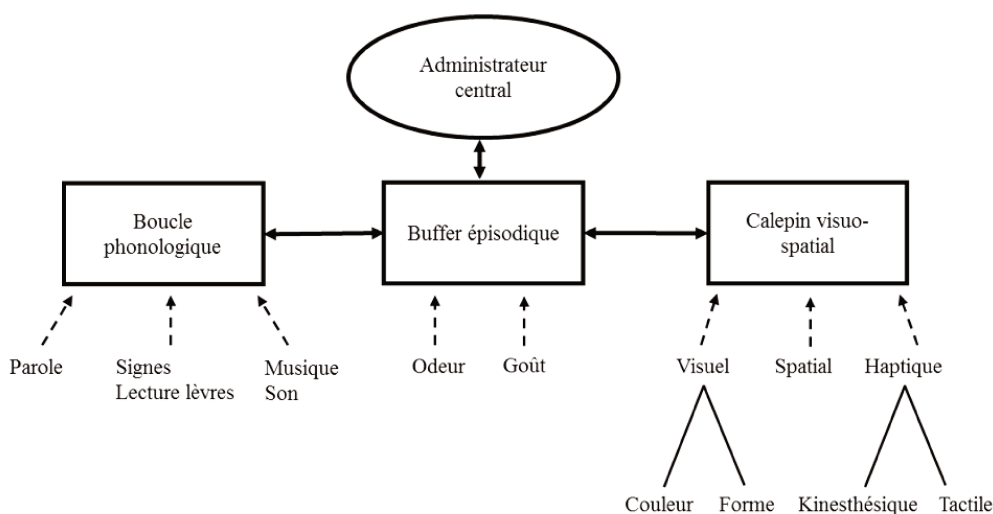


**Figure 1.5.** Illustration la version originale du modèle introduisant le buffer épisodique (Baddeley, 2000).

Les informations issues de différentes sources seraient intégrées ensemble dans le buffer épisodique par un processus sous le contrôle de l'administrateur central : le processus de *binding*. Le buffer épisodique serait donc différent de l'administrateur central puisqu'il aurait une capacité de stockage. Il se différencierait également des deux autres composantes de stockage du modèle, lesquelles ne peuvent pas stocker des représentations multidimensionnelles. Néanmoins, contrairement à la boucle phonologique et au calepin visuo-spatial, le buffer épisodique n'aurait pas de mécanisme propre au maintien de l'information et dépendrait donc fortement de l'administrateur central pour maintenir ces informations multidimensionnelles (Repovš & Baddeley, 2006). Les représentations multidimensionnelles étant formées par le processus de binding, ce processus a donc été étudié plus en détails pour explorer le fonctionnement du buffer épisodique. Contrairement à l'hypothèse selon laquelle ce processus repose sur l'interaction entre le buffer épisodique et



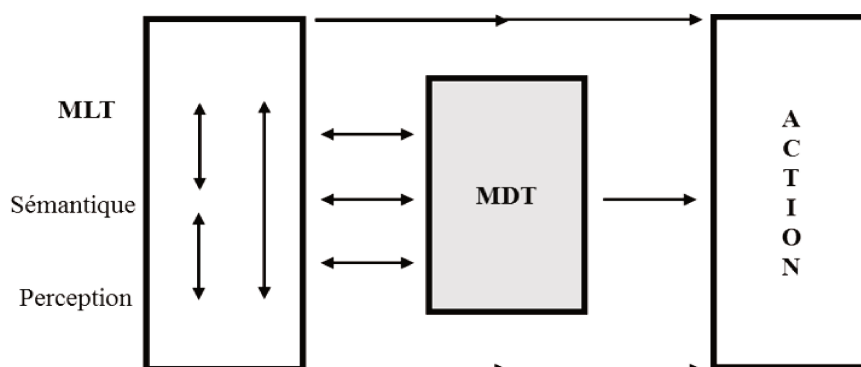
l'administrateur central, de nombreuses informations semblent être liées entre elles automatiquement par des processus intégrés dans la MLT (pour une revue, voir Baddeley, Allen, & Hitch, 2011). Par conséquent, dans la dernière version du modèle, les informations ne doivent plus nécessairement passer par l'administrateur central pour accéder au buffer épisodique (Figure 1.6).



**Figure 1.6.** Illustration de la nouvelle version du modèle à quatre composantes (Baddeley, Allen & Hitch, 2011).

La Figure 1.7 illustre la position actuelle de Baddeley concernant la MDT (2017, p. 306) : « *la mémoire de travail se place entre la cognition et l'action, fournissant un moyen de comprendre la situation présente et de planifier l'avenir.* ». Elle partage de multiples liens avec la MLT, par exemple, comme nous l'avons présenté, au travers de la boucle phonologique et de l'administrateur central. Pour d'autres auteurs, qui conçoivent la MDT comme complètement intégrée à la MLT, le lien entre ces deux systèmes est encore plus évident. Parmi ces auteurs, Cowan et son modèle des « processus emboîtés » (*Embedded-processes model*, Cowan, 1988, 1995, 1999, 2005) est sans doute le plus représentatif. La section suivante aura donc pour objectif de décrire ce modèle. Par là-même, nous

développerons les deux caractéristiques majeures permettant de distinguer le système de MDT de celui de la MLT, à savoir, la capacité limitée de la MDT et la sensibilité des informations de la MDT au déclin temporel.

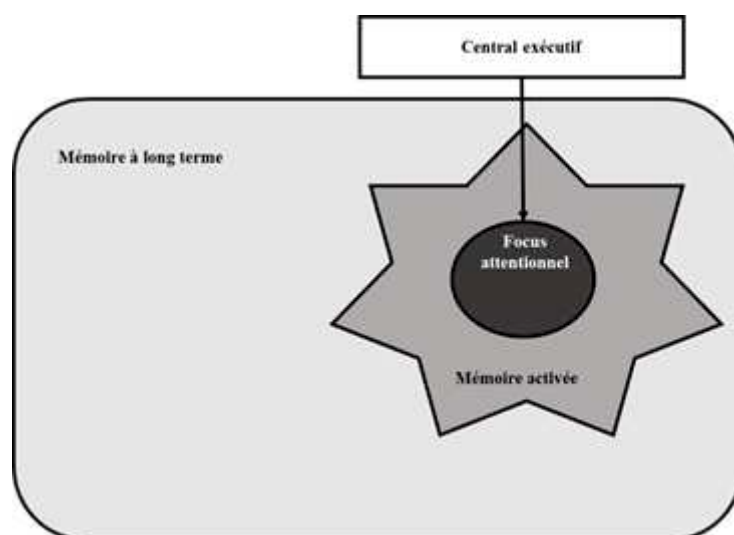


**Figure 1.7.** Illustration des liens entre MDT et MLT selon Baddeley (2012).

### 3. Modèle des processus emboîtés et mémoire à long terme

Dès les premières conceptualisations de la fragmentation de la mémoire en différents systèmes, l'idée d'une intégration hiérarchique de ces derniers avait été proposée. Ainsi, concernant leur modèle, Atkinson et Shiffrin (1971, p. 83) notaient déjà : « *Notre point de vue sur le stockage à court et à long terme n'implique pas que les deux systèmes soient nécessairement dans des parties différentes du cerveau ou implique des structures physiologiques différentes. Il est possible de considérer le système à court terme comme étant simplement une activation temporaire d'une partie du système à long terme.* ». Cependant, le modèle le plus représentatif de la conception entièrement intégrée de la MDT dans la MLT est sans doute le modèle des processus emboîtés développé par Cowan (1988, 1995, 1999, 2005). À la suite d'une revue de la littérature portant sur la mémorisation, l'attention sélective et les traitements automatiques vs contrôlés, Cowan (1988) propose un modèle de traitement de

l'information nécessaire à la réalisation de toute tâche cognitive. Ce modèle comprend différentes composantes (i.e., ensemble de processus) emboîtées les unes dans les autres, dont la MLT, la mémoire activée, le focus attentionnel et le central exécutif (Figure 1.8).



**Figure 1.8.** Illustration simplifiée du modèle « des processus emboîtés » de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005).

La MLT est le lieu de stockage de toutes les informations, où celles-ci sont dans un état relativement inactif. Lorsque des stimuli extérieurs sont perçus, leurs différentes caractéristiques, représentées dans la MLT, sont activées temporairement (e.g., visuelles, spatiales, orthographiques, phonologiques). Ici, les informations font alors partie du sous-ensemble appelé *mémoire activée*, où elles sont sensibles au déclin temporel. Parmi ces informations de la mémoire activée, une petite partie peut être placée dans le *focus attentionnel* où elles sont directement disponibles pour être traitées. Les informations au sein du focus attentionnel ne sont donc plus sensibles au déclin temporel, contrairement à celles restées dans la mémoire activée. Le *central exécutif* correspond dans ce modèle à l'ensemble des processus en charge de la sélection des informations qui constitueront le focus attentionnel. Le central exécutif permet ainsi de sélectionner des informations issues de la

mémoire activée ou de la mémoire à long terme pour les intégrer dans le focus attentionnel, mais il permet aussi d'écarter volontairement certaines informations du focus attentionnel. En plus d'un contrôle de l'attention volontaire via le central exécutif, le focus attentionnel peut être recruté de façon automatique par certains types de stimuli extérieurs (e.g., bruit fort, propre prénom). Néanmoins, le recrutement automatique du focus attentionnel ne permettrait pas de construire une trace mémorielle aussi stable que lors d'une focalisation volontaire sur un stimulus extérieur (e.g., Cowan, Lichtig, & Grove, 1990).

Au vu de la description du modèle de Cowan, le maintien des informations à un niveau d'accessibilité élevé dépend donc de l'interaction entre le focus attentionnel et la mémoire activée. Spécifiquement, le focus attentionnel peut être utilisé pour réactiver les informations présentes dans la mémoire activée et ainsi éviter qu'elles ne retournent à leur état initial inactif en MLT, du fait d'un déclin temporel. Par conséquent, et comme nous allons le préciser ci-dessous, la MDT serait limitée par deux facteurs majeurs : la capacité limitée du focus attentionnel et la durée limitée du contenu de la mémoire activée, en raison d'un phénomène de déclin temporel.

### ***3.1. La capacité limitée du focus attentionnel***

Pour étudier les capacités du focus attentionnel, Cowan a été confronté au problème du contrôle des processus permettant d'augmenter « artificiellement » le nombre d'informations pouvant y être maintenues. Parmi ces processus, le “*chunking*” (Miller, 1956) consiste à relier différentes informations en une entité unifiée, un “*chunk*”, grâce à l'utilisation de connaissances sémantiques stockées dans la MLT. Par exemple, si l'on devait demander à un jeune adulte français de retenir la séquence de lettres S, N, C, F, le chunking permettrait d'avoir une seule information à maintenir, à savoir, le nom de l'entreprise de transport

ferroviaire publique française. De fait, si après la présentation d'une liste d'items telle que S,N,C,F,C,R,S,E,N,A, une personne est capable de rappeler ces 10 lettres, cela n'induit pas que le focus attentionnel a une capacité de 10 items. En effet, cette liste peut être regroupée en seulement trois informations ayant du sens : SNCF, CRS et ENA. Ici, la capacité du focus attentionnel devrait être estimée à trois items plutôt que 10.

Dans sa revue de littérature, Cowan (2001) indique de nombreuses procédures qui permettraient d'éviter la formation de chunks. Par exemple, le processus de chunking ne pourrait pas être mis en œuvre s'il y a surcharge d'informations, notamment en présentant une large matrice d'informations (e.g., Sperling, 1960). Une autre procédure permettant ce contrôle consiste à présenter une longue liste d'items aux participants, sans leur indiquer la taille de la liste puis, quand la liste s'arrête, les participants doivent rappeler tous les items dont ils se souviennent à partir de la fin de la liste (i.e. *running span task*). Cette dernière procédure aurait de plus l'avantage de contrôler l'utilisation de la répétition subvocale qui serait une autre source de biais d'estimation de la capacité de la mémoire de travail (Cowan, 2008). Dans ce type de conditions, gênant l'utilisation de processus soutenant la mémorisation, les performances des participants sont généralement limitées à 4 +/- 1 éléments (Cowan, 2001, 2008, 2010). Sur la base de ces résultats, Cowan estime donc la capacité du focus attentionnel à 4 +/- 1 éléments.

À la différence de la MLT qui serait théoriquement capable de maintenir un nombre illimité d'informations, la capacité de la MDT est quant à elle sévèrement limitée. Sur la base des travaux que nous venons de présenter, il apparaît que ceci est dû à une capacité également limitée du focus attentionnel. Cependant, un deuxième facteur, au moins, est responsable des limites de la MDT, à savoir le déclin temporel de l'activation des informations hors du focus attentionnel. En plus d'influencer la capacité limitée de la MDT, qui constitue le premier pilier de la distinction entre MDT et MLT, la théorie du déclin temporel constitue un

deuxième facteur de distinction entre ces deux systèmes. Sans le déclin, MDT et MLT partageraient le même et unique facteur d'oubli, l'interférence, brouillant ainsi leur distinction, et supportant la vision unitaire de la mémoire défendue par certains chercheurs (e.g., Melton, 1963; Nairne, 2002; Underwood, 1957). De nombreux modèles de MDT (e.g., Baddeley, 2000; Barrouillet & Camos, 2015; Cowan, 1999; Towse & Hitch, 1995) et nos propres travaux se basent sur le postulat de l'existence du déclin. Si cette théorie se révélait fautive, de nombreuses interprétations de résultats expérimentaux ne seraient alors plus valables. La théorie du déclin sera donc abordée plus en détails dans la prochaine section.

### ***3.2. Le déclin temporel des informations en mémoire de travail***

Popularisée par Brown (1958), la théorie du déclin temporel postule qu'entre la perception d'informations et leur récupération, le niveau d'activation des traces mnésiques décline avec le temps et, passé un certain seuil d'activation, elles ne seraient plus récupérables. De fait, de nombreux modèles de MDT postulent l'existence de mécanismes de maintien permettant d'éviter ce déclin (voir Chapitre 2). Néanmoins, cette théorie a été vivement critiquée (e.g., Melton, 1963; Nairne, 2002; Underwood, 1957), notamment sur les fondements logiques mêmes de la théorie. Comme le notent Ricker, Vergauwe et Cowan (2016) une analogie est souvent employée pour rejeter la théorie du déclin : bien que la rouille s'accumule avec le temps, ce dernier n'est pas responsable *per se* de ce phénomène, qui dépend en fait du processus d'oxydation. Ainsi, le temps devrait être considéré comme un simple proxy de la réelle cause de l'oubli. Reprenant un argument développé par Pratt (1936), Ricker et collègues (2016, p. 8) notent néanmoins que « *l'utilisation du temps en tant que proxy présente l'avantage de permettre au processus [i.e., le déclin] d'être mesurable, falsifiable et prévisible, qu'un processus généré en interne soit identifié ou non comme base de ce déclin.* ». La question ne serait donc pas « Est-ce que le temps est la cause ultime de l'oubli ? », mais

plutôt « Est-il possible d'observer une perte d'information en fonction du temps qui ne soit pas la cause d'interférences ? ».

Sous l'apparente simplicité de cette question se cache en fait une hypothèse qui se révèle difficile à tester expérimentalement. Une approche intuitive consisterait à faire varier le délai séparant la phase de présentation d'items à mémoriser de la phase de rappel. Si les traces déclinent avec le temps, alors on devrait observer une diminution du rappel au fur et à mesure que le délai augmente. Néanmoins, dans ce type d'expérience, rien n'empêcherait les participants d'utiliser des mécanismes de maintien contrecarrant le déclin. De fait, ne pas observer de différence ne permettrait pas de conclure à l'absence d'un déclin temporel. Une solution possible serait alors d'employer une procédure qui empêcherait les participants d'utiliser ces mécanismes. Par exemple, Murdock (1961) et Peterson et Peterson (1959) ont demandé à des participants de compter à rebours pendant un délai, dont ils faisaient varier la durée. En accord avec la théorie du déclin, dans ces deux études, les auteurs ont observé que la probabilité de rappel des items diminuait à mesure que le délai augmentait. Néanmoins, bien que Murdock (1961, p.624) ait noté que « *compte tenu de cette faible similitude [entre les consonnes, mots et triades de mots à mémoriser et les nombres à compter pendant le délai], il semblerait peu probable que l'activité interpolée interfère avec la rétention du stimulus.* », cette assertion serait sans doute remise en cause aujourd'hui. De fait, introduire une activité concurrente pendant le délai ajoute une nouvelle difficulté pour l'interprétation des résultats : la diminution des performances peut être attribuée aux interférences de l'activité pendant le délai. Tester l'hypothèse du déclin nécessite donc d'empêcher l'utilisation des mécanismes de maintien, tout en évitant d'introduire des interférences.

Pour répondre à ce double objectif, Cowan et AuBuchon (2008), par exemple, ont construit une procédure expérimentale dans laquelle les participants devaient mémoriser des listes de sept chiffres. Pour mettre en lumière un phénomène de déclin, les auteurs ont

manipulé deux variables. Premièrement, ils ont fait varier le délai inter-chiffres des listes. Spécifiquement, les délais étaient (1) tous courts (condition *court-court*), (2) tous longs (condition *long-long*), (3) courts pour les trois premiers et longs pour les trois derniers (condition *court-long*), (4) longs pour les trois premiers et courts pour les trois derniers (condition *long-court*) ou (5) choisis aléatoirement (condition *contrôle*). Deuxièmement, pour chaque condition de délai inter-chiffre, les auteurs ont manipulé le rythme de rappel des participants. Spécifiquement, dans une première condition, les participants rappelaient les listes à leur propre rythme (*rappel libre*), tandis que dans la deuxième condition, les participants devaient rappeler les listes de chiffres au rythme auquel ils avaient été présentés (*rappel rythmé*). Pour les auteurs, la deuxième condition nécessite de maintenir l'information concernant le rythme de présentation des items, empêchant ainsi d'utiliser les mécanismes de maintien sur les items eux-mêmes. Les auteurs prédisent que, dans la condition *rappel rythmé*, les performances devraient être plus faibles dans les conditions où le délai inter-item est long pour les premiers items de la liste (conditions *long-long* et *long-court*) comparé aux conditions où le délai est court (conditions *court-court* et *court-long*). En effet, dans ces essais, le temps de déclin est plus long pour la plupart des items de la liste. Conformément à leurs prédictions, les auteurs ont observé que dans la condition *rappel rythmé*, les performances étaient meilleures lorsque les premiers items de la liste étaient séparés par un délai court comparé à ceux séparés par un délai long. En revanche, il n'y avait pas de différences significatives dans la condition *rappel libre*.

La ligne de recherche la plus fructueuse concernant l'existence du déclin, est sans doute celle employant du matériel ne permettant pas, ou très difficilement, l'utilisation des mécanismes de maintien. Notons par exemple des études utilisant des caractères issus d'alphabets non connus par les participants (Ricker & Cowan, 2010), des sons (McKeown & Mercer, 2012), ou encore des stimuli visuels simples (i.e., formes et couleurs, C. C. Morey &



Bieler, 2013). L'utilisation de tels stimuli comme items à mémoriser a permis à ces différents auteurs d'observer de moins bonnes performances de rappel à mesure que la durée de rétention des informations augmentait, et ce, même en absence de seconde tâche. Notons toutefois que ces résultats peuvent également être interprétés en termes de *distinction temporelle* (e.g., Brown, Neath, & Chater, 2007; Neath & Brown, 2012; Unsworth, Heitz, & Parks, 2008, voir discussion de Ricker & Cowan, 2010). Une analogie est souvent utilisée pour expliquer la théorie de la distinction temporelle : de la même façon que des objets semblent plus proches les uns des autres quand nous nous en éloignons, le décours du temps aurait pour conséquence de « compresser » les informations, rendant plus difficile leur distinction à mesure que le temps passe. Ainsi, un phénomène de diminution de distinction temporelle des traces mnésiques pourrait imiter les effets du déclin. Ricker, Spiegel et Cowan (2014) ont donc mis en place une procédure ingénieuse dans laquelle les deux théories devaient mener à deux prédictions différentes. Plutôt que de s'appuyer seulement sur la manipulation du délai de rétention (qui mènerait à des prédictions similaires pour les deux théories), les auteurs ont également fait varier le délai séparant chaque essai. Dans le cadre de la théorie de la distinction temporelle, la baisse de mémorisation quand le délai de rétention augmente devrait être d'autant plus important que le délai séparant les essais est court. En effet, l'augmentation du temps de séparation des essais permettrait de rendre les listes d'items de chacun des essais plus distinctes les unes des autres. Dans le cadre de la théorie du déclin temporel, le délai de séparation ne devrait pas avoir d'influence sur le déclin des traces pendant le délai de rétention et ne devrait donc pas interagir avec cette variable. Dans quatre expériences successives, Ricker et collègues (2014) ont observé des résultats en accord avec la théorie du déclin temporel et en contradiction avec celle de la distinction temporelle.

En résumé, bien que le débat sur l'existence d'un déclin temporel ne soit toujours pas clos (Ricker et al., 2016), des avancées expérimentales majeures ont été faites pour tester cette

théorie (e.g., Ricker et al., 2014). À tel point que certains des opposants les plus fermes à l'idée d'un déclin ont même concédé que les preuves de son existence dans le domaine visuel étaient tangibles (Oberauer & Lewandowsky, 2013). Néanmoins, concernant le domaine verbal, les preuves expérimentales semblent plus ambiguës (e.g., Cowan & AuBuchon, 2008; Oberauer & Lewandowsky, 2013).

## 4. Conclusion

À l'heure actuelle, personne ne semble défendre l'idée que la MDT et la MLT seraient complètement indépendantes. Comme nous l'avons vu, si les premières études sur des patients cérébro-lésés semblaient montrer une double dissociation avec, d'un côté, une atteinte au niveau du lobe temporal médian<sup>7</sup> entraînant une altération des capacités de MLT mais une préservation des capacités à court terme (e.g., Baddeley & Warrington, 1970; Cave & Squire, 1992; Scoville & Milner, 1957) et, de l'autre côté, une atteinte au niveau du cortex périsylvien gauche entraînant un pattern inverse (Shallice & Warrington, 1970; Warrington, Logue, & Pratt, 1971; Warrington & Shallice, 1969), des études ultérieures ont montré que dans certaines circonstances, des dommages au niveau du lobe temporal médian entraînent des difficultés à maintenir des petites quantités d'informations sur de courts délais (voir Ranganath & Blumenfeld, 2005). Ces résultats, corroborés par des études de neuro-imagerie où une activation du lobe temporal médian lors de tâches à court terme a été observée (voir Ranganath & Blumenfeld, 2005) laissent donc suggérer qu'une séparation neuro-anatomique nette entre les deux systèmes est difficilement envisageable. De même, l'interprétation de résultats issus de la psychologie expérimentale, censés suggérer une dissociation de la MDT

---

<sup>7</sup> Hippocampe et cortex entorhinal, périrhinal et parahippocampique adjacents.

et de la MLT (i.e., tâches de rappel libre avec une courbe de performance en « U »), est aujourd'hui critiquée. En effet, certaines études ont, par exemple, observé des effets de récurrence après des délais de rétention allant de quelques minutes (Tzeng, 1973) à quelques jours, voire à quelques semaines (Baddeley & Hitch, 1977).

La MDT et la MLT sont donc généralement considérées comme deux systèmes distincts mais liés. Distincts, d'une part, puisqu'au contraire de la MLT pouvant théoriquement stocker un nombre illimité d'informations, la MDT semble avoir une capacité limitée. Cette capacité limitée de la MDT est en partie dépendante des limites du focus attentionnel, ainsi qu'au phénomène de déclin temporel. Ce dernier ne peut assurément pas être à l'œuvre en MLT puisque, même très âgés, nous sommes capables de nous souvenir d'informations qui remontent à notre enfance. Ils sont d'autres part liés, puisque ces systèmes s'influencent mutuellement au travers de liens bidirectionnels qui font, encore aujourd'hui, l'objet d'études nombreuses (e.g., Loaiza & Camos, 2016; Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza, McCabe, Youngblood, Rose, & Myerson, 2011; McCabe, 2008; Rose & Craik, 2012; Rose, Myerson, Roediger, & Hale, 2010; voir Chapitres 2 et 4). Au-delà des différences entre les différents modèles que nous avons présentés dans ce chapitre, nous avons de plus succinctement abordé qu'ils partagent l'idée de processus permettant de maintenir l'activation des informations, et ce contre le déclin temporel notamment. L'objectif du chapitre suivant sera de présenter plus en détails ces mécanismes de maintien des informations verbales en MDT.

## Chapitre 2. Le maintien des informations verbales en mémoire de travail

---

### *Objectifs*

- Présenter le mécanisme de répétition subvocale
- Présenter le mécanisme de rafraîchissement attentionnel
- Présenter les preuves expérimentales de la dissociation de ces deux mécanismes.

Dans le chapitre précédent, nous avons mis en évidence que malgré la variabilité des modèles existant de la MDT, tous supposent la présence d'interactions avec la MLT. Il n'est donc pas étonnant de constater que de nombreuses études se sont intéressées à l'influence des mécanismes de maintien de la MDT sur la MLT. Dans ce chapitre, nous présenterons les deux mécanismes de maintien des informations verbales en MDT décrits dans la littérature. Dans un premier temps, nous présenterons en détails le mécanisme de *répétition subvocale*, au travers du modèle à composantes multiples (Baddeley, 1986, 2000; Baddeley et al., 2011; Baddeley & Hitch, 1974) que nous avons introduit dans le Chapitre 1. Nous verrons que ce mécanisme, spécifique aux informations verbales, repose sur l'utilisation de processus de production du langage afin de répéter silencieusement les traces phonologiques des items à maintenir. Dans un second temps, nous présenterons un mécanisme de maintien général des informations reposant sur l'utilisation de l'attention. Nous introduirons ce mécanisme de

*rafraîchissement attentionnel* au travers de la description précise du modèle dit de “partage temporel des ressources” (TBRS, pour Time-Based Resource Sharing, Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet & Camos, 2015). Comme nous le verrons, le modèle TBRS, initialement proposé pour rendre compte de l’évolution des capacités de MDT dans le développement de l’enfant, propose une tâche “simple” dont les manipulations entraînent un effet connu et répliqué de nombreuses fois dans la littérature. De plus, ce modèle décrit précisément le décours temporel des processus de maintien des informations en MDT. Ainsi, le modèle TBRS est particulièrement pertinent pour étudier l’évolution de la MDT dans le vieillissement (Chapitres 3 et 4). Au-delà du modèle TBRS, nous verrons que d’autres modèles influents de la MDT (e.g., Baddeley, 2000; Baddeley et al., 2011; Cowan, 1988, 2005) s’accordent pour placer l’attention au centre du fonctionnement de la MDT (Fanuel\*, Jarjat\*, Tillmann, Hot, Plancher & Portrat, en préparation). Cet article permettra également de présenter certaines des preuves empiriques de l’implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien des informations en MDT, de sa relation avec le mécanisme de répétition subvocale, mais aussi de soulever les questionnements actuels quant à ses effets précis sur les traces mnésiques.

## **1. Un mécanisme de maintien spécifique : la répétition subvocale**

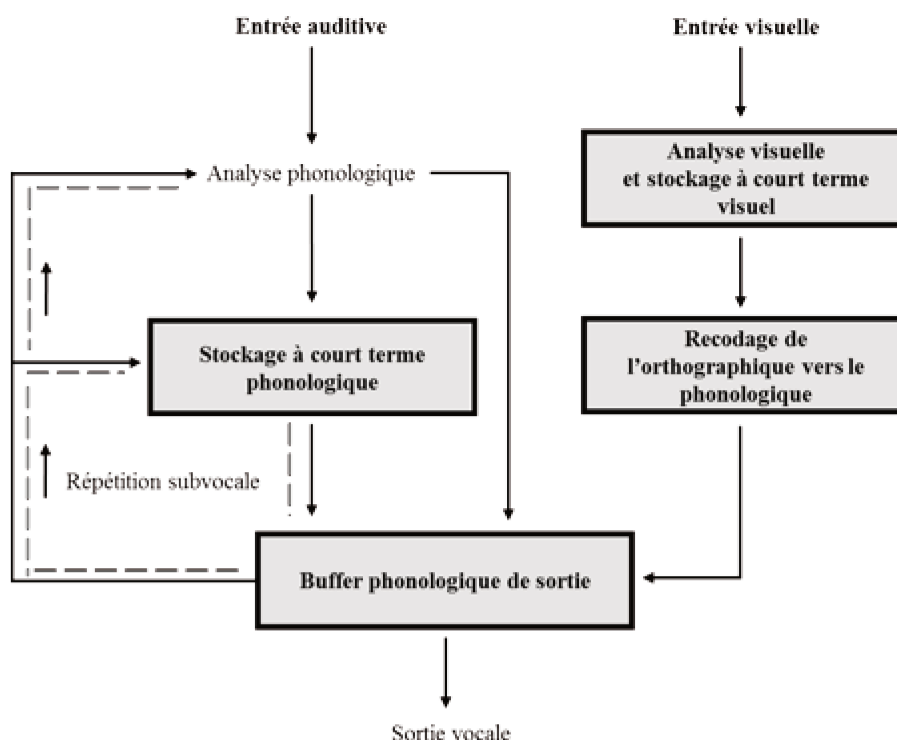
Le mécanisme de répétition subvocale, déjà décrit dans les premiers modèles de mémoire à court terme (Atkinson & Shiffrin, 1968; Sperling, 1967; Waugh & Norman, 1965), a été largement étudié dans le cadre du modèle à composantes multiples (Baddeley, 1986, 2000; Baddeley et al., 2011; Baddeley & Hitch, 1974; voir Chapitre 1). Rappelons que dans ce modèle, les informations verbales et visuo-spatiales sont supposées être maintenues par des

composantes de la MDT distinctes et spécifiques, chacune reposant sur ses propres ressources limitées (Baddeley & Logie, 1999). En accord avec cette hypothèse, Cocchini, Logie, Della Sala, MacPherson et Baddeley (2004) ont observé que la mémorisation d'informations visuelles était affectée par l'introduction d'une tâche visuelle concurrente (i.e., suivre manuellement le déplacement d'un stimulus sur un écran), mais pas par l'introduction d'une tâche verbale concurrente (i.e., répéter à haute voix le mot "go"). À l'inverse, la mémorisation d'informations verbales était affectée par la tâche verbale, mais pas par la tâche visuelle (voir aussi Bayliss, Jarrold, Gunn, & Baddeley, 2003; Farmer, Berman, & Fletcher, 1986; Logie, Zucco, & Baddeley, 1990; Shah & Miyake, 1996).

### ***1.1. La boucle phonologique***

En 1986, Baddeley spécifie le fonctionnement de la composante verbale du modèle, le sous-système de la boucle phonologique. Cette dernière comprend deux sous-composantes, le magasin phonologique et la répétition subvocale. D'une part, le magasin phonologique permettrait le stockage d'informations verbales sous forme de phonèmes. Les traces phonologiques ainsi stockées déclineraient avec le temps et disparaîtraient après 2 secondes environ. Cependant, l'utilisation du mécanisme de répétition subvocale permettrait de contrecarrer ce déclin et de maintenir les traces au-delà de 2 secondes. Ce mécanisme consisterait à répéter silencieusement les informations selon des processus similaires à la production du langage oral. La répétition subvocale permettrait ainsi de réactiver de façon cyclique les traces phonologiques stockées dans le magasin phonologique et donc de maintenir les informations en MDT jusqu'à leur rappel. La répétition subvocale serait également impliquée dans le recodage d'informations sous forme phonologique. En effet, alors que des informations verbales présentées auditivement peuvent accéder directement au magasin phonologique (puisqu'elles sont encodées sous forme phonologique), des

informations verbales présentées visuellement ne peuvent pas y accéder directement du fait de leur codage orthographique (Baddeley, Lewis, & Vallar, 1984). Les informations verbales, présentées ainsi, seraient donc recodées sous la forme adaptée au magasin phonologique via la répétition subvocale (Figure 2.1). Le modèle de la boucle phonologique que nous venons de décrire est principalement étayé par trois effets observés dans la littérature que nous allons à présent détailler.



**Figure 2.1.** Illustration du modèle de la boucle phonologique (d'après Baddeley, 2003).

### ***1.2. L'effet de similarité phonologique***

Dans la boucle phonologique, les informations verbales sont supposées être maintenues sous formes de traces phonologiques. Pour Baddeley, cette hypothèse est supportée par l'effet de similarité phonologique. Cet effet correspond à l'observation d'une moins bonne mémorisation de listes d'informations similaires phonologiquement comparée à la mémorisation de listes d'informations dissimilaires phonologiquement (Baddeley, 1966;

Conrad & Hull, 1964). Par exemple, Conrad et Hull (1964) ont observé que des listes de lettres similaires sur le plan phonologique (*b, g, t, p, c*) étaient moins bien mémorisées que des listes de lettres dissimilaires (*k, r, l, q, y*). Baddeley (1966) a quant à lui observé que des listes de mots similaires (*mad, cat, map, cap*) étaient moins bien mémorisées que des listes de mots dissimilaires (*cow, day, bar, pen*). Cet effet a depuis été répliqué à de nombreuses reprises avec différents stimuli et dans différents paradigmes expérimentaux (e.g., Camos, Mora, & Barrouillet, 2013; Camos, Mora, & Oberauer, 2011; Fallon, Groves, & Tehan, 1999; Fournet, Juphard, Monnier, & Roulin, 2003; Loblely, Baddeley, & Gathercole, 2005). Ainsi, en accord avec l'hypothèse de Baddeley, une plus grande proximité phonologique des informations à mémoriser entraîne des confusions dans le magasin phonologique, diminue la discriminabilité des traces mnésiques et impacte ainsi les performances de mémorisation à court terme.

### ***1.3. L'effet de longueur de mots***

Selon Baddeley, l'hypothèse selon laquelle le déclin des traces stockées dans le magasin phonologique est contrecarré par le mécanisme de répétition subvocale est supportée par l'effet de longueur de mots. Cet effet correspond à l'observation que des listes de mots courts sont mieux rappelées que des listes de mots longs (e.g., Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975; Watkins & Watkins, 1973). Par exemple, Watkins et Watkins (1973) ont observé que les performances de mémorisation étaient meilleures pour des mots d'une syllabe comparée à des mots composés de quatre syllabes. Cependant, Baddeley et collègues (1975) ont montré que cet effet ne dépend pas de la longueur des mots *per se*, mais plutôt de la durée nécessaire pour les prononcer. En effet, pour des mots comportant le même nombre de syllabes et de phonèmes, mais dont la durée de prononciation était plus ou moins rapide, les mots les plus rapides à articuler étaient mieux rappelés que les mots plus lents (voir aussi Mueller, Seymour, Kieras, & Meyer, 2003). Dans la boucle phonologique, l'effet de longueur de mots



s'explique par le fait que les informations ayant un temps de prononciation important vont prendre plus de temps pour être répétées, entraînant de fait un déclin plus prononcé des traces, et donc une récupération plus difficile des informations. Cet effet a également été répliqué à de nombreuses reprises dans différents paradigmes expérimentaux (e.g., Baddeley et al., 1984; Campoy & Baddeley, 2008; Cowan, Wood, & Borne, 1994; Tehan, Hendry, & Kocinski, 2001).

#### ***1.4. L'effet de suppression articulatoire***

Enfin, l'hypothèse selon laquelle la répétition subvocale est un mécanisme de maintien des informations verbales en MDT qui implique les mêmes processus que la production du langage est corroborée par l'effet de suppression articulatoire. Cet effet correspond à l'observation de moins bonnes performances de mémorisation lorsque des informations verbales sont mémorisées tout en récitant de façon continue des sons à voix haute (e.g., « *ba, ba, ...* ») comparé à une situation d'encodage silencieuse. L'effet de suppression articulatoire a été observé pour des stimuli présentés visuellement (e.g., Murray, 1967, 1968; Richardson & Baddeley, 1975) ainsi que pour des stimuli présentés auditivement (e.g., Baddeley et al., 1984). Cet effet semble néanmoins dépendre du niveau de complexité de l'articulation. Plus précisément, alors que la production d'un son continu (« *baaaaa* ») n'a pas d'effet sur la mémorisation, la répétition de ce même son (« *ba, ba, ba* ») diminue les performances de rappel (Saito, 1997). Ainsi, conformément à l'hypothèse selon laquelle la répétition subvocale dépend des mêmes processus que le langage oral, la répétition subvocale ne peut pas être utilisée lorsque l'on doit articuler des sons à voix haute. Cette suppression articulatoire entraîne ainsi l'incapacité de maintenir les traces mnésiques par ce mécanisme. Notons que la procédure de suppression articulatoire a également permis d'observer d'autres résultats conformes au modèle de la boucle phonologique. Par exemple, les effets de similarité

phonologique et de longueur de mots diminuent clairement, ou disparaissent, lorsque l'utilisation de la répétition subvocale est empêchée par une procédure de suppression articulatoire (Baddeley et al., 1984, 1975; Camos et al., 2013). Comme nous le verrons dans le Chapitre 4, nous avons utilisé la procédure de suppression articulatoire pour empêcher l'utilisation de la répétition subvocale dans les travaux expérimentaux menés dans le cadre de cette thèse. Par cette procédure, notre objectif était de mettre en évidence l'utilisation d'un autre mécanisme de maintien des informations verbales en MDT proposé dans la littérature, reposant non pas sur le langage, mais sur l'attention. C'est ce mécanisme que nous proposons de présenter dans la section suivante.

## **2. Un mécanisme de maintien général : le rafraîchissement attentionnel**

Le modèle à composantes multiples suppose l'existence de sous-systèmes de maintien des informations spécifiques au domaine des informations (verbal *vs.* visuo-spatial) et, par conséquent, un fonctionnement reposant sur des ressources distinctes. Notre travail de thèse s'étant intéressé au maintien des informations verbales, nous avons développé son sous-système spécifique : la boucle phonologique. Au contraire de l'idée de ressources spécifiques, certains auteurs supposent l'existence d'une ressource générale, permettant le traitement et le maintien des informations indépendamment du domaine (e.g., Case, 1985; Kahneman, 1973). En accord avec cette hypothèse, et contrairement à l'étude de Cocchini et collègues (2002), des études ont montré que le maintien d'informations verbales est perturbé par une activité concurrente visuelle et que le maintien d'informations visuelles est perturbé par une activité concurrente verbale (Baddeley, Logie, Bressi, Della Sala, & Spinnler, 1986; Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2010). Ainsi, plusieurs modèles de MDT reposent sur l'idée d'une

ressource générale limitée, et proposent que le maintien d'informations dépend principalement d'un mécanisme général, également (e.g., Barrouillet et al., 2004; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007; Cowan, 1992, 1995, 1999). Parmi ces modèles, nous allons commencer par présenter le modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet et al., 2007). Comme nous allons le voir, le modèle TBRS (1) s'est intéressé à l'évolution des capacités de MDT dans le développement de l'enfant, (2) propose une tâche "simple" dont les manipulations entraînent un effet connu et répliqué de nombreuses fois, et (3) décrit précisément le décours temporel des processus de maintien des informations en MDT. L'implication de l'attention dans le maintien des informations verbales dans d'autres modèles sera quant à elle abordée ultérieurement, dans un article intégré à ce chapitre (Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation).

## ***2.1. Le modèle de partage temporel des ressources***

### *2.1.1. Prémices du modèle: le développement de la mémoire de travail chez l'enfant*

Le développement du modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet et al., 2007) fait suite à l'étude de Barrouillet et Camos (2001) qui s'intéressait au développement des capacités de la MDT chez les enfants. Plus particulièrement, dans cette étude, les auteurs se sont intéressés à deux hypothèses du développement de la MDT chez les enfants proposées dans la littérature. La première hypothèse, l'hypothèse du *partage des ressources*, s'inscrit dans le cadre déjà présenté de l'existence d'une ressource cognitive générale servant à la fois le stockage et le traitement des informations (quel que soit leur domaine). Ce réservoir de ressources, ou "espace cognitif", étant commun et limité, il doit être partagé entre les deux fonctions qui dépendent de la MDT (e.g., Case, 1974). Par conséquent, il existerait un

phénomène de balance, d'échange, ou *trade-off*, entre les deux activités. Spécifiquement, plus la part de ressources dédiée au traitement des informations (i.e., son *coût cognitif*) est faible, plus la part restante disponible pour le stockage sera élevée, et inversement. Dans le cadre du développement de l'enfant, l'hypothèse du partage des ressources suppose que l'amélioration des performances de MDT serait expliquée par la diminution, avec l'âge, du coût cognitif associé à la réalisation des traitements. Cette diminution serait, notamment, la conséquence de l'automatisation de certains processus de traitements qui laisserait ainsi davantage de ressources disponibles pour le stockage des informations. Par exemple, Case, Kurland, et Goldberg (1982, Expériences 3 et 4) ont évalué les performances d'enfants et d'adultes dans une tâche d'empan de comptage (*counting span task*) qui consiste à compter et mémoriser le nombre de points affichés sur des cartes, lesquelles sont présentées de manière successive. Conformément à l'hypothèse du partage des ressources, les auteurs (Expérience 3) ont observé que plus les enfants étaient âgés, plus le temps pour compter les points sur les cartes était court, et meilleures étaient les performances de mémorisation. De plus, en faisant compter des adultes avec des mots inventés (Expérience 4), les auteurs ont observé un temps de comptage et des performances de mémorisation similaires à ceux d'enfants de 6 ans. Pour les auteurs, ces résultats montrent que l'augmentation des capacités de mémorisation chez les enfants ne résulte pas d'une augmentation de la quantité totale de ressource disponible, mais plutôt de la diminution du coût cognitif (i.e., la part de ressource utilisée) de l'activité de décompte des points, augmentant ainsi la part disponible pour le stockage des informations.

Pour Towse et Hitch (1995), les résultats de Case et collaborateurs (1982) peuvent cependant être interprétés sans avoir à faire référence à la notion de ressources. Selon eux, la vitesse à laquelle les points sont dénombrés peut avoir un effet direct sur le maintien des informations. En effet, les auteurs notent qu'une vitesse de dénombrement plus rapide affecte directement le temps pendant lequel les informations à mémoriser doivent être maintenues en

mémoire. Ainsi, des enfants plus âgés et plus rapides à traiter des informations auraient de meilleures performances de mémorisation car le temps de rétention des informations serait plus court. Pour tester leur hypothèse, Towse et Hitch (1995) ont construit une série d'expériences contrastant l'effet du coût cognitif et l'effet du temps de rétention sur les performances de mémorisation. Sur des cartes présentées successivement, les participants devaient dénombrer des cibles, présentées parmi des distracteurs, puis rappeler les dénombrements lors d'une phase de rappel. Dans une condition *feature*, les cibles avaient une forme et une couleur différente des distracteurs, permettant ainsi un dénombrement rapide et de faible difficulté. Dans une condition *conjunction*, les cibles étaient de même couleur que les distracteurs de forme différente, entraînant ainsi un dénombrement plus lent et donc un coût cognitif plus élevé que dans la condition *feature*. Enfin, dans une condition *feature slow*, les cibles et les distracteurs avaient une forme et une couleur différente des distracteurs, comme dans la condition *feature*, mais leur nombre était plus élevé. Ainsi, pour Towse et Hitch (1995), le dénombrement dans la condition *feature slow* avait le même coût cognitif que dans la condition *feature* mais nécessitait un temps de dénombrement plus élevé. Les auteurs ont observé que les performances de mémorisation d'enfants de 6, 7, 8 et 10 ans (Towse & Hitch, 1995, Expérience 2) étaient plus faibles dans la condition *feature slow* que dans la condition *feature* (même coût cognitif mais temps de réalisation différent) alors qu'il n'y avait pas de différence entre la condition *feature slow* et la condition *conjunction* (même temps de réalisation mais coût cognitif différent). Contrairement à l'hypothèse de partage des ressources de Case, mais en accord avec l'hypothèse de Towse et Hitch, ces résultats suggèrent que les performances en MDT ne sont pas déterminées par la part de ressources dédiée au traitement des informations, mais plutôt par le temps de rétention des informations (voir aussi Towse, Hitch, & Hutton, 1998, 2000).

Pourtant, Barrouillet et Camos (2001) remarquent que les faits mis en évidence par Towse et collaborateurs peuvent être remis en question. En effet, Barrouillet et Camos (2001) suggèrent que pour des enfants, le nombre plus grand de cibles à dénombrer dans les cartes de la condition *feature slow* peut entraîner un coût cognitif plus important que celui de la condition *feature*. Barrouillet et Camos décident donc de mener une série d'expériences pour tenter de départager ces deux hypothèses de manière plus convaincante. Par exemple, dans leur 3<sup>e</sup> expérience, les auteurs comparent les performances de mémorisation d'enfants de 9 et 11 ans dans une tâche d'*operation span* et de *baba span*. L'*operation span* consiste à présenter des séries de lettres à mémoriser, chaque lettre étant suivie d'équations à résoudre. Dans la tâche de *baba span*, la procédure est la même, à l'exception de l'activité arithmétique qui est remplacée par l'articulation de la syllabe « ba » pendant une durée équivalente. Pour les auteurs, ces deux procédures impliquent une durée équivalente mais clairement pas le même coût cognitif. En effet, alors que dans la tâche d'opération span les réponses nécessitent une récupération en MLT, ou l'utilisation de stratégies arithmétiques, la tâche articulatoire implique quant à elle la répétition d'une unique syllabe. Le temps pendant lequel les participants doivent effectuer ces tâches étant égalisé, il est ainsi possible d'observer l'effet strict du coût cognitif.

Barrouillet et Camos (2001) ont observé que les performances de mémorisation étaient meilleures dans la condition *baba span* que dans la condition *operation span*. Ainsi, contrairement à l'hypothèse de Towse et Hitch (1995), le temps de rétention des informations ne peut pas être considéré comme l'unique facteur explicatif des performances en MDT. Selon Barrouillet et Camos (2001), ces résultats sont en accord avec la proposition d'une quantité limitée de ressources cognitives contraignant le fonctionnement de la MDT (e.g., Case, 1974). Cependant, les auteurs notent également qu'au regard de la différence de difficulté entre les tâches d'*operation span* et de *baba span*, l'écart des performances de

mémorisation semble assez faible (e.g., chez des enfants de 11 ans, empan de 2,83 et 3,25 en operation et baba span, respectivement). Ainsi, Barrouillet et Camos (2001) suggèrent que pendant la réalisation de la tâche arithmétique, les participants parviennent à dégager leur attention de la tâche afin de la reporter sur le maintien des informations, par exemple, lorsqu'ils atteignent un résultat intermédiaire. Ces considérations posent ainsi les bases du modèle TBRS, qui sera formulé quelques années plus tard (Barrouillet et al., 2004, 2007) au travers de quatre postulats rendant compte du fonctionnement de la MDT.

### *2.1.2. Les quatre postulats du TBRS*

Le premier postulat du modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004, 2007) stipule que le maintien et le traitement d'informations en MDT repose sur une ressource unique et limitée. En ce sens, les auteurs se rapprochent de la conception de "l'espace cognitif" de Case (1985) partagé entre maintien et traitement de l'information. Dans le modèle TBRS, comme dans d'autres modèles de MDT (voir Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation), cette ressource est l'attention. Contrairement au modèle de Case, le modèle TBRS suppose cependant que le partage de l'attention entre maintien et traitement n'est pas parallèle, mais fonctionne de manière séquentielle. Ainsi, l'attention doit être allouée alternativement au maintien et au traitement, d'où le terme de "partage temporel" dans le nom du modèle. Ce partage temporel de l'attention forme le deuxième postulat du modèle. Ce dernier peut s'expliquer en termes attentionnel, par la notion d'un focus attentionnel limité à un élément (e.g., Garavan, 1998; Oberauer, 2002; Oberauer & Kliegl, 2006), ou en termes de limitation de traitement central, par la notion de goulet d'étranglement (*bottleneck*) définie par Pashler (1998). Le point principal étant ici que lorsque le focus attentionnel (ou le goulot d'étranglement) est occupé à la réalisation d'un traitement, il n'est plus disponible pour le maintien des informations. Selon le troisième postulat du modèle, les traces mnésiques des informations reçoivent de

l'activation lorsqu'elles sont dans le focus attentionnel, et souffrent d'un déclin d'activation lorsqu'elles n'y sont pas. Ainsi, lorsque l'attention est portée sur le traitement d'informations, l'activation des items à mémoriser diminue, ce qui se traduit par un effacement progressif de leurs traces mnésiques. Si l'attention est portée trop longtemps sur le traitement, les traces vont par conséquent être trop dégradées pour être récupérées. Cependant, si les traces ne sont pas trop dégradées et que l'attention est de nouveau libre, elles pourront être ramenées dans le focus attentionnel et ainsi bénéficier d'un surplus d'activation. À la suite des travaux de Johnson (1992), Barrouillet et collaborateurs (2004, 2007) nomment ce mécanisme le *rafraîchissement attentionnel*, qui correspond donc dans ce cadre à la récupération rapide des traces dans le focus attentionnel, une trace à la fois, pour contrecarrer le déclin des traces par leur réactivation. Le quatrième postulat du modèle correspond à la description du partage temporel de l'attention. Comme proposé dans le modèle Task-Switching (Towse & Hitch, 1995), Barrouillet et ses collaborateurs (2004) supposent que le focus attentionnel alterne entre traitement et maintien d'informations. Cependant, les deux modèles ont une conception différente du fonctionnement des orientations attentionnelles. Le modèle de Towse et Hitch (1995) suppose que dans une situation d'empan complexe, les réorientations attentionnelles surviendraient lors des changements d'activités. Autrement dit, Towse et Hitch (1995) supposent que l'attention est portée sur l'activité de traitement pendant tout le temps disponible pour l'effectuer. Au contraire, le modèle TBRS supporte l'idée d'un changement de focus attentionnel dès lors qu'une étape de traitement est terminée, ce qui permet de mettre à profit le temps libre pour rafraîchir les items déjà encodés. Ainsi, le modèle TBRS décrit un partage attentionnel qui correspond à un changement rapide et incessant de la focalisation entre traitement et maintien d'informations.

Bien que la différence entre les deux modèles puisse paraître minime, elle n'en n'est pas moins conséquente. Ainsi, si le modèle Task-Switching ne permet pas de rendre compte



des résultats de la 3<sup>e</sup> expérience de Barrouillet et Camos (2001), il est tout à fait possible de le faire selon les principes du TBRS. En effet, bien que la durée séparant l'encodage du rappel soit la même dans la condition operation span et baba span, le temps pendant lequel l'attention est portée sur l'activité distractive est très certainement moindre dans la deuxième condition puisqu'elle implique peu de processus cognitifs (récupération d'une unique représentation phonologique répétée inlassablement) contrairement à la résolution d'opérations. De ce fait, la condition baba span laisse aux participants plus d'opportunités pour détourner leur attention vers le rafraîchissement des items mnésiques, diminuant ainsi la perte due au déclin temporel pour de meilleures performances de rappel. Se dessine alors sur la base de ces quatre fondements une nouvelle conceptualisation du coût cognitif d'une tâche, non pas basée sur sa complexité *per se*, mais sur la proportion de temps pendant laquelle elle capture l'attention.

### 2.1.3. *Le concept de coût cognitif*

Dans le cadre du modèle TBRS, les performances de mémorisation en MDT sont dépendantes du coût cognitif (CC) de la tâche impliquée. Cependant, cette conception du CC s'éloigne de conceptions plus traditionnelles qui rattachent le CC à de la notion de complexité (e.g., Anderson, Reder, & Lebiere, 1996; Case et al., 1982; Daneman & Carpenter, 1980; Just & Carpenter, 1992). En effet, dans le cadre théorique du partage des ressources, il est généralement admis qu'une tâche est coûteuse si elle capture une grande proportion des capacités cognitives, ce qui est supposé être le cas dans des activités impliquant de nombreux processus cognitifs (e.g., tâche de raisonnement). Pourtant, comme le notent Barrouillet et al. (2004, p. 86) : « *le fait que des activités concurrentes complexes produisent l'effet escompté sur le rappel [une diminution des performances] ne veut pas dire que cet effet provient de leurs complexité* ». Pour ces auteurs, ce sont les contraintes temporelles d'une tâche qui définissent son CC. Comme nous l'avons vu précédemment, le modèle TBRS décrit une

dynamique subtile du focus attentionnel entre traitement et maintien d'informations en MDT. Spécifiquement, l'attention est allouée au rafraîchissement des informations à maintenir dès qu'elle n'est plus engagée dans la réalisation de traitements. Ainsi, dans une période de temps donnée, si un traitement requiert peu d'attention pour être effectué alors une large proportion de ce temps sera du temps disponible pour le rafraîchissement des items. Au contraire, si dans la même période de temps disponible, un traitement sollicite longtemps notre attention, il ne sera pas possible de rafraîchir autant les items, entraînant de fait un déclin plus prononcé des traces mnésiques et donc une récupération plus difficile des informations. Dès lors, il est possible de traduire le CC d'une tâche par un ratio entre le temps pendant lequel elle capture l'attention et le temps total mis à disposition pour l'effectuer selon l'équation :

$$CC = t_{ca} / T$$

où CC correspond au coût cognitif,  $t_{ca}$  le temps de capture attentionnelle de la tâche et T le temps total alloué à l'activité de traitement. Comme le CC est un ratio, sa valeur est nécessairement comprise entre 0 et 1. Un CC de 0 correspond à une situation sans capture attentionnelle, tandis qu'un CC égal à 1 correspond à une situation où l'attention est uniquement portée sur le traitement, sans qu'il soit possible d'utiliser le rafraîchissement. En accord avec la conception du fonctionnement de la MDT proposée par le modèle TBRS, de nombreuses études ont montré que les performances de mémorisation diminuent à mesure que le CC augmente (e.g., Barrouillet et al., 2004, 2007; Barrouillet & Camos, 2001; Lépine, Bernardin, & Barrouillet, 2005; Portrat, Barrouillet, & Camos, 2008; Portrat, Camos, & Barrouillet, 2009).

Ces preuves empiriques en faveur du modèle TBRS seront développées dans la section suivante, au travers d'un article portant sur le rôle de l'attention dans le maintien en mémoire de travail. Cet article permettra également d'aborder la question de la relation entre les deux mécanismes de maintien des informations verbales que nous avons introduit. En effet, les

conceptions que nous avons présentées sont en opposition, avec d'un côté la proposition de processus de stockage et de maintien des informations verbales spécifiques à leur nature (i.e., la boucle phonologique), et de l'autre côté la proposition de processus de traitement et de maintien des informations verbales qui ne dépendent pas de cette nature (i.e., le modèle TBRS). Dans cet article, nous présenterons une troisième conception, qui propose que ces deux mécanismes sont indépendants et complémentaires. Enfin, la présentation du rôle de l'attention dans le maintien des informations spécifié dans différents modèles de MDT (e.g., Baddeley, 2000; Baddeley et al., 2011; Cowan, 1988, 1995, 2005) permettra de montrer que le modèle TBRS est loin d'être le seul modèle à proposer l'existence d'un mécanisme de maintien général des informations qui permet, de fait, le maintien des informations verbales.

## ***2.2. Le rôle de l'attention dans le maintien en mémoire de travail: Fanuel\*, Jarjat\*, Tillmann, Hot, Plancher et Portrat (en préparation).***

Cet article, a été coécrit avec Lison Fanuel (Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs, Université Lyon 2), Barbara Tillmann (Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, Université Lyon 1) Pascal Hot (Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Université Savoie Mont-Blanc), Gaën Plancher (Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs, Université Lyon 2) et Sophie Portrat (Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Université Grenoble Alpes).

**Titre :** Maintien en mémoire de travail : le rôle de l'attention

**Auteurs :** Lison FANUEL <sup>a,b,c</sup> \*, Gabriel JARJAT <sup>d,e</sup> \*, Barbara TILLMANN <sup>b,c</sup> , Pascal  
HOT <sup>e</sup> , Gaën PLANCHER <sup>a</sup> \*\* & Sophie PORTRAT <sup>d</sup> \*\*

**Affiliations :**

<sup>a</sup> Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs, Université Lyon 2, Bron, FRANCE

<sup>b</sup> CNRS, UMR5292; INSERM, U1028; Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon,  
équipe Cognition Auditive et Psychoacoustique, Lyon, FRANCE

<sup>c</sup> Université Lyon 1, Lyon, FRANCE

<sup>d</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, LPNC, 38000 Grenoble, France

<sup>e</sup> LPNC, Univ. Savoie Mont blanc, 73000 Chambéry, France

\* Partage du statut de premier auteur

\*\* Partage du statut de dernier auteur



La mémoire de travail correspond à l'ensemble des processus mis en jeu pour maintenir, dans un état d'accessibilité privilégié, les informations nécessaires à la réalisation d'une tâche cognitive en cours (Cowan, 2017). Parmi ces processus, les processus attentionnels semblent avoir une importance particulière. En effet, de nombreux modèles placent ces processus au cœur du fonctionnement de la mémoire de travail, (e.g., Baddeley, 2012; Barrouillet & Camos, 2015; Cowan, 2005; Kane, Conway, Hambrick, & Engle, 2007; Oberauer, 2002). Dans cet article, nous présenterons le rôle de l'attention dans le maintien en mémoire de travail dans le modèle à composantes multiples (Baddeley, 2000; Baddeley & Hitch, 1974), dans le modèle des processus emboîtés de Cowan (1995, 1999, 2005) ainsi que dans le modèle de partage temporel des ressources attentionnelles (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet & Camos, 2015). Spécifiquement, nous verrons dans un premier temps que le modèle à composantes multiples suppose un rôle de l'attention dans le fonctionnement du central exécutif et du buffer épisodique, deux composantes du modèle sur lesquels, par conséquent, nous nous attarderons particulièrement. Par là même, nous verrons que le buffer épisodique est assimilé par Baddeley (2012) au concept de focus attentionnel proposé dans le modèle des processus emboîtés de Cowan. Nous aborderons ainsi, dans un second temps, le modèle de Cowan et plus particulièrement le focus attentionnel, placé au centre du fonctionnement de la mémoire de travail. Spécifiquement, nous verrons que le focus attentionnel soutient les fonctions de maintien et de traitement des informations en mémoire de travail. Cependant, nous verrons également que l'une des caractéristiques majeures du focus attentionnel est sa capacité limitée, nécessitant ainsi un partage de son utilisation entre les deux fonctions. Cette idée de partage du focus attentionnel étant au cœur de la description du fonctionnement de la mémoire de travail proposé par le modèle de partage temporel des ressources attentionnelles, nous présenterons ce modèle en dernier lieu. Nous verrons ainsi

que ce modèle propose un partage de l'attention temporellement contraint entre le maintien et le traitement des informations.

Cet article a aussi pour ambition de présenter les preuves empiriques en accord avec l'idée d'un rôle central de l'attention dans le maintien en mémoire de travail. Ainsi, à la suite de la présentation des différents modèles de mémoire de travail, nous présenterons des études comportementales qui soutiennent l'hypothèse de l'existence d'un mécanisme attentionnel nommé *rafraîchissement attentionnel*. En particulier, nous verrons que les possibilités de mise en œuvre de ce mécanisme peuvent être manipulées en faisant varier le coût cognitif d'une activité concurrente au maintien d'informations. Nous présenterons également des recherches qui permettent de mieux définir et de mieux comprendre ce mécanisme. Nous verrons ainsi que le rafraîchissement attentionnel est un mécanisme (1) amodal (e.g., Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2009, 2010), (2) complémentaire de la répétition subvocale (e.g., Camos, Lagner, & Barrouillet, 2009; Camos, Mora & Oberauer, 2011), (3) contrôlé volontairement (e.g., M. K. Johnson, Reeder, Raye, & Mitchell, 2002; Souza, Rerko, & Oberauer, 2014), (4) rapide (e.g., Vergauwe, Camos, & Barrouillet, 2014) et (5) qui consiste à réactiver les propriétés perceptives des traces mnésiques (Rey, Versace, & Plancher, 2018).

### **L'attention au cœur des modèles de mémoire de travail.**

#### *Modèle à composantes multiples : le rôle du central exécutif et du buffer épisodique*

Le chapitre publié par Baddeley et Hitch (Baddeley & Hitch, 1974) est à l'origine du modèle de mémoire de travail certainement le plus connu. Cette publication avait pour objectif d'explorer ce système<sup>8</sup> auquel on attribuait une place centrale dans l'apprentissage à long terme (Atkinson & Shiffrin, 1968, 1971; Waugh & Norman, 1965), la résolution de problèmes

---

<sup>8</sup> Appelé mémoire à court terme à cette période.

(Hunter, 1964) et la compréhension du langage (Rumelhart, Lindsay, & Norman, 1972). En effet, comme le notent Baddeley et Hitch (1974, pp. 47–48) « *malgré la fréquence avec laquelle on a attribué à la mémoire à court terme ce rôle de mémoire opérationnelle, ou mémoire de travail, les preuves empiriques d'une telle considération sont remarquablement rares* ». Les auteurs se sont donc attachés à répondre à la question suivante : les tâches de raisonnement, de compréhension et d'apprentissage reposent-elles sur l'utilisation d'un système de mémoire commun ? Pour cela, Baddeley et Hitch (1974) ont construit une série d'expériences où les participants devaient réaliser des doubles tâches incluant une activité de traitement d'informations et une activité de mémorisation. Plus précisément, les participants devaient réaliser une tâche de raisonnement verbal, de compréhension orale ou d'apprentissage de listes de mots tout en mémorisant des séries d'un, deux ou six chiffres. Les auteurs ont observé que les temps de réponse aux activités de traitement étaient affectés par l'introduction d'une charge mémorielle concurrente. La qualité des réponses aux activités de traitement n'était, quant à elle, que peu différente d'une condition sans tâche de mémorisation (voire strictement similaire lorsque la charge mémorielle était inférieure à 6 items). Pour Baddeley et Hitch (1974), la consistance de ce pattern de résultats à travers les différentes activités de traitement (raisonnement, compréhension, apprentissage) suggérait un système commun à ces différentes activités. Néanmoins, le fait que la qualité des performances de traitement ne soit pas (i.e., lors de la mémorisation d'un, deux chiffres), ou peu (i.e., lors de la mémorisation de six chiffres) affectées par une charge mémorielle concurrente suggérait, selon les auteurs, que le système de mémoire utilisé pour réaliser ces doubles tâches n'était sans doute pas complètement flexible. Pour Baddeley et Hitch (1974), la mémoire à court terme, qu'ils préfèrent nommer mémoire de travail, se composerait de plusieurs composantes. Une composante serait exclusivement réservée au maintien d'informations alors qu'une autre serait dévolue en priorité au traitement d'informations. Notons ici que cette interprétation est



basée sur l'analyse des bonnes réponses aux activités de traitement. Selon Barrouillet et Camos (2015), si Baddeley et Hitch avaient interprété leurs résultats au regard de l'augmentation des temps de réponses en présence d'une charge mnésique, et non au regard de la stabilité des bonnes réponses, la décomposition de la mémoire de travail en composantes multiples n'aurait sans doute pas été nécessaire. Nous développerons plus en détail cette idée dans la sous-section consacrée au modèle Time-Based Resource-Sharing (TBRS), développé par Barrouillet, Camos et leurs collaborateurs (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet & Camos, 2015). En effet, contrairement à Baddeley et Hitch (1974), qui conçoivent un fonctionnement de la mémoire de travail contraint par sa structure (i.e., différentes composantes), le modèle TBRS a été développé en plaçant des contraintes temporelles au cœur du fonctionnement de la mémoire de travail.

Bien que les bases du modèle à composantes multiples aient été posées dans la publication de 1974, il a été spécifié plus en détail dans une publication ultérieure (Baddeley, 1986). Dans ce modèle, la mémoire de travail est supposée être composée de différents sous-systèmes, ou composantes. Spécifiquement, la *boucle phonologique* et le *calepin visuo-spatial* sont les deux composantes en charge du maintien des informations, tandis que le *central exécutif* est la composante dévolue en priorité au traitement des informations. La boucle phonologique et le calepin visuo-spatial sont tous deux composés d'un espace de stockage passif des informations, verbales et visuo-spatiales respectivement, et d'un mécanisme de maintien, spécifique à la nature des informations de la composante. Ainsi, la boucle phonologique comprend un mécanisme de répétition pour les informations verbales et le calepin visuo-spatial comprend un mécanisme de répétition des informations visuo-spatiales. Inspiré du modèle de contrôle de l'action de Norman et Shallice (1980, 1986), le central exécutif est, quant à lui, assimilé à un système général de contrôle attentionnel mis en jeu dans des situations cognitives non routinières. À l'origine, Baddeley et Hitch (1974)

postulaient également que lorsque les capacités des composantes de maintien étaient dépassées, le central exécutif pouvait être impliqué dans le maintien des informations. Cependant, dans la publication de 1986, Baddeley ne fera plus mention de ce rôle, et l'hypothèse de l'implication de l'attention dans le maintien des informations sera abandonnée plus explicitement dans la publication de Baddeley et Logie (1999). Le central exécutif serait en charge exclusivement de la manipulation et du traitement des informations au travers de ses capacités à (i) diviser l'attention, (ii) orienter l'attention, (iii) focaliser l'attention et (iv) faire le lien entre mémoire de travail et mémoire à long terme (Baddeley, 1996; Baddeley & Logie, 1999).

Cette conceptualisation de la mémoire de travail séparée en trois sous-systèmes a été particulièrement fructueuse pour étudier et expliquer de nombreux résultats expérimentaux (voir Baddeley, 2000 pour une revue). Néanmoins, comme le note Baddeley lui-même (2000), des résultats expérimentaux restaient difficilement conciliables avec une telle modélisation de la mémoire de travail. Par exemple, empêcher l'utilisation de la boucle phonologique pour maintenir des informations verbales devrait avoir un effet considérable sur leur rappel subséquent. Pourtant, dans des conditions entravant l'utilisation de la boucle phonologique, la diminution des performances de rappel est loin d'être dramatique. Par exemple, Baddeley, Lewis et Vallar (1984) ont observé qu'entre une condition n'affectant pas la boucle et une condition perturbant son fonctionnement, le nombre moyen de chiffres rappelés passait de 7 à 5. Comment sont alors maintenues les informations dans ces conditions ? Une possibilité serait que lorsque la boucle phonologique n'est pas disponible, les informations sont stockées et maintenues dans le calepin visuo-spatial sous forme visuelle. Dans ce cas, empêcher l'utilisation de la boucle phonologique devrait rendre le maintien des informations très sensibles à des effets de similarités visuelles. À l'inverse de cette prédiction, Logie, Della Sala, Wynn et Baddeley (2000) ont observé que l'effet de similarité visuelle de listes de mots

et de listes de lettres à mémoriser était faible. De plus, l'effet de similarité visuelle n'était pas limité à la condition entravant l'utilisation de la boucle phonologique. Autrement dit, ce pattern de résultats indique que les informations verbales ne sont pas maintenues via le calepin visuo-spatial lorsque la boucle n'est pas disponible et que lorsque cette dernière est disponible, les informations ne sont pas uniquement maintenues sous forme phonologique, mais elles mêlent propriétés phonologiques et visuelles. Ainsi, Baddeley (Baddeley, 2000) propose d'ajouter au modèle une quatrième composante, le *buffer épisodique*, permettant, en lien avec le central exécutif, de créer, manipuler et stocker ces informations multidimensionnelles.

Baddeley (2000) décrit le buffer épisodique comme étant le sous-système, de capacité limitée, capable de stocker des informations sous forme multidimensionnelle. Le buffer épisodique fournit ainsi une interface entre les informations de différentes natures issues de la boucle phonologique, du calepin visuo-spatial, et de la mémoire à long terme. Le buffer épisodique est placé sous le contrôle du central exécutif, responsable de l'intégration (*binding*) de ces différentes informations en des épisodes multidimensionnels, stockés eux aussi dans le buffer épisodique. De plus, le maintien des informations dans le buffer épisodique dépend aussi des processus attentionnels du central exécutif (Repovs & Baddeley, 2006). En effet, contrairement à la boucle phonologique et au calepin visuo-spatial, le buffer épisodique ne comprend pas de mécanisme de maintien spécifique des informations puisque les informations qu'il contient sont de nature multidimensionnelle. Ainsi, en plaçant le central exécutif au centre du fonctionnement du buffer épisodique, l'attention est considérée comme un mécanisme général de maintien d'informations dans le modèle à composantes multiples.

En introduisant le buffer épisodique, le modèle à composantes multiples s'est détaché, au moins en partie, d'une séparation entre le domaine verbal et visuo-spatial qui était au cœur des versions précédentes du modèle. En effet, la considération des informations

multidimensionnelles par Baddeley a mis explicitement le doigt sur la nécessité, dans un modèle de mémoire de travail, d'intégrer un (ou des) mécanisme(s) de manipulation et de maintien général des informations, qui permet de rendre compte de notre capacité à créer, manipuler et maintenir des informations/épisodes multidimensionnels. Ces informations étant de nature multidimensionnelle, elles ne peuvent être maintenues par un mécanisme *spécifiquement* verbal ou visuo-spatial, mais nécessitent un mécanisme de maintien *général* de l'information qui, selon Baddeley et collègues, repose sur les processus attentionnels du central exécutif. Pour Baddeley (e.g., 2012), le buffer épisodique peut ainsi être explicitement rapproché du concept de focus attentionnel développé dans le modèle des processus emboîtés de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005).

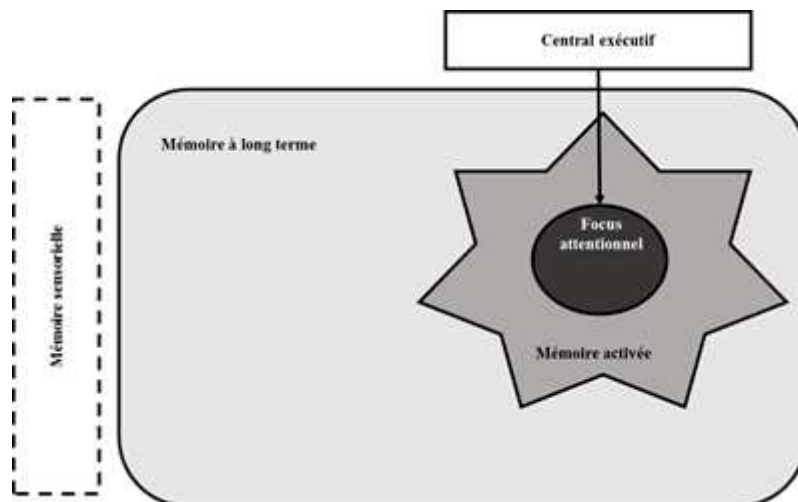
#### *Le focus attentionnel dans le modèle de Cowan*

L'attention, sous la forme du concept de *focus attentionnel*, est au centre du modèle des processus emboîtés proposé par Cowan (1988, 1995, 1999, 2005). Dans la continuité de Broadbent (e.g., 1958) et Atkinson et Shiffrin (1968, 1971), Cowan propose un modèle général de traitement de l'information qui se focalise principalement sur les contraintes mutuelles qui s'exercent entre processus attentionnels et mémoriels dans le fonctionnement cognitif. Dans ce modèle, lorsqu'un stimulus est perçu par un individu, il entre d'abord dans la *mémoire sensorielle* (voir aussi Atkinson & Shiffrin, 1968; Sperling, 1960), qui préserve ses propriétés physiques (e.g., acoustiques, visuelles, tactiles) pour une période de l'ordre de quelques centaines de millisecondes. En parallèle, les informations contenues dans la *mémoire à long terme* sous forme inactive et correspondant à ses propriétés physiques commencent à être activées, ce qui entraîne le codage du stimulus. L'ensemble de codes activés provenant de la mémoire à long terme et représentant le stimulus forme un sous-ensemble de la mémoire à long terme : la *mémoire activée*. Parmi les informations de la mémoire activée, un nombre

restreint peut être placée dans le *focus attentionnel* où elles sont directement disponibles pour être manipulées. Le focus attentionnel est donc constitué d'informations très fortement activées qui correspondent, selon Cowan, aux informations actuellement dans le champ de la conscience d'un individu. Les informations dans le focus attentionnel sont préservées des phénomènes d'oubli liés aux interférences ou au déclin temporel.

Pour Cowan (1988, 1995, 1999, 2005), il existerait deux voies d'accès au focus attentionnel. D'une part, le focus attentionnel pourrait être orienté automatiquement par des stimuli extérieurs particulièrement saillants (e.g., bruit fort, propre prénom) qui entreraient ainsi dans le focus attentionnel sans contrôle volontaire de l'attention. Néanmoins, tout comme dans le modèle à composantes multiples, Cowan décrit aussi un ensemble de processus en charge du contrôle volontaire de l'attention. Réunis au sein du *central exécutif*, ces processus volontaires permettent d'orienter le focus attentionnel vers des stimuli (informations externes) ou des informations de la mémoire activée ou la mémoire à long terme (informations internes). Ainsi, la deuxième voie d'accès au focus attentionnel serait sous le contrôle des individus *via* des processus volontaires d'orientation du focus attentionnel. En outre, le contrôle du contenu du focus attentionnel repose sur la capacité à volontairement détourner le focus attentionnel de certaines informations (e.g., Cowan, 2005). Ainsi, la conception du traitement de l'information dans le modèle de Cowan inclut un nombre restreint de composantes basiques (i.e., ensemble de processus) s'intégrant les uns avec les autres de manière hiérarchique (Figure 1). La mémoire de travail dans le modèle de Cowan est donc définie comme - *l'ensemble des processus mis en jeu pour maintenir, dans un état d'accessibilité privilégié, les informations nécessaires à la réalisation d'une tâche cognitive en cours* - et correspond à la combinaison des processus et contraintes de la mémoire activée, du focus attentionnel et du central exécutif. Les limites de capacité de la

mémoire de travail résultant des limites de ces différentes composantes, en particulier celles de la mémoire activée et du focus attentionnel, il convient de les présenter plus en détails.



**Figure 1.** Illustration simplifiée du modèle « des processus emboîtés » de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005).

Premièrement, selon Cowan, la mémoire activée est limitée temporellement. Cowan envisage deux sources d'oubli des informations en mémoire activée qui mèneraient, au-delà d'un certain temps, au retour des informations à leur état initial inactif en mémoire à long terme. Plus précisément, Cowan défend l'idée que les informations subissent une baisse d'activation non seulement du fait de phénomènes d'interférences, mais aussi par le simple passage du temps (i.e., déclin temporel). Deuxièmement, le focus attentionnel disposerait quant à lui d'une capacité limitée, qui peut être mesurée comme un nombre fixe d'informations complexes, ou *chunks*. Dans une revue de la littérature, Cowan (2001) présente plusieurs données empiriques qui convergent vers l'estimation d'une capacité du focus attentionnel limitée à  $4 \pm 1$  informations (Cowan, 2001, 2010; Cowan, Chen, & Roudier, 2003). Néanmoins, d'autres études suggèrent que la capacité du focus attentionnel est limitée à un seul élément (e.g., Garavan, 1998; McElree, 1998, 2001, 2006; Oberauer, 2002; Oberauer & Kliegl, 2006). Cette hypothèse est supportée, entre autres, par le fait que le dernier item d'une liste possède un niveau d'accessibilité privilégié comparé aux autres items.

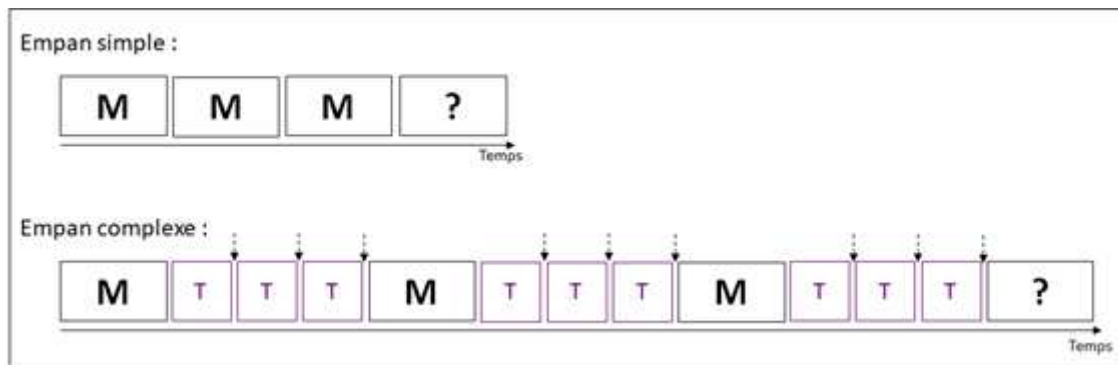
Par exemple, quand une liste d'items est présentée à des participants, suivie de la présentation d'une cible que les participants doivent juger comme présente ou absente de la liste présentée (i.e., tâche de reconnaissance de cible), les temps de réponse sont plus rapides quand la cible correspond au dernier item de la liste (e.g., McElree & Doshier, 1989; Öztekin, Davachi, & McElree, 2010; voir aussi Vergauwe et al., 2016; Vergauwe & Langerock, 2017). Ces résultats semblent incompatibles avec la conception d'un focus attentionnel limité à quatre éléments. En effet, dans la conception du focus attentionnel proposé par Cowan, les quatre derniers éléments présentés sont supposés être dans le focus attentionnel où ils ne sont ni sensibles aux interférences, ni sensibles au déclin temporel. Ainsi, les quatre derniers items devraient avoir un niveau d'accessibilité équivalent. Les temps de réponse pour ces quatre derniers éléments devraient donc être identiques entre eux, mais plus rapide que les items présentés en début de liste, qui pour leur part sont en dehors du focus attentionnel. Pour rendre compte de ces phénomènes, Cowan a proposé, dans un premier temps, l'idée d'une flexibilité du focus attentionnel pouvant 'zoomer' sur un seul élément mais aussi 'dézoomer', pour inclure jusqu'à quatre éléments (Cowan, 2001). Dans un second temps, Cowan a suggéré que les éléments dans le focus attentionnel ont des niveaux de priorité différents (e.g., Cowan, 2005, 2017b). Ainsi, les différents temps de réponse observés lors d'une tâche de reconnaissance de cible s'expliquent par le fait que le dernier item présenté aurait un niveau de priorité plus élevé que les autres items de la liste.

Selon Cowan (1999), le focus attentionnel a une fonction similaire à la répétition subvocale du modèle à composantes multiples. Ainsi, l'activation des items de la mémoire activée peut être maintenue en faisant circuler les informations dans le focus attentionnel. Le focus peut être dirigé intentionnellement dans ce but précis, mais les processus du central exécutif peuvent également accomplir des opérations particulières qui réactivent les items en mémoire. Par exemple, lors d'une recherche parmi un ensemble d'items (*memory search*),

chaque item entrerait brièvement dans le focus attentionnel pour être examiné et se retrouverait par là-même réactivé (Cowan, 1992; Cowan et al., 1998). De récents travaux corroborent cette hypothèse de l'implication de la recherche en mémoire comme mécanisme de maintien de l'information (Vergauwe & Cowan, 2014, 2015). Les items stockés dans la mémoire activée peuvent donc être réactivés et maintenus en mémoire grâce au focus attentionnel.

Le cadre théorique proposé par Cowan a récemment permis d'interpréter des résultats expérimentaux en apparence contre-intuitifs. Dans une série d'expériences, McCabe (2008) a montré que les performances de rappel immédiat étaient meilleures dans des tâches d'empan simple (i.e., présentation de séries d'items que les participants doivent rappeler) que dans des tâches d'empan complexe (i.e., présentation de séries d'items que les participants doivent rappeler avec une activité de traitement concurrente présentée avant chaque item à mémoriser, voir Figure 2). Ce pattern de résultats, jusque-là tout à fait en accord avec la littérature, s'inverse néanmoins dans le cas d'un rappel différé des informations. Plus précisément, les informations mémorisées dans une condition impliquant des activités de traitement concurrentes à la mémorisation d'items étaient mieux rappelées à plus long terme que les informations mémorisées dans une condition d'empan simple.





**Figure 2.** Représentation schématique des paradigmes d'empan simple et d'empan complexe. M et T réfèrent aux items à maintenir et à traiter, respectivement. Le point d'interrogation indique le moment du rappel. Les flèches en pointillés indiquent les moments où la récupération silencieuse peut avoir lieu (d'après McCabe, 2008).

Pour McCabe (2008), ces résultats reflètent la dynamique du flux des informations entre focus attentionnel et mémoire à long terme dans les modèles intégrés de la mémoire de travail tel que celui de Cowan. Plus précisément, lorsque le focus attentionnel est occupé pour réaliser l'activité de traitement d'une tâche d'empan complexe, les informations à mémoriser sont déplacées dans la partie activée de la mémoire à long terme. Le mécanisme de recirculation des informations dans le focus attentionnel que propose Cowan nécessite donc, dans un premier temps, que les informations en mémoire à long terme soient récupérées. Dans les tâches d'empan complexe, ce processus de récupération, que McCabe nomme récupération silencieuse (*covert retrieval*), interviendrait après chaque épisode de traitement (Figure 2). Selon McCabe, chaque récupération des informations favoriserait la création d'indices contextuels qui seraient utilisés lors de la phase de rappel différé, où les informations préalablement encodées doivent être récupérées de la mémoire à long terme. La meilleure performance de rappel différé des informations vues lors d'une tâche d'empan complexe comparé au rappel des informations vues lors d'une tâche d'empan simple (McCabe, 2008) proviendrait ainsi de la mise en place de récupérations silencieuses dans la première procédure (voir aussi Jarjat, Hoareau, et al., 2018; Souza & Oberauer, 2017b pour une interprétation en termes de temps disponible pour le maintien).

Comme le note McCabe (2008), cette interprétation permet non seulement de distinguer les performances de rappel à long terme entre des situations de mémorisation simple et complexe, mais aussi de prédire la performance de rappel au sein même d'une liste d'items appris dans une tâche d'empan complexe. En effet, comme le processus de récupération intervient après chaque épisode de traitement, les premiers items de la liste ont plus d'opportunités d'être récupérés. Les premiers items de la liste seront donc susceptibles d'être associés à plus d'indices de récupération à long terme que les derniers items de la liste, permettant de meilleures performances de rappel. En accord avec cette prédiction, McCabe (2008) a observé que la probabilité de rappel différé des items présentés dans une situation de tâche d'empan complexe était fonction de leur position dans la liste. Plus précisément, les premiers items de la liste, bénéficiant de plus d'opportunités de récupération pendant la tâche, sont mieux rappelés que les derniers items de la liste (voir aussi Loaiza & McCabe, 2012, 2013).

En résumé, dans le modèle de Cowan, l'attention permettrait de maintenir temporairement actives des informations du fait de leur réactivation lorsqu'elles sont placées dans le focus attentionnel. De plus, les travaux de McCabe (e.g., Loaiza & McCabe, 2012, 2013; Loaiza, McCabe, Youngblood, Rose, & Myerson, 2011; McCabe, 2008) suggèrent que la recirculation des informations au sein du focus attentionnel aurait un effet supplémentaire sur ces informations : elle permettrait de favoriser la création d'indices contextuels bénéfiques pour le rappel à long terme. Rappelons toutefois que l'attention est aussi bien impliquée dans le maintien des informations que dans les traitements inhérents à n'importe quelle tâche cognitive non automatisés (Cowan, 2001). Ainsi, il y a conflit entre maintien et traitement contrôlé des informations en mémoire de travail (C. C. Morey & Cowan, 2004), conflit qui doit être géré par un partage des ressources attentionnelles. Cette notion de partage des ressources attentionnelles est au cœur du modèle de mémoire de travail nommé TBRS pour

*Time-Based Resource-Sharing* (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2015; Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011).

### *L'attention dans le modèle Time-Based Resource-Sharing*

Les prémices du modèle TBRS ont été posées par Barrouillet et Camos (2001), puis le modèle a été décrit plus précisément quelques années plus tard au travers de quatre principes rendant compte du fonctionnement de la mémoire de travail (Barrouillet et al., 2004). Selon le premier principe, les mécanismes qui sous-tendent le traitement et le maintien d'informations en mémoire de travail reposent sur l'attention, une ressource limitée (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007), qui ne peut être portée que sur un élément à la fois (e.g., Oberauer, 2002). En découle le deuxième principe du modèle, à savoir que les activités de maintien et de traitement de l'information de la mémoire de travail sont effectuées de manière séquentielle. Autrement dit, deux activités cognitives nécessitant de l'attention sont effectuées l'une après l'autre, ce qui implique que l'attention n'est pas disponible pour le maintien d'items à mémoriser lorsqu'elle est dévolue à la manipulation d'informations, et *vice versa*. Selon le troisième principe, dès que l'attention n'est plus engagée dans le maintien des informations, et se porte sur le traitement d'autres informations, l'activation des items à mémoriser souffre d'un déclin temporel qui se traduit par l'effacement progressif des traces mnésiques (voir Ricker, Vergauwe, & Cowan, 2016, pour une revue). Par conséquent, un mécanisme permettant de « rafraîchir » ces traces, c'est-à-dire les réactiver, est nécessaire pour éviter qu'elles ne disparaissent. Ce rafraîchissement serait initié par une focalisation attentionnelle portée tour à tour sur chaque trace mémorielle. Enfin, le quatrième principe du modèle concerne le partage temporel de l'attention lors de la réalisation d'une activité cognitive complexe. Spécifiquement, dès que le traitement d'une information est terminé, l'attention serait réorientée vers le maintien des informations à mémoriser. Ainsi,

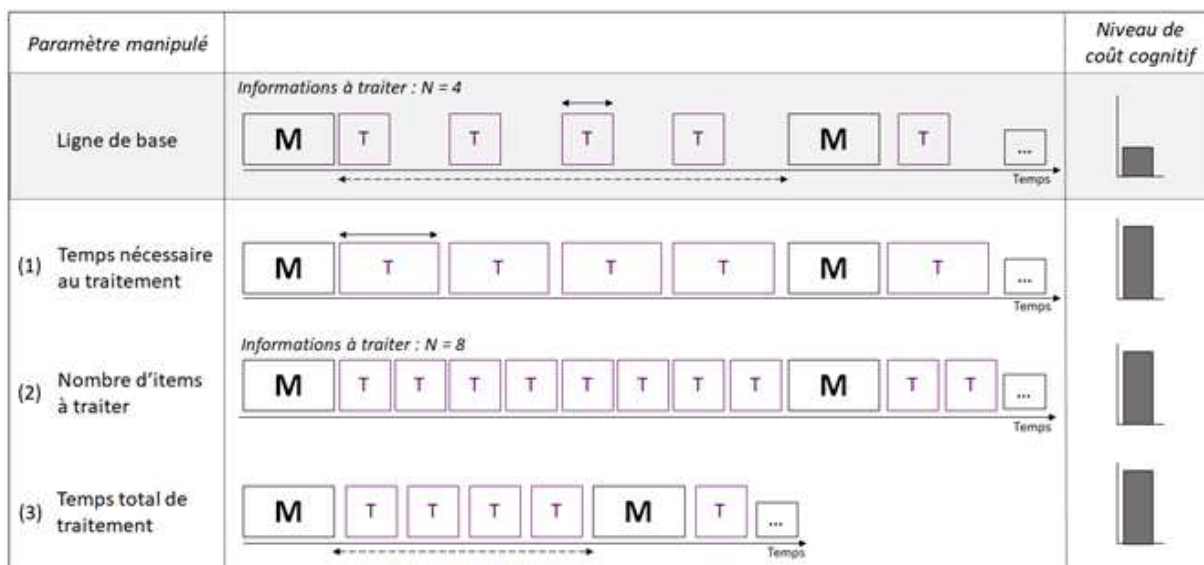
le modèle TBRS décrit un partage attentionnel qui correspond à une alternance rapide et incessante de la focalisation attentionnelle entre informations à traiter et informations à maintenir.

Sur la base de ces postulats, Barrouillet et collaborateurs proposent que la manipulation du coût cognitif de l'activité de traitement permet de moduler la quantité de temps disponible pour le rafraîchissement attentionnel des informations à mémoriser (Barrouillet et al., 2007). Le coût cognitif est décrit comme la proportion de temps nécessaire à la réalisation de la tâche de traitement par rapport au temps total disponible pour la réaliser. Généralement, le coût cognitif est manipulé au sein d'une tâche d'empan complexe, où des items à mémoriser et des items à traiter sont présentés alternativement (Barrouillet et al., 2004, 2007; Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2009, 2010, Figure 2). Évaluer le coût cognitif imposé par la tâche concurrente revient à résoudre l'équation suivante (Barrouillet et al., 2007) :

$$CC = \frac{n * T_{\text{Traitement}}}{T_{\text{Total}}}$$

où  $n$  est le nombre d'informations à traiter,  $T_{\text{Traitement}}$  le temps de capture attentionnelle pour le traitement d'un item et  $T_{\text{Total}}$  le temps total disponible pour réaliser la tâche de traitement. Pour modifier le coût cognitif d'une tâche, il est ainsi possible de manipuler (i) le temps nécessaire à la réalisation du traitement ( $T_{\text{Traitement}}$ ), (ii) le nombre d'informations à traiter ( $n$ ), ou (iii) le temps total disponible ( $T_{\text{Total}}$ ), c'est-à-dire le rythme de présentation de la tâche de traitement (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2012, Figure 3). Puisque l'attention serait partagée de façon séquentielle entre les activités de maintien et de traitement, la manipulation du coût cognitif de la tâche concurrente au maintien permet une manipulation indirecte de la quantité de temps disponible pour le rafraîchissement attentionnel. Augmenter la proportion de temps occupée par la tâche de traitement (i.e., augmenter son coût cognitif)

diminue le temps disponible pour le maintien attentionnel des informations en mémoire de travail (Barrouillet et al., 2007; Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011) et, par conséquent, affecte les performances de rappel.



**Figure 3.** Trois façons de moduler le coût cognitif de la tâche concurrente au maintien. M correspond à un memoranda, T à un item à traiter. Les flèches pleines correspondent au temps (supposé) nécessaire au traitement d'un item. Les flèches pointillées correspondent au temps total disponible pour la tâche de maintien.

En résumé, l'attention semble jouer un rôle central dans le fonctionnement de la mémoire de travail. Dans le modèle à composantes multiples (Baddeley, 2000), les processus attentionnels du central exécutif permettraient de créer et de manipuler des informations multidimensionnelles stockées dans le buffer épisodique. D'après le modèle des processus emboîtés (Cowan, 1988, 1995, 1999, 2005) et le modèle du partage temporel des ressources (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2015), l'attention, médiatisée par le focus attentionnel, serait centrale dans le maintien des informations, indépendamment de leur nature (verbales, visuelles, multidimensionnelles). Ce maintien des informations résulterait d'un phénomène de réactivation (e.g., Barrouillet et al., 2004; Cowan, 1995) ou de la création d'indices de récupération à plus long terme (e.g., McCabe, 2008).

### **Études empiriques du rafraîchissement attentionnel**

De nombreuses études se sont intéressées au mécanisme attentionnel dans le maintien d'informations en mémoire de travail. Une des méthodes les plus couramment employées pour étudier ce mécanisme consiste à faire varier le coût cognitif de la tâche concurrente au maintien, afin de manipuler la proportion de temps disponible pour le rafraîchissement (e.g., Barrouillet et al., 2007; Barrouillet et al., 2011; voir Barrouillet & Camos, 2015). D'autres méthodes ont consisté à demander explicitement aux participants d'utiliser le rafraîchissement (e.g., M. K. Johnson et al., 2002) ou à estimer le temps nécessaire pour rafraîchir une information (e.g., Fanuel, Plancher, Monsaingeon, Tillmann, & Portrat, 2018; Vergauwe et al., 2014; Vergauwe & Cowan, 2014). Les résultats de ces études supportent l'hypothèse de l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le maintien en mémoire de travail. La nature du mécanisme de rafraîchissement attentionnel a également été étudiée, suggérant que le rafraîchissement attentionnel consiste en la réactivation de traces mnésiques.

#### *L'effet du coût cognitif*

Manipuler le temps disponible pour le rafraîchissement attentionnel en modulant le coût cognitif de la tâche concurrente au maintien permet d'étudier l'implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations. Si le rafraîchissement est nécessaire au maintien des informations à mémoriser, alors davantage de temps disponible pour le rafraîchissement de ces informations est bénéfique pour leur rappel. À l'inverse, une augmentation du coût cognitif de la tâche concurrente aura pour conséquence une diminution des performances de rappel de ces informations. L'effet du coût cognitif a été observé sur la mémorisation d'informations de différentes natures (i.e., verbales et visuo-spatiales), suggérant que le mécanisme de rafraîchissement serait un mécanisme amodal, et pourrait être utilisé de façon conjointe avec les mécanismes spécifiques décrit dans le modèle de Baddeley (i.e., boucle phonologique et calepin visuo-spatial ; Baddeley & Hitch, 1974).

### Un mécanisme amodal

Par exemple, Vergauwe et collaborateurs (2009) ont mis en évidence un partage des ressources entre le maintien et le traitement d'informations visuelles et spatiales. Pour cela, les auteurs ont utilisé un paradigme d'empan complexe où les participants devaient mémoriser des informations visuelles (e.g., des idéogrammes chinois) ou spatiales (e.g., des mouvements). Si le maintien et le traitement d'informations visuelles et spatiales reposent sur une même ressource (i.e., l'attention), une augmentation du coût cognitif de la tâche de traitement, quelle que soit sa nature (visuelle ou spatiale), devrait affecter négativement les performances de rappel d'information tant visuelles que spatiales. Le même pattern de résultat a été mis en évidence lorsque la nature des informations à maintenir et à traiter était soit verbale soit spatiale (e.g., position spatiale de carrés Vergauwe et al., 2010; Vergauwe, Dewaele, Langerock, & Barrouillet, 2012). Un effet du coût cognitif était présent à la fois lorsque les informations à traiter et à mémoriser étaient de même nature (i.e., verbale ou spatiale), mais également lorsque la nature de ces informations différait entre maintien et traitement. Ainsi, un pool de ressources, l'attention, serait non seulement partagée entre les activités de maintien et de traitement, mais également ne dépendrait pas de la nature (i.e., visuelle, spatiale ou verbale) de ces informations. Défini comme tel, ce pool de ressources attentionnelles semble similaire au buffer épisodique décrit par Baddeley comme permettant le maintien et la manipulation d'informations indépendamment de leur nature grâce aux processus attentionnels du central exécutif (Baddeley, 2000, 2012; Repovs & Baddeley, 2006).

### Un mécanisme complémentaire

D'après les travaux de Baddeley (Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974; Salamé & Baddeley, 1986), les informations verbales peuvent être maintenues actives via la

récapitulation subvocale qui correspond au mécanisme de maintien des informations verbales de la boucle phonologique. L'effet de similarité phonologique et l'effet de longueur de mots sont classiquement utilisés pour mettre en évidence l'utilisation de cette boucle phonologique dans le maintien d'informations verbales. L'effet de similarité phonologique repose sur le constat qu'une liste de mots phonologiquement proches est moins bien rappelée qu'une liste contenant des mots phonologiquement distincts. Il est considéré comme un soutien à l'hypothèse que le maintien d'informations verbales repose sur un codage phonologique (Baddeley, 1966). L'effet de longueur de mots repose sur le constat qu'une liste de mots longs est moins bien rappelée qu'une liste de mots courts (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975). Le maintien des mots en mémoire semble dépendre du temps nécessaire à leur articulation, suggérant qu'il repose sur la récapitulation subvocale. La disparition de ces deux effets (similarité phonologique et longueur de mots) lorsque la boucle phonologique est occupée par une tâche de suppression articulaire suggère que la boucle phonologique ne peut pas être utilisée pour le maintien d'informations verbales lorsqu'elle est occupée par une articulation concurrente, constituant une preuve de son implication dans le maintien d'informations verbales. Dans ce cas, il est possible d'imaginer qu'un mécanisme de rafraîchissement attentionnel puisse prendre le relai pour assurer le maintien d'informations verbales.

En accord avec cette proposition, Hudjetz et Oberauer (2007) ont mis en évidence que le maintien d'informations verbales peut se faire par le biais d'un autre mécanisme que la répétition subvocale, classiquement décrite en référence au modèle à composantes multiples (Baddeley, 2000; Baddeley & Hitch, 1974). Dans une tâche d'empan de lecture issue de Saito et Miyake (2004), les auteurs ont manipulé la vitesse de lecture qui pouvait être libre (i.e., au rythme du participant) ou à un rythme constant et continu, contraint par la présence d'un signal sonore indiquant quand lire les segments de phrases. Imposer un rythme continu de lecture permettait, dans cette deuxième condition, de s'assurer que la boucle phonologique



était constamment occupée. Hudjetz et Oberauer (2007) ont également manipulé la vitesse de présentation lente ou rapide des mots constituant la phrase, variant alors la quantité de temps disponible pour procéder à un maintien de l'information et donc le coût cognitif de la tâche concurrente. Les performances de mémorisation étaient meilleures quand le rythme de lecture était libre plutôt que continu, et étaient meilleures quand les temps de présentation étaient lents plutôt que rapides. Afin de mesurer le nombre d'opportunités de répétition subvocale dans ces différentes conditions expérimentales, une seconde expérience aux modalités identiques (rythme de lecture libre ou continu, vitesse de présentation des phrases lente ou rapide) demandait aux participants de prononcer un mot monosyllabique, indiqué au début de chaque essai, dès que possible et autant de fois que possible pendant la tâche de lecture à haute voix. Davantage de mots monosyllabiques étaient prononcés lorsque les phrases étaient lues à un rythme libre plutôt que continu. Lorsque le rythme de lecture était libre, le nombre de mots monosyllabiques prononcés était plus important quand la vitesse de présentation était lente plutôt que rapide. En revanche, lorsque le rythme de lecture était continu, le nombre de mots monosyllabiques prononcés était très faible, et ce quelle que soit la vitesse de présentation. Ces données mettent en évidence un maintien actif d'informations en mémoire de travail même lorsque la boucle phonologique n'est pas disponible. En effet, dans la condition lecture continue, bien que les participants n'aient presque pas de temps pour prononcer des mots en plus des phrases à lire, les performances de rappel n'étaient pas pour autant nulles. De plus, le ralentissement de la présentation des phrases à lire améliorerait les performances de rappel mais n'influencerait que dans une moindre mesure le nombre de mots prononcés, suggérant l'implication d'un mécanisme autre que la récapitulation subvocale dans le maintien d'informations verbales. Puisque les performances de rappel étaient meilleures lorsque le coût cognitif de la tâche concurrente était faible (i.e., temps de présentation plus

lent) plutôt qu'élevé, le mécanisme impliqué dans le maintien d'informations verbales pourrait être le rafraîchissement attentionnel (Hudjetz & Oberauer, 2007).

L'hypothèse de l'implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations verbales a été adressée plus directement par Camos, Lagner et Barrouillet (2009) en manipulant orthogonalement la disponibilité de la récapitulation articulatoire et du rafraîchissement attentionnel. Dans une tâche d'empan complexe, les participants devaient mémoriser des lettres entre lesquelles étaient intercalés des items à traiter. Dans une première expérience, l'utilisation de la récapitulation subvocale pour le maintien était empêchée par une tâche nécessitant une articulation concurrente (i.e., lecture d'opérations arithmétiques). La manipulation du coût cognitif de cette tâche modulait les performances de rappel. Les résultats montrent de meilleures performances lorsque le coût cognitif était faible (e.g., lire «  $5 + 3 = 8$  ») plutôt qu'élevé (e.g., résoudre «  $5 + 3 = ?$  » à voix haute), suggérant l'implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations verbales lorsque la récapitulation subvocale n'est pas disponible. Dans une seconde expérience, les opérations étaient remplacées par une tâche de jugement de parité. La tâche de jugement de parité pouvait se faire soit à l'aide du clavier (i.e., presser une touche spécifique pour indiquer si le chiffre est pair ou impair) soit à l'oral (i.e., répondre à voix haute « pair » ou « impair »). En comparaison avec la réponse clavier, la réponse orale nécessitait l'utilisation de processus verbaux et avait pour conséquence une diminution des performances de rappel. Ces résultats mettent en évidence une utilisation de la récapitulation subvocale pour le maintien d'informations verbales en mémoire de travail lorsque l'attention est occupée par la tâche concurrente de parité. Ces deux expériences constituaient la première indication de la possibilité d'utiliser la récapitulation subvocale ou le rafraîchissement attentionnel pour le maintien d'informations verbales en mémoire de travail.

Pour mieux comprendre l'implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations verbales, les travaux de Camos et collaborateurs se sont intéressés aux effets de similarité phonologique (Camos, Mora, & Barrouillet, 2013; Camos, Mora, & Oberauer, 2011) et de longueur de mots (Mora & Camos, 2013) en manipulant le coût cognitif de la tâche concurrente au maintien. La disparition des effets de similarité phonologique et de longueur de mots observés dans ces études en situation de suppression articulaire réplique les travaux précédents (Baddeley, 1966; Baddeley et al., 1975) mettant en évidence l'implication d'un mécanisme spécifique à la modalité verbale dans le maintien de mots. Le coût cognitif était manipulé en présentant ou non une tâche concurrente impliquant un traitement spatial (e.g., jugement de positions spatiales) durant l'intervalle de maintien. La diminution des performances de rappel lorsque le coût cognitif est élevé met en évidence qu'un système non-spécifique au domaine verbal intervient également dans le maintien d'informations verbales. Finalement, le coût cognitif de la tâche concurrente non-verbale n'affecte ni l'effet de longueur de mot ni l'effet de similarité phonologique, suggérant alors que la récapitulation subvocale est à l'œuvre pour le maintien en mémoire dans cette situation. Ces résultats mettent en évidence l'implication d'un mécanisme (i) sensible à la taxation de ressources attentionnelles par la tâche concurrente et (ii) ne dépendant pas des caractéristiques phonologiques des memoranda.

Lorsqu'une tâche concurrente requiert beaucoup de ressources attentionnelles et l'utilisation de processus verbaux (e.g., jugement de parité avec réponse orale), l'oubli est plus important que lorsque la tâche requiert l'utilisation de processus verbaux mais moins de ressources attentionnelles (e.g., dire un mot lorsqu'un point noir apparaît à l'écran) ou beaucoup de ressources attentionnelles mais une moindre utilisation des processus verbaux (e.g., jugement de parité avec réponse clavier). En revanche, lorsque la tâche concurrente nécessite à la fois une faible utilisation des processus verbaux et peu de ressources

attentionnelles (e.g., détecter une cible en appuyant sur une touche du clavier), les performances de rappel sont meilleures que lorsque davantage de ressources attentionnelles ou verbales sont utilisées par la tâche concurrente. Ainsi, lorsque la récapitulation subvocale et le rafraîchissement attentionnel sont tous deux disponibles, leur utilisation conjointe pour le maintien d'informations verbales semble possible et permet un maintien plus efficace que lors de l'utilisation d'un seul mécanisme (Camos, 2015; Camos & Barrouillet, 2014; Camos et al., 2009; Camos, Lagner, & Loaiza, 2017; Mora & Camos, 2015).

Combinant l'effet de similarité phonologique des informations à mémoriser et l'effet du coût cognitif de la tâche concurrente, Camos, Mora et Oberauer (2011, expérience 1) ont cherché à savoir si les mécanismes de maintien disponibles pour des informations verbales (i.e., récapitulation subvocale et rafraîchissement attentionnel) pouvaient être utilisés de façon adaptative par les participants. La similarité phonologique du matériel à mémoriser était manipulée, ainsi que le coût cognitif de la tâche concurrente qui consistait soit à détecter l'apparition d'un carré (coût cognitif faible) soit à juger sa localisation sur l'écran (haut vs. bas, coût cognitif élevé). L'effet de similarité phonologique était observé en présence d'un coût cognitif élevé, requérant davantage de ressources attentionnelles, mais disparaissait avec un coût cognitif faible. Ainsi, lorsque la demande attentionnelle était faible, le rafraîchissement attentionnel était utilisé pour le maintien, supprimant alors l'effet de similarité phonologique. En revanche, lorsque la tâche concurrente au maintien demandait davantage de ressources attentionnelles, les informations verbales étaient maintenues par le biais de la récapitulation subvocale. L'utilisation du rafraîchissement attentionnel ou de la récapitulation subvocale semble adaptative puisqu'elle dépend de la disponibilité de l'un ou l'autre des mécanismes. Les instructions données aux participants influencent également le recours à l'un ou l'autre des mécanismes, mettant en évidence que leur utilisation peut être intentionnelle (Camos et al., 2011, expériences 2 et 3). Si la consigne indique de penser à

l'information à maintenir (i.e., la rafraîchir), l'effet de similarité phonologique disparaît, même lorsque la charge attentionnelle de la tâche concurrente est importante. En revanche, l'effet de similarité phonologique est présent lorsque la récapitulation subvocale est volontairement utilisée suite à l'instruction de maintenir les informations en les répétant en silence, et ce même lorsque le rafraîchissement attentionnel est disponible pour le maintien (coût cognitif faible). Ce résultat conforte l'hypothèse de l'implication du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations verbales, et met en évidence que l'utilisation de ce mécanisme peut être contrôlée volontairement.

#### *Effets bénéfiques de consignes explicites d'utilisation du rafraîchissement*

Les travaux princeps de Johnson et collaborateurs (Johnson et al., 2002) ont mis en évidence des effets d'instructions explicites de rafraîchissement sur les performances de rappel. Les participants devaient lire des mots présentés à l'écran. La présentation d'un mot pouvait être répétée, suivie d'un nouveau mot ou suivie d'un point. Le point indiquait aux participants qu'ils devaient penser brièvement à l'information qu'ils venaient juste de voir mais qui n'était plus perceptivement présente, c'est-à-dire rafraîchir le mot qui venait d'être présenté, et le dire à voix haute. Les temps de réponse étaient plus longs lorsque les mots devaient être rafraîchis plutôt que lus, et ce indépendamment de la nouveauté du mot présenté, mettant en avant la nécessité d'une durée supplémentaire pour le rafraîchissement. Lors d'une phase de reconnaissance subséquente, les mots répétés étaient mieux reconnus que les mots présentés une seule fois. Cependant, les performances de reconnaissance étaient meilleures pour les mots rafraîchis que pour les mots répétés, suggérant un bénéfice du rafraîchissement attentionnel dans la mémorisation d'informations à long terme. Contrairement au modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004, 2011; Barrouillet & Camos, 2015), par exemple, la conception du rafraîchissement attentionnel proposée par Johnson (1992) ne distingue pas un mécanisme

général (i.e., le rafraîchissement) d'un mécanisme spécifique au maintien d'informations verbales (i.e., la récapitulation articulatoire), alors que ce dernier pourrait être impliqué dans les paradigmes de rafraîchissement explicite de matériel verbal (e.g., Johnson et al., 2002). D'après Johnson (1992), le rafraîchissement attentionnel est un mécanisme élémentaire du système cognitif qui consiste à allouer de l'attention à une information qui n'est plus perceptivement présente de façon à pouvoir l'utiliser facilement. La différence entre répéter un mot qui n'est plus perceptivement présent et lire un mot répété est la présence perceptuelle du mot. Lorsque le mot n'est pas perceptivement présent, il est nécessaire de le remettre dans le focus attentionnel pour pouvoir ensuite le répéter. En ce sens, la conception de Johnson (1992) rejoint celle de la focalisation attentionnelle proposée par le modèle des processus emboîtés Cowan (1988, 1995, 1999, 2005) comme permettant la réactivation des traces mnésiques.

Le bénéfice du rafraîchissement attentionnel volontaire dans le maintien d'informations a aussi été étudié à l'aide d'un paradigme de rétro-indiçage. Le rétro-indiçage consiste à présenter un indice spatial au cours de l'intervalle de rétention (i.e., entre l'encodage et le rappel). À l'apparition de l'indice, les participants ont pour consigne de penser à l'item qui était préalablement présent à la position indiquée (voir Souza & Oberauer, 2016, pour une revue des données empiriques d'un guidage de l'attention par le rétro-indiçage). La présence de cet indice améliore alors le rappel de l'item indicé (Souza, Rerko, & Oberauer, 2014, 2015), suggérant que cet indice influe sur le contenu de la mémoire de travail. Les données expérimentales fournies par Souza et collaborateurs (2014) suggèrent deux modes d'actions possibles permettant d'expliquer ce bénéfice. Premièrement, en indiquant l'item à maintenir, la présence du rétro-indice peut permettre de supprimer les items non-pertinents, libérant ainsi des capacités attentionnelles pouvant être utilisées pour le maintien de l'item pertinent. Deuxièmement, la présence du rétro-indice permet de guider

l'attention vers cet item, augmentant l'accessibilité de la représentation et résultant en un renforcement de sa trace mnésique (Souza & Oberauer, 2016). De façon cohérente avec cette seconde hypothèse, la fréquence à laquelle un item est indicé durant l'intervalle de maintien module les performances de rappel subséquent de l'item (Souza, Vergauwe, & Oberauer, 2018). Ainsi, plus l'attention est dirigée vers l'item pertinent, plus la trace mnésique de cet item est forte, et meilleur est son rappel. L'ensemble de ces résultats suggère que penser brièvement à une information qui n'est plus perceptivement présente (i.e., la rafraîchir) permet de renforcer la trace en mémoire et suggère une nouvelle fois l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dans le maintien d'informations en mémoire de travail.

#### *Mesure comportementale du temps nécessaire au rafraîchissement*

Quelques études se sont intéressées à caractériser la dynamique temporelle du rafraîchissement attentionnel (Fanuel et al., 2018; Vergauwe et al., 2014; Vergauwe & Cowan, 2014). Vergauwe et collaborateurs (2014) proposent des mesures du temps nécessaire au rafraîchissement d'une information à travers sept expériences. Dans un paradigme de type Brown-Peterson, des informations à mémoriser dont la quantité variait d'un essai sur l'autre (de zéro jusqu'à cinq ou sept items selon les expériences) étaient séquentiellement présentées et suivies d'une tâche de traitement (de nature différente en fonction des expériences), puis du rappel sériel des memoranda. La vitesse de présentation des items à traiter dépendait des temps de réponse du participant : dès qu'une réponse était donnée, l'item suivant apparaissait. Les temps de réponse à la tâche de traitement constituaient la variable d'intérêt, même si les consignes données aux participants insistaient sur l'importance de la tâche de mémorisation. La nature des informations à mémoriser et à traiter – visuelle, spatiale ou verbale – variait au sein des sept expériences. Les résultats ont montré que lorsque les informations ne pouvaient pas être maintenues à l'aide de la récapitulation subvocale - soit parce qu'elles n'étaient pas de nature verbale, soit parce que la récapitulation subvocale était occupée par une tâche de

suppression articulatoire -, les temps de réponse à la tâche de traitement étaient ralentis. Ce ralentissement était fonction du nombre d'items à mémoriser et croissait linéairement à mesure que le nombre de memoranda augmentait, à raison d'environ 50 millisecondes par item supplémentaire. Lorsque la récapitulation subvocale pouvait être utilisée pour maintenir les memoranda, le pattern de ralentissement des temps de traitement était différent. Si la récapitulation articulatoire était suffisante au maintien des items, alors un léger ralentissement de 20 millisecondes par memoranda supplémentaire était observé. Cependant, lorsque la quantité d'informations à maintenir était plus importante et nécessitait le recours au rafraîchissement attentionnel, alors un ralentissement de 70 millisecondes par item supplémentaire était observé - soit 50 millisecondes supplémentaires par rapport au ralentissement dû à l'utilisation de la récapitulation articulatoire. Enfin, lorsque les participants devaient mémoriser la police de caractère d'une lettre (une information ne pouvant supposément pas être rafraîchie), alors les temps de réponses ne dépendaient pas du nombre de memoranda. Cependant, les temps de réponse au premier item à traiter, proposé comme reflétant la consolidation en mémoire suivant immédiatement la présentation des informations à mémoriser (Ricker, Nieuwenstein, Bayliss, & Barrouillet, 2018; Vergauwe et al., 2014) étaient impactés par le nombre de memoranda. Cette consolidation pourrait expliquer que les items aient pu être rappelés, bien qu'ils ne semblent pas avoir été rafraîchis.

Le maintien d'une information en mémoire de travail via le rafraîchissement attentionnel – seul ou en addition de la boucle phonologique – nécessiterait environ 50 millisecondes. Cette mesure est congruente avec les résultats de la méta-analyse de Vergauwe et Cowan (2014). Les analyses des temps de réponse à des tâches secondaires dans différents paradigmes de mémoire de travail (paradigmes de Brown-Peterson, d'empan complexe et de période psychologique réfractaire) mettent en évidence un ralentissement de la vitesse de réponse en fonction du nombre d'informations à mémoriser à raison de 35 à 40 millisecondes



par item supplémentaire. Ces résultats suggèrent qu'un mécanisme cognitif commun serait à l'œuvre dans l'ensemble de ces tâches. Un délai supplémentaire d'environ 50 millisecondes semble nécessaire au maintien d'un item en mémoire de travail, suggérant l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le maintien en mémoire de travail (voir toutefois Fanuel et al., 2018, rapportant un temps nécessaire au rafraîchissement plus court).

### *Un mécanisme de réactivation des traces mnésiques*

Pour mieux comprendre la nature du mécanisme attentionnel impliqué dans le maintien en mémoire de travail, Vergauwe et Cowan (2015) se sont intéressés à l'effet d'une capture attentionnelle dirigeant l'attention vers le contenu de la mémoire de travail. Lorsque l'attention est capturée par une tâche concurrente au maintien, moins de ressources attentionnelles sont disponibles pour le maintien (Barrouillet et al., 2007). D'après le postulat sous-tendant l'étude de Vergauwe et Cowan (2015), si la tâche concurrente utilise l'attention de la même manière que le ferait le rafraîchissement attentionnel (e.g., diriger l'attention vers le contenu de la mémoire de travail), alors la tâche concurrente devrait bénéficier au maintien en mémoire de travail.

Dans une tâche d'empan complexe, des lettres rouges étaient présentées à l'écran et devaient être mémorisées. Après chaque lettre rouge, des lettres noires étaient affichées, et les participants avaient pour consigne soit (i) de les ignorer, (ii) d'indiquer pour chaque lettre sa position spatiale sur l'écran (i.e., en haut ou en bas, condition jugement de position spatiale), (iii) sa position dans l'alphabet (i.e., avant ou après la lettre « O », condition recherche en mémoire à long-terme) ou (iv) si elle avait déjà été présentée parmi les items à mémoriser (condition recherche en mémoire de travail). Les temps de réponses à chacune de ces tâches étaient mesurés, permettant une évaluation de leur coût cognitif. Les temps de réponses étaient plus longs lorsque les participants devaient effectuer une recherche en mémoire (à

long-terme ou de travail) plutôt que lorsqu'ils devaient indiquer la position spatiale de la lettre, reflétant un coût cognitif plus important. Les performances de rappel étaient plus faibles lors de la tâche de recherche en mémoire à long-terme comparé à la tâche de jugement de position, répliquant l'effet délétère d'une augmentation du coût cognitif sur les performances de rappel. En revanche, les performances de rappel ne différaient pas entre la condition de jugement de position et celle de recherche en mémoire de travail. L'orientation de l'attention vers le contenu de la mémoire de travail, nécessaire à la recherche en mémoire, semble permettre de maintenir les traces mnésiques actives, ce qui suggère un lien étroit entre les processus de recherche en mémoire de travail et de maintien attentionnel.

En lien avec les travaux de Vergauwe et Cowan (2015) suggérant que le maintien attentionnel en mémoire de travail consiste en une réactivation des traces mnésiques, Rey, Versace et Plancher (2018) ont cherché à fournir des preuves additionnelles au fait que le rafraîchissement repose sur une réactivation de traces en mémoire et à montrer que le rafraîchissement réactive des traces de nature sensorielle. Pour cela, ils ont utilisé un paradigme qui permet de réactiver automatiquement une trace non-pertinente, un masque visuel, et ont évalué dans quelle mesure cette réactivation non-pertinente gênait le rafraîchissement d'un mémoranda. Leur étude présentait deux phases indépendantes. Dans la première phase, un masque visuel était associé à la présentation d'un son, permettant par la suite la réactivation automatique du masque visuel lors de la présentation du son (Rey, Riou, Muller, Dabic, & Versace, 2015). La seconde phase de l'étude consistait en une tâche d'empan complexe alternant images à mémoriser et chiffres à traiter. Il est important de mentionner que le masque visuel a été créé à partir des images à mémoriser. Dans une première expérience, le son réactivant le masque a été présenté pendant l'encodage des images, ceci a permis de s'assurer que les images utilisées étaient bien sensibles au masque et de conclure par la suite que les réactivations sont sensorielles. Dans une seconde expérience,

le son réactivant le masque a été présenté pendant les périodes de temps libre, dédiées potentiellement au rafraîchissement attentionnel. Une condition contrôle où le son était associé à un carré gris était comparé à la condition expérimentale où le son était associé au masque visuel. Dans les deux expériences, la présence du masque visuel réactivé par le son diminuait les performances de rappel par rapport à la condition contrôle. Le masquage perceptif semble faire concurrence à la création de la trace mnésique lors de l'encodage en mémoire de travail et gêner la réactivation de la trace mnésique durant les intervalles de temps non occupés par la tâche de traitement. Les auteurs proposent que la réactivation d'une trace non pertinente (le masque visuel) empêcherait le rafraîchissement des memoranda, suggérant que le rafraîchissement des traces repose sur la réactivation de leurs propriétés perceptives.

En résumé, l'ensemble des études comportementales met en évidence un mécanisme attentionnel et amodal de maintien en mémoire de travail, permettant de maintenir à la fois des informations visuelles et spatiales (Camos et al., 2009; Hudjetz & Oberauer, 2007; Vergauwe et al., 2010, 2012), mais aussi des informations verbales avec utilisation indépendante ou conjointe de la récapitulation subvocale (Camos et al., 2013, 2011; Mora & Camos, 2013). L'utilisation volontaire et adaptative de ce mécanisme attentionnel peut être guidée par la situation expérimentale, des instructions ou par la présence d'indices extérieurs (Johnson et al., 2002; Souza & Oberauer, 2016; Souza et al., 2014, 2015, 2018). Finalement, des études récentes suggèrent que le rafraîchissement d'une information en mémoire de travail consisterait en la réactivation de sa trace mnésique (Rey et al., 2018; Vergauwe & Cowan, 2015) et nécessiterait 50 millisecondes environ (Vergauwe et al., 2014).

### **Questions en suspens et implications pratiques**

Différents modèles théoriques proposent un mécanisme de maintien attentionnel en mémoire de travail - le rafraîchissement attentionnel - et sont soutenus par de nombreuses données empiriques qui permettent une meilleure compréhension de l'implication de l'attention dans le

maintien en mémoire de travail et une meilleure définition du mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Ce dernier serait ainsi un mécanisme rapide (Vergauwe et al., 2014; Vergauwe & Cowan, 2014) et amodal (M. K. Johnson et al., 2005). En effet, le rafraîchissement attentionnel est impliqué dans le maintien d'informations visuelles et spatiales (Camos et al., 2009; Hudjetz & Oberauer, 2007; Vergauwe et al., 2010, 2012) et peut être utilisé conjointement à la répétition subvocale pour le maintien d'informations verbales (Camos et al., 2013, 2011; J. D. Cohen et al., 1997; Majerus et al., 2010; Mora & Camos, 2013; Raye, Johnson, Mitchell, Greene, & Johnson, 2007). Néanmoins, il semble que le rafraîchissement ne permet pas de maintenir certaines caractéristiques des informations (Ricker & Cowan, 2010; Vergauwe et al., 2014). Contrairement aux lettres conventionnelles (i.e., lettres anglaises pour des participants anglophones), les performances mnésiques pour les caractères non-familiers (i.e., lettres grecques, cyrilliques ou arabes) ou la police de caractère des lettres (i.e., la lettre présentée à l'écran est toujours la même, par exemple toujours un "A", seule la police d'écriture de la lettre change pour chaque item à mémoriser et doit être mémorisée) diminue à mesure que le délai de rétention augmente même si l'attention n'est pas occupée par une tâche concurrente et est donc disponible pour le maintien (Ricker & Cowan, 2010; Vergauwe et al., 2014). Également, la mémorisation de la police de caractères présentés à l'écran ne semble pas influencer les temps de réponse à une tâche de traitement concurrente, suggérant qu'aucun temps n'est alloué à leur maintien en mémoire (Vergauwe et al., 2014). Ces résultats pourraient suggérer que le rafraîchissement attentionnel ne peut être effectué que sur des traces mnésiques bien établies en mémoire à long-terme (Ricker & Cowan, 2010; Vergauwe et al., 2014), et ce de façon congruente avec les propositions du modèle de Cowan (1988, 1995, 1999, 2005). De récents travaux sur les mécanismes en jeu dans le maintien de mélodies non-familiales en mémoire de travail semblent également aller dans ce sens (Nees, Corrini, Leong, & Harris, 2017). Spécifiquement, Nees et collègues (2017) ont observé que

les performances de mémorisation de mélodies non-familiales n'étaient pas affectées par la présence ou non d'une tâche concurrente nécessitant des ressources attentionnelles (i.e., résoudre des problèmes mathématiques). Cependant, aucune étude à notre connaissance ne s'est intéressée à l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dans le maintien de mélodies familiales, et donc établies en mémoire à long terme. Par conséquent, étudier le maintien en mémoire de travail de mélodies connues en comparaison à des mélodies inconnues pourrait permettre de mieux comprendre l'utilisation des représentations en mémoire à long-terme lors du maintien attentionnel en mémoire de travail.

Plusieurs études suggèrent que le rafraîchissement attentionnel serait un mécanisme exécutif minimal (Raye et al., 2007) divisé en deux sous-processus (initiation et rafraîchissement *per se*, M. R. Johnson, McCarthy, Muller, Brudner, & Johnson, 2015). Le rafraîchissement est décrit comme un déplacement de l'attention vers les informations à maintenir (e.g., M. R. Johnson et al., 2015) pouvant être guidé par des indices extérieurs (Johnson et al., 2002; Souza & Oberauer, 2016; Souza et al., 2014, 2015, 2018) et de manière volontaire et adaptative (Camos et al., 2011). Le déplacement de l'attention vers l'information à maintenir permettrait de réactiver la trace mnésique (Vergauwe & Cowan, 2015) et ses propriétés perceptives (Rey et al., 2018), qui résulte en une facilitation de la récupération de l'information à court terme et une stabilisation de la trace mnésique à plus long terme (e.g., Camos & Portrat, 2015; Jarjat et al., 2018; McCabe, 2008). Cependant, comme le relèvent Camos et collaborateurs (2018) de nombreuses questions restent encore en suspens : le rafraîchissement attentionnel de plusieurs informations se fait-il de manière sérielle (un item après l'autre, e.g., Barrouillet & Camos, 2012; McCabe, 2008; Nee & Jonides, 2013; Vergauwe et al., 2014; voir aussi Vergauwe et al., 2016, pour des résultats contradictoires) ou simultanée (plusieurs items pouvant être contenus dans le focus attentionnel en même temps, Portrat & Lemaire, 2015) ? Rafrâichit-on d'abord l'item le moins activé (B. Lemaire, Pageot,

Plancher, & Portrat, 2018) ? Les travaux s'intéressant au rafraîchissement attentionnel se basent sur le postulat d'un mécanisme pouvant être initié spontanément. Ce postulat n'a cependant pas été mis à l'épreuve et des études restent à mener pour préciser dans quelle mesure le rafraîchissement attentionnel peut avoir lieu de manière spontanée, sans donner de consignes particulières aux participants.

Poursuivre la recherche sur le fonctionnement de la mémoire de travail semble nécessaire pour mieux en comprendre les déficits. La mémoire de travail, centrale dans la plupart des activités cognitives quotidiennes, est altérée dans de nombreuses pathologies, telles que les démences (Kirova, Bays, & Lagalwar, 2015), ou la schizophrénie (Starc et al., 2017), suite à des accidents vasculaires cérébraux (Martin & Ayala, 2004), mais aussi au cours du vieillissement normal (Bopp & Verhaeghen, 2005; Denise C. Park et al., 2002). L'altération de la mémoire de travail, notamment dans le vieillissement, pourrait être dû à un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel (Fanuel et al., 2018; Higgins & Johnson, 2009; Hoareau, Lemaire, Portrat, & Plancher, 2016; Jarjat, Portrat, & Hot, 2018; M. K. Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Plancher, Boyer, Lemaire, & Portrat, 2017; voir aussi Grillon et al., 2013, pour l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel dans la schizophrénie). Néanmoins, un tel déficit dans le vieillissement n'est pas systématiquement observé (Loaiza & Souza, 2018; Souza, 2016). Apporter davantage de finesse à la compréhension du fonctionnement de ce mécanisme permettrait de proposer des pistes de remédiation et de réhabilitation adéquates, visant à améliorer le fonctionnement cognitif et le bien-être de ces populations.

### 3. Conclusion

Si les premiers modèles de MDT se sont focalisés sur le maintien des informations en MDT selon des mécanismes spécifiques au domaine des informations (e.g., Baddeley, 1986), d'autres modèles se sont intéressés au rôle de l'attention dans le maintien non-spécifique des informations (e.g., Cowan, 2005; Barrouillet et al., 2004). En particulier, le mécanisme de rafraîchissement attentionnel a suscité de nombreuses recherches à tel point que le modèle à composantes multiples propose que ce mécanisme soit à l'origine du maintien des informations dans le buffer épisodique et potentiellement dans le calepin visuospatial (Baddeley, 2012). Concernant le maintien des informations verbales en MDT, il y aurait donc, d'un côté, le mécanisme de répétition subvocale qui reposerait sur la répétition silencieuse des traces phonologiques des informations et, de l'autre côté, le rafraîchissement attentionnel qui reposerait sur une focalisation brève de l'attention sur les informations encodées (voir Camos, 2015, 2017, pour des revues). La littérature actuelle suggère néanmoins que ces deux mécanismes ne doivent pas être mis en opposition, mais qu'ils fonctionneraient distinctement l'un de l'autre, contribuant ainsi conjointement au maintien des informations verbales en MDT (Barrouillet et al., 2004, 2007; Camos, et al., 2009, 2013, 2011; Loaiza & McCabe, 2013). En particulier, ces deux mécanismes favoriseraient le maintien de caractéristiques différentes des informations (Camos et al., 2013, 2011; Mora & Camos, 2013). Ainsi, de nombreuses recherches se sont spécifiquement intéressées à la manière dont la répétition, et pas le rafraîchissement, favorise la mémorisation des caractéristiques phonologiques des informations verbales. Cependant, le fonctionnement du rafraîchissement ainsi que les caractéristiques des informations qu'il permet de maintenir en mémoire est beaucoup moins bien comprise (e.g., Camos et al., 2018; Loaiza & Camos, 2018). Bien que le fonctionnement précis du rafraîchissement attentionnel pose encore question (voir Camos et al., 2018), nous

avons vu que ce mécanisme, au même titre que la répétition subvocale, est central pour comprendre le fonctionnement de la MDT en général, et le maintien des informations verbales en particulier. Ainsi, comme nous allons le présenter dans le chapitre suivant, l'étude de l'évolution de ce mécanisme avec l'âge, s'inscrit logiquement dans la compréhension du vieillissement de la MDT.





## Chapitre 3. Mémoire de travail et vieillissement

---

### *Objectifs*

- Présenter le vieillissement de la mémoire de travail au travers des facteurs généraux du vieillissement cognitif.
- Présenter les limites de l'approche des facteurs généraux et introduire l'approche analytique du vieillissement de la mémoire de travail.
- Mettre en lumière le déficit attentionnel dans le vieillissement de la mémoire de travail.
- Introduire la problématique du travail de thèse

L'avancée en âge s'accompagne d'un changement du fonctionnement cognitif, comme l'indiquent les nombreuses études ayant mis en évidence des différences de performances entre adultes jeunes et âgés dans des tâches impliquant différentes fonctions cognitives (e.g., Glisky, 2007). Bien que la différence entre ces deux populations soit parfois à l'avantage des personnes âgées (e.g., dans les tâches de vocabulaire), leurs performances plus faibles dans de nombreuses tâches, relevant de différentes fonctions cognitives, sont largement documentées (e.g., Baltes & Lindenberger, 1997; Denise C. Park et al., 1996). Ces résultats ont poussé les chercheurs à envisager l'existence d'un facteur, ou d'un nombre restreint de facteurs, qui seraient à l'origine du déclin cognitif observé chez les personnes âgées. Cette démarche, qualifiée d'*approche globale* du vieillissement cognitif (Adam, Van der Linden, & Colette,

2002), a permis de distinguer dans la littérature l'hypothèse selon laquelle le déclin cognitif dans le vieillissement serait principalement lié à un ralentissement de la vitesse de traitement des informations (e.g., Salthouse, 1996), à la capacité d'inhibition (e.g., Hasher & Zacks, 1988), ou à une diminution des ressources permettant d'engager des « traitements auto-initiés » (e.g., Craik & Byrd, 1982). Il semble néanmoins que l'hypothèse de la diminution des ressources (e.g., Craik & Byrd, 1982) ait été recouverte par l'hypothèse d'une altération de la MDT (e.g., Denise C. Park, 2000), plaçant ainsi cette dernière au centre du vieillissement cognitif. En faveur de l'hypothèse selon laquelle l'altération de la MDT serait l'un des facteurs principaux de la diminution du fonctionnement cognitif, il est clairement établi dans la littérature que (1) la MDT est impliquée dans de nombreuses activités cognitives, telles que l'apprentissage et la compréhension du langage (e.g., Baddeley et al., 1998; Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996) ou l'intelligence fluide (e.g., Engle, Laughlin, Tuholski, & Conway, 1999; Kane, Hambrick, & Conway, 2005; Oberauer, Schulze, Wilhelm, & Süß, 2005) et (2) le fonctionnement de la MDT est impacté par le vieillissement, comme l'indiquent des études transversales incluant un grand nombre de participants (e.g., Grégoire & Van Der Linden, 1997; Myerson, Emery, White, & Hale, 2003; Denise C. Park et al., 2002), des études longitudinales (e.g., Hultsch, Hertzog, Small, McDonald-Miszczak, & et al, 1992), ainsi que des méta-analyses (e.g., Bopp & Verhaeghen, 2005; Verhaeghen, Marcoen, & Goossens, 1993).

Les hypothèses de ralentissement du traitement de l'information, de déficit d'inhibition et d'altération de la MDT ne sont pas mutuellement exclusives. En effet, le ralentissement du traitement des informations et le déficit d'inhibition peuvent être articulés dans le cadre du déficit de fonctionnement de la MDT (e.g., Glisky, 2007). À ce propos, il est d'ailleurs important de noter que l'hypothèse du déficit d'inhibition proposée par Hasher et Zacks (1988) est organisée autour du fonctionnement de la MDT (voir section 1.2 de ce

chapitre). L'étude du vieillissement de la MDT semble alors faire émerger les deux grandes approches décrites par Adam et collègues (2002) concernant le vieillissement cognitif global. D'une part, l'approche globale qui postule que les déficits de MDT liés à l'âge seraient dus à un nombre restreint de facteurs, dont le ralentissement de la vitesse de traitement et le déficit d'inhibition. D'autre part, l'approche analytique, qui s'intéresse à l'éventail des composantes et processus altérés et préservés de la MDT dans le vieillissement. À notre connaissance, le modèle à composantes multiples (Baddeley, 2000; Baddeley & Hitch, 1974) a été le cadre théorique principalement utilisé dans cette approche.

En se plaçant d'abord dans une perspective globale de compréhension du vieillissement de la MDT, nous allons détailler les hypothèses de la diminution de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996) et du déficit de l'inhibition (Hasher & Zacks, 1988). Au travers de la présentation de ces hypothèses, nous verrons que la vitesse de traitement ne semble pas suffisante pour expliquer tous les déficits liés à l'âge. De plus, nous verrons qu'à l'heure actuelle, l'inhibition ne semble plus être considérée comme une fonction unitaire, mais plutôt comme un ensemble de processus distincts et différenciellement affectés par le vieillissement, ouvrant ainsi la voie à l'approche analytique du vieillissement de la MDT. Cette approche analytique du vieillissement de la MDT sera approfondie dans la seconde partie de ce chapitre, par une présentation des effets de l'âge sur les sous-systèmes de boucle phonologique et de l'administrateur central du modèle à composantes multiples (voir Chapitres 1 et 2). Nous verrons ainsi que la littérature indique une atteinte "privilegiée" des fonctions exécutives de l'administrateur central (e.g., Collette, Peters, Hogge, & Majerus, 2007; Collette & Salmon, 2014), suggérant ainsi que les processus attentionnels sont particulièrement affectés par le vieillissement. En lien avec le chapitre précédent ayant montré que l'attention, au-delà de son implication exécutive, semble également importante dans le maintien actif des informations en MDT, ces résultats démontrent la nécessité d'évaluer

l'hypothèse de l'implication d'un déficit du rafraîchissement attentionnel dans le déclin lié à l'âge de la MDT. Nous verrons ainsi, dans une dernière partie, les études s'intéressant à cette hypothèse afin d'introduire le contexte spécifique dans lequel s'inscrivent nos propres études expérimentales.

## **1. Facteurs généraux du vieillissement cognitif**

### ***1.1 La théorie du ralentissement cognitif***

La vitesse de traitement des informations correspond à la vitesse à laquelle les opérations mentales sont réalisées. Pour pouvoir mesurer cette vitesse, les tâches utilisées doivent répondre à plusieurs critères (Salthouse, 1996; voir aussi P. Lemaire & Bherer, 2005). Ces tâches doivent par exemple être relativement simples, de sorte que les différences de performance entre individus soient principalement attribuables à la rapidité avec laquelle les opérations mentales nécessaires à la réalisation de la tâche sont réalisées plutôt qu'à des différences de connaissances ou d'autres capacités cognitives. Néanmoins, ces tâches doivent impliquer des traitements cognitifs centraux au risque d'évaluer seulement la vitesse de processus perceptifs ou moteurs. Enfin, Salthouse (1996) note que, comme pour l'évaluation de tout concept psychologique, il est préférable que la vitesse de traitement soit évaluée par plusieurs tâches afin de minimiser la variance spécifique associée à chacune des tâches employées, et mettre ainsi en évidence la variance commune, liée au concept d'intérêt, ici la vitesse de traitement. Parmi les tâches utilisées pour évaluer la vitesse de traitement, on peut ainsi noter la tâche des codes tirée de la WAIS-R (Wechsler, 1981) et les tâches de comparaison de lettres (voir Salthouse, 1996). La tâche des codes de la WAIS-R consiste à recopier le plus de symboles correspondant à un chiffre et ce dans une période de temps

limitée. La tâche de comparaison de lettres consiste quant à elle à juger si des paires de séries de lettres sont identiques ou différentes, là aussi sous contrainte temporelle.

La théorie du ralentissement cognitif de Salthouse (1996) se base sur deux observations importantes concernant la vitesse de traitement. En premier lieu, une large littérature indique que la vitesse de traitement diminue avec l'âge (Birren, Woods, & Williams, 1980; Cerella, 1985; Salthouse, 1985, 1996). Ce ralentissement pourrait être médiatisé par des modifications neurologiques liées à l'âge comme la diminution de dopamine ou l'atteinte de la substance blanche (Bäckman, Nyberg, Lindenberger, Li, & Farde, 2006; Gunning-Dixon & Raz, 2000; cités par Verhaeghen, 2011). Deuxièmement, cette diminution de la vitesse de traitement dans le vieillissement explique une grande partie de la variance liée à l'âge observée dans différentes tâches cognitives. Spécifiquement, l'effet de l'âge sur les performances dans ces tâches cognitives diminue fortement lorsque la vitesse de traitement est prise en compte (e.g., Duverne & Lemaire, 2004; Salthouse, 1993, 1996; Salthouse & Meinz, 1995; Salthouse & Prill, 1987), suggérant ainsi que le lien entre âge et performance est fortement médiatisé par la vitesse de traitement des individus. Par exemple, Salthouse et Prill (1987) ont observé que 62,5 % de la variance liée à l'âge dans une tâche de complétion, où les participants doivent indiquer l'item suivant logiquement une suite présentée (e.g., 20-22-24-26-?), étaient dû à la vitesse de traitement. Salthouse et Meinz (1995) et Salthouse (1996) ont, pour leur part, observé que plus de 80 % de la variance liée à l'âge dans une tâche de Stroop étaient dû à la vitesse de traitement. Cette influence de la vitesse de traitement a été observée dans de nombreuses autres tâches cognitives (voir, par exemple, Lemaire & Bherer, 2005; Salthouse, 1993, 1996, pour des revues).

Ces deux observations sont partagées par plusieurs autres théories du ralentissement cognitif (e.g., Birren, 1965, 1974; Cerella, 1985, 1990). La différence entre ces théories repose sur les mécanismes proposés par lesquels s'exerce l'influence du ralentissement. Ainsi,

la théorie du ralentissement de Salthouse (1996) se distingue par la description de deux mécanismes responsables de la relation entre vitesse de traitement et performances cognitives. D'une part, le *mécanisme de temps limité* suggère que, du fait du ralentissement, une plus grande proportion du temps total disponible pour réaliser une activité sera dédiée à l'exécution des premières opérations mentales que l'activité nécessite, laissant ainsi peu de temps pour réaliser les opérations suivantes. De fait, les opérations plus tardives seront effectuées moins précisément ou ne pourront tout simplement pas être exécutées. D'autre part, le *mécanisme de simultanéité* suggère quant à lui que les produits issus des premières opérations peuvent être perdus pendant qu'une nouvelle opération est exécutée. Ainsi, la diminution des performances liées à l'âge dans les tâches cognitives serait dépendante du fait que les personnes âgées ont (1) moins de temps pour exécuter correctement des opérations mentales tardives et (2) moins de chance de pouvoir récupérer les produits des premières opérations sur lesquels les opérations plus tardives doivent opérer. De fait, plus une tâche sera complexe, plus les différences de performances entre jeunes et âgés seront importantes.

Dans le cadre de notre travail expérimental, nous avons cherché à prendre en compte le ralentissement de la vitesse de traitement des informations chez les personnes âgées. En effet, comme nous le détaillerons dans le Chapitre 4, un ralentissement général du fonctionnement cognitif dans le vieillissement implique que, pour les personnes âgées, le temps de capture attentionnelle d'une activité distractive est plus important que chez les jeunes adultes. Ainsi, une tâche d'empan complexe (voir Chapitre 2, Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation) présentée selon les mêmes contraintes temporelles pour ces deux populations n'induirait pas le même CC. Notons que le ralentissement pourrait également affecter la vitesse du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées (e.g., M. K. Johnson et al., 2002).

## ***1.2. Le contrôle de l'inhibition***

Pour Hasher et Zacks (1988), les mécanismes d'inhibition jouent un rôle central dans le fonctionnement de la MDT, elle-même largement impliquée dans la compréhension du langage. Spécifiquement, les mécanismes d'inhibition auraient pour fonction (1) de limiter l'accès en MDT des informations non pertinentes dans la tâche en cours et (2) de diminuer rapidement l'activation des informations non-pertinentes qui seraient tout de même entrées en MDT. Par exemple, si l'on écoute quelqu'un présenter ses recherches dans le but de comprendre et mémoriser ce qu'il nous dit, les informations pertinentes à traiter en MDT relèvent exclusivement du discours du locuteur. Ici, des informations non-pertinentes pourraient être contextuelles (e.g., "cette salle est vraiment en désordre") ou personnelles (e.g., "ne pas oublier de réserver pour le dîner de ce soir") et leur accès en MDT entraverait la tâche en cours. En effet, pendant que ces informations non-pertinentes sont traitées, certaines des informations pertinentes ne le sont pas. Dans notre exemple, un cas extrême pourrait être de se rendre compte que l'on a rien retenu de la présentation d'une, ou de plusieurs diapositives, que vient de présenter le chercheur. Une deuxième conséquence d'un dysfonctionnement de l'inhibition serait, selon Hasher et Zacks (1988) la diminution de la capacité à déplacer l'attention. Ainsi, les auteurs supposent que comprendre une histoire contenant de nombreuses scènes différentes serait problématique en cas de déficit des mécanismes d'inhibition.

Dans ce cadre, un dysfonctionnement des mécanismes d'inhibition entraînerait donc une augmentation des informations non-pertinentes en MDT d'une part, et, d'autre part, un maintien plus long de leur activation en MDT quand elles y parviennent. Ceci favoriserait deux sources d'oubli, à savoir un encodage plus faible des informations (incluant, de fait, les informations pertinentes) et une compétition entre informations connexes. Les



informations seraient ainsi plus difficilement récupérées pour être intégrées dans des cycles de répétitions, lesquels permettraient d'améliorer leur mémorisation. De façon plus ciblée, les difficultés de récupération des informations pourraient également affecter la compréhension orale. Hasher et Zacks (1988) présentent, par exemple, une situation où l'on ne parviendrait pas à récupérer à qui fait référence un pronom utilisé dans une phrase. Ainsi, selon l'importance de l'information ciblée, l'échec de sa récupération peut avoir des conséquences plus ou moins importantes dans la compréhension du langage.

Pour les auteurs, les personnes présentant un déficit d'inhibition seraient enclines à la distractibilité, à des déficits mnésiques, ainsi qu'à la production de réponses inappropriées ou à la production plus lente de réponses appropriées. Hasher et Zacks (1988) présentent ainsi une série d'évidences en accord avec l'hypothèse selon laquelle le vieillissement serait associé à un trouble de la fonction d'inhibition (e.g., taux d'intrusions élevés dans les tâches de rappel libre Stine & Wingfield, 1987; fausses reconnaissances, Rankin & Kausler, 1979; sensibilité à l'effet d'interférence de la tâche de Stroop, Cohn, Dustman, & Bradford, 1984; Comalli, Wapner, & Werner, 1962) et à l'hypothèse selon laquelle les problèmes de récupération contribuent substantiellement aux déficits de mémoire liés à l'âge. Bien que les personnes âgées présentent des problèmes de récupération des informations qui impactent, par exemple, la compréhension du langage, les auteurs notent que les personnes âgées ne sont pas non plus inadaptées dans la vie quotidienne. Afin de surmonter ces déficits, Hasher et Zacks (1988) supposent que les personnes âgées ont une stratégie qui consiste à utiliser préférentiellement (1) les informations facilement accessibles en mémoire (e.g., les informations actuellement en MDT) et (2) les informations disponibles dans l'environnement.

Bien que la question des processus d'inhibition de l'interférence soit pertinente dans le cadre de l'étude de l'influence des mécanismes de maintien d'informations sur le vieillissement de la MDT (e.g., Plancher et al., 2017), nous ne l'avons pas directement traitée

dans notre travail. Néanmoins, les procédures expérimentales que nous avons utilisées permettaient de contrôler en partie ce déficit des personnes âgées, dans la mesure où aucune information non-pertinente pour la tâche en cours n'était présentée aux participants. Ainsi, chaque stimulus présenté devait être mémorisé ou traité par les participants (voir Chapitre 4). Notons également que nous avons pris soin d'utiliser des stimuli à mémoriser et à traiter suffisamment différents pour que les performances de mémorisation des participants ne relèvent pas de leur capacité, au moment du rappel, à discriminer les items à mémoriser des items qu'ils ont eus à traiter.

### ***1.3. Limites de l'approche globale***

La diminution de la vitesse de traitement associée à l'avancée en âge, ainsi que son implication dans les modifications du fonctionnement cognitif et de la MDT, sont des faits clairement établis dans la littérature et faisant consensus parmi les chercheurs. En revanche, un certain nombre de travaux suggèrent que le ralentissement ne doit pas être considéré comme l'unique facteur des déficits observés chez les personnes âgées. À cet égard, nous avons noté trois lignes de recherches qui semblent nuancer la théorie du ralentissement. Premièrement, des études suggèrent que, pour certains processus, un ralentissement spécifique s'ajoute au ralentissement général (e.g., Kliegl, Maayr, & Krampe, 1994; Mayr & Kliegl, 1993; Verhaeghen, 2011; Verhaeghen & Cerella, 2002; Verhaeghen, Steitz, Sliwinski, & Cerella, 2003; Wasylshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011). Deuxièmement, différents travaux ayant quantifié les relations entre l'âge, la vitesse de traitement, la MDT, et d'autres aspects de la cognition au sein de modèles structuraux ont montré des relations directes entre l'âge et la MDT (e.g., Park et al., 1996; Salthouse & Babcock, 1991; Verhaeghen & Salthouse, 1997). Enfin, certains auteurs notent que le niveau d'implication des processus de

contrôle attentionnel dans les tâches censées mesurer la vitesse de traitement peut être sous-estimé (Cepeda, Blackwell, & Munakata, 2013).

Concernant les limites de la théorie du déficit de l'inhibition (Hasher & Zacks, 1988), les nuances apportées par la littérature semblent être d'une autre nature. En effet, bien que des études aient pu mettre en évidence une altération des processus inhibiteurs chez des personnes âgées dans des tâches variées (e.g., Collette & Salmon, 2014; Grandjean & Collette, 2011; P. Lemaire & Bherer, 2005, pour des revues), comme une plus grande sensibilité à l'effet d'interférence dans la tâche de Stroop chez les personnes âgées (Cohn et al., 1984; Comalli et al., 1962), d'autres études n'ont pas permis d'observer de tels résultats, ni dans la tâche de Stroop (e.g., Kieley & Hartley, 1997; Verhaeghen & Cerella, 2002), ni dans d'autres types de tâches impliquant l'inhibition (voir, Collette & Salmon, 2014; Grandjean & Collette, 2011 pour des revues). Ainsi, cette divergence de résultats a amené certains chercheurs à abandonner l'idée de l'inhibition comme fonction unitaire, préférant la considérer comme un ensemble de processus distincts qui seraient sélectivement impactés ou préservés avec l'âge (e.g., Friedman & Miyake, 2004; Harnishfeger, 1995; Hasher, Zacks, & May, 1999; Kramer, Humphrey, Larish, Logan, & Strayer, 1994; Nigg, 2000). Par exemple, Andrés, Guerrini, Phillips et Perfect (2008), suivant la proposition d'un continuum entre processus d'inhibition peu et très contrôlés (Nigg, 2000), ont testé l'hypothèse selon laquelle le vieillissement affecterait d'autant plus le fonctionnement des processus d'inhibition qu'ils sont contrôlés. Pour cela, les auteurs ont contrasté les différences entre adultes jeunes et âgés dans des situations impliquant des processus inhibiteurs plus ou moins contrôlés. Par exemple, l'effet Stroop fait référence au fait que les personnes sont généralement plus lentes pour donner le nom de la couleur de l'encre de mots désignant une couleur lorsque les deux informations sont incongruentes (e.g., le mot « bleu » écrit à l'encre verte), que lorsqu'ils doivent donner le nom de la couleur de rectangles colorés (e.g., un rectangle bleu) ou d'une série de lettres

colorées (e.g., XXXX écrit à l'encre bleue). Cet effet est généralement expliqué par le fait que dans le premier cas, il est nécessaire d'inhiber le processus dominant de lecture du mot. Dans le contexte de l'effet Stroop, l'effet d'amorçage négatif correspond au fait que, lorsque le mot devant être inhibé dans un essai devient la couleur de l'encre à nommer dans l'essai suivant, les personnes sont plus lentes comparées à la situation où le mot étant inhibé dans un essai ne correspond pas à la couleur de l'encre dans l'essai suivant (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966). Par exemple, les personnes sont généralement plus lentes pour dire « vert » à un essai où « bleu » est écrit à l'encre verte lorsqu'à l'essai précédent, le mot « vert » était écrit à l'encre rouge que lorsqu'à l'essai précédent le mot « rouge » était écrit à l'encre jaune. Cet effet d'amorçage négatif viendrait de l'inhibition du distracteur à ignorer à l'essai  $n$  ce qui résulterait en un temps plus long pour atteindre le seuil d'activation nécessaire à la production de la réponse correcte pour le même stimulus lorsqu'il apparaît à l'essai  $n+1$ . Pour reprendre notre exemple, l'essai  $n$  peut être soit (1) le mot « vert » écrit à l'encre rouge - auquel cas « vert » est inhibé et « rouge » est la réponse à donner - soit (2) le mot « rouge » était écrit à l'encre jaune, auquel cas « rouge » est inhibé et « jaune » est la réponse à donner. Toujours dans notre exemple, l'essai  $n+1$  correspond à l'apparition du mot « bleu » écrit à l'encre verte, auquel cas « bleu » doit être inhibé et « vert » est la bonne réponse. Si l'essai  $n$  était la situation (1), alors « vert » avait précédemment subi une baisse d'activation et le temps de réponse est plus lent que si l'essai  $n$  était la situation (2) où « rouge » était précédemment inhibé. Cet effet d'amorçage négatif est considéré comme un effet relativement automatique et non-intentionnel d'un mécanisme supprimant des représentations mentales non pertinentes (Nigg, 2000). Andrés et collègues (2008, Expérience 1) ont observé que l'effet Stroop était plus marqué chez les participants âgés que chez les participants jeunes. En revanche, l'effet d'amorçage négatif était identique chez ces deux groupes. Dans le même cadre théorique, les auteurs ont observé des résultats similaires concernant une tâche de Go/No-Go et l'effet

d'amorçage négatif (Andrès et al., 2008, Expérience 2). Pour les auteurs, ces résultats sont conformes à l'hypothèse selon laquelle les processus inhibiteurs sont d'autant plus touchés par le vieillissement qu'ils sont contrôlés (voir aussi Andrés, 2009; Hogge, Salmon, & Collette, 2008; Kramer et al., 1994).

En résumé, nous venons de voir que le ralentissement de la vitesse de traitement des informations médiatise une grande partie des effets de l'âge sur différentes fonctions cognitives, incluant la MDT. Bien que ce point ne soit pas contesté dans la littérature, certaines études soulèvent tout de même les limites existantes à envisager la vitesse de traitement comme unique facteur explicatif du vieillissement. En effet, la vitesse de traitement ne peut pas expliquer à elle seule tous les déficits observés dans le vieillissement. Nous avons également présenté la théorie du déficit de l'inhibition en MDT dans le vieillissement (Hasher & Zacks, 1988). Ici aussi, bien que la littérature suggère effectivement des déficits liés à l'âge, une analyse fine des études menées suggère que l'inhibition ne peut pas être considérée comme une fonction unitaire, mais plutôt comme un ensemble de processus distincts, qui seraient impactés sélectivement par le vieillissement. Pris ensembles, ces deux lignes de recherches ouvrent donc la voie à l'approche complémentaire visant à étudier l'effet sélectif du vieillissement sur les processus de la MDT. Cette approche, l'approche analytique, semble s'inscrire principalement dans le cadre du modèle à composantes multiples (e.g., Baddeley, 2012; Chapitres 1 et 2). En effet, de nombreux auteurs se sont attachés à explorer les effets de l'âge sur les différentes composantes de ce modèle (e.g., Collette et al., 2007, pour une revue). Dans la section suivante, l'objectif sera donc de présenter les résultats de ces différentes études, au regard du cadre théorique proposé par Baddeley et collaborateurs.

## **2. Vieillissement et mémoire de travail: le cadre du modèle à composantes multiples**

Dans le cadre de la démarche de compréhension globale du vieillissement cognitif, nous venons de voir que certains des facteurs généraux du vieillissement s'intègrent dans la compréhension du vieillissement de la MDT. Comme nous l'avons précédemment introduit, il existe néanmoins une démarche complémentaire, l'approche analytique, qui consiste à étudier plus spécifiquement les différentes composantes et processus affectés par l'avancée en âge. Cette approche, dans le cadre spécifique de la MDT s'est, à notre connaissance, essentiellement portée sur l'analyse des différentes composantes du modèle à composantes multiples (e.g., Collette et al., 2007). Nous verrons ainsi que, si la boucle phonologique semble être préservée dans le vieillissement, l'administrateur central semble quant à lui être affecté par le vieillissement.

### ***2.1. Vieillissement et boucle phonologique***

Pour investiguer le fonctionnement de la boucle phonologique dans le vieillissement, les chercheurs se sont intéressés aux effets de longueur de mots, de similarité phonologique et de suppression articulaire (voir Chapitre 2). Comme les jeunes adultes, les personnes âgées sont sensibles aux effets de longueur de mots et de similarité phonologique (e.g., Caplan, Rochon, & Waters, 1992). De plus, ces deux effets semblent être de même amplitude pour les deux groupes d'âge (Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996; ; Beerten, Van der Linden et El Ahmadi, 1996, cité dans Collette et al., 2007; Peters et al., 2007). Spécifiquement, dans ces trois études, les différences de performances de mémorisation entre des listes d'items phonologiquement similaires et dissimilaires ainsi qu'entre des listes d'items longs et courts

similaires n'étaient pas significativement influencées par le groupe d'âge des participants. Enfin, l'étude de l'effet de suppression articulatoire chez les personnes âgées semble corroborer les résultats des études précédentes. En effet, les personnes âgées sont également sensibles à la procédure de suppression articulatoire et ce, de façon similaire aux jeunes adultes (e.g., Loaiza & McCabe, 2013; voir aussi Étude 1, Chapitre 4). Globalement, ces études suggèrent que le fonctionnement de la boucle phonologique n'est pas, sinon peu, affecté par le vieillissement normal (mais voir Ward & Maylor, 2005).

## ***2.2. Vieillesse et administrateur central***

Au vu des études que nous venons de présenter, il est raisonnable de conclure que la boucle phonologique n'est pas, ou peu, impactée par le vieillissement. De plus, d'autres travaux ont montré que la différence de performance de mémorisation entre adultes jeunes et âgés est plus forte dans des tâches nécessitant une activité de maintien d'informations et une activité de traitement d'informations que dans des tâches nécessitant uniquement une activité de maintien (e.g., Bopp & Verhaeghen, 2005, pour une méta-analyse). Ces résultats semblent donc suggérer que l'administrateur central est une composante spécifiquement affectée chez les personnes âgées. Comme nous l'avons présenté précédemment (voir Chapitre 1 et 2), l'administrateur central peut être décomposé selon les différentes fonctions dont il a la charge. Selon Baddeley (e.g., 2012), il serait ainsi responsable (1) de la division de l'attention, (2) du changement de tâche, (3) de la focalisation de l'attention, et (4) de la capacité à interagir avec la MLT. L'atteinte du fonctionnement de l'administrateur central dans le vieillissement doit donc être explorée en analysant les effets du vieillissement sur ses différentes fonctions. Notons cependant que nous ne traiterons pas de la quatrième fonction de l'administrateur

central, puisqu'elle doit être réinterprétée au regard de l'introduction du buffer épisodique qui, à notre connaissance, a été très peu étudié dans le vieillissement.

Concernant la capacité de division de l'attention, qui permettrait de coordonner la réalisation simultanée de deux tâches (e.g., Baddeley, 1996), la comparaison des performances d'adultes jeunes et âgés dans des paradigmes de double tâche permet de donner des indications quant à un possible effet du vieillissement. Dans ce paradigme, les participants doivent réaliser deux tâches cognitives simultanément. Par exemple, Baddeley, Logie, Bressi, Della Sala et Spinnler (1986) ont demandé à des participants de réaliser simultanément une tâche de poursuite visuelle et (1) une tâche de suppression articulatoire (compter de 1 à 5), (2) une tâche de réaction simple (appuyer sur une touche à l'apparition d'un son) et (3) une tâche d'empan verbal (rappeler des listes de chiffres dont la longueur était adaptée aux capacités des participants). Concernant l'effet de l'introduction d'une seconde tâche sur les performances de poursuite visuelle, Baddeley et collaborateurs (1986) ont observé que, pour les deux groupes d'âge, la suppression articulatoire et la tâche de réaction simple n'avait pas d'effet significatif et que l'impact de l'introduction de la tâche d'empan était similaire pour les deux groupes. De plus, Baddeley et collaborateurs (1986) n'ont pas observé d'effet significatif de la tâche de poursuite visuelle sur les performances de la tâche de réaction simple<sup>9</sup> et de l'empan verbal. D'autres études ont également échoué à mettre en évidence une difficulté particulière des personnes âgées à coordonner la réalisation de deux tâches simultanées, notamment lorsque les différences liées à l'âge dans les performances en tâche simple ou dans la vitesse de traitement sont contrôlées (e.g., Baddeley, Baddeley, Bucks, & Wilcock, 2001; Greene, Hodges, & Baddeley, 1995; Somberg & Salthouse, 1982). Cependant, les résultats de la méta-analyse de Verhaeghen, Steitz, Sliwinski, et Cerella (2003) indiquent qu'il existe un déficit lié

---

<sup>9</sup> Pour être tout à fait exact, les auteurs observent un effet, les participants jeunes n'ayant raté aucun signal sonore, tandis que le groupe de participants âgés avaient une moyenne de 0,18 signaux ratés sur 24. Néanmoins, les auteurs sont très critiques sur ce résultat et l'interprètent au regard de l'ensemble des autres résultats obtenus.



à l'âge dans les temps de réponses en situation de double tâche allant au-delà de la diminution de la vitesse de traitement. Ce déficit, correspondant à une étape de traitement supplémentaire nécessaire dans les conditions de double tâche est néanmoins faible (environ 36 ms) et ne résulte pas en un déficit particulier des personnes âgées concernant la qualité des réponses (Verhaeghen et al., 2003).

Selon Verhaeghen et Cerella (2002), cette étape supplémentaire pourrait correspondre au coût associé au maintien de deux consignes différentes. Cette hypothèse est corroborée par les résultats des études utilisant le paradigme de changement de tâche, ou "*task-switching*". Dans ce paradigme, les participants doivent réaliser deux tâches (A et B) soit en alternance (e.g., AABBA) soit isolément (e.g., AAAAA). Cette méthode permet de calculer deux types de coût différents. Premièrement, le *coût local* qui correspond au temps nécessaire pour changer de consigne et répondre correctement à la tâche demandée. Ce coût est calculé en comparant les temps de réponses lorsque la consigne ne doit pas être changée d'un essai à l'autre (AABBAA) aux temps de réponses lorsque la consigne doit être changée (AABBAA). Deuxièmement, le *coût global* qui correspond au temps supplémentaire associé à la nécessité de maintenir deux consignes différentes dans ce paradigme. Celui-ci est calculé en comparant les temps de réponses lorsque les tâches sont réalisées en alternance mais que la consigne ne doit pas être changée d'un essai à l'autre (AABBAA) aux temps de réponses lorsque les tâches sont réalisées de façon isolée (AAAAA). Dans une méta-analyse, Wasylshyn, Verhaeghen et Sliwinski (2011) ont ainsi observé qu'il n'y avait pas de déficit spécifique lié à l'âge concernant le coût local des paradigmes de task-switching, mais que le coût global était significativement impacté par l'âge, en accord avec l'hypothèse selon laquelle les personnes âgées sont spécifiquement impactées par le maintien de deux consignes différentes.

Ainsi, au regard de la fonction de changement de tâche attribuée à l'administrateur central (e.g., Baddeley, 2012), ces résultats suggèrent qu'il n'y a pas de déficit spécifique dans

le vieillissement. Notons qu'en 1996, Baddeley ne parle pas de capacité à changer de tâche, mais de capacité à changer de stratégie de récupération des informations en MLT. À ce propos, il suggère que cette capacité puisse être mise en évidence dans des tâches de génération aléatoire. Dans ces tâches, les participants ont pour consignes de générer des séquences d'items (e.g., chiffres, lettres) le plus aléatoirement possible (i.e., éviter des suites telles que "1, 2, 3" ou "A, B, C"). Van der Linden, Beerten, et Pesenti (1998, Expérience 1) ont ainsi comparé les performances d'adultes jeunes et âgés dans une tâche où les participants devaient générer des séquences aléatoires de lettres au rythme d'une lettre toutes les 1, 2, ou 4 secondes. Les auteurs ont observé des différences de performances entre les deux groupes d'âge et ce dans la condition la plus lente également. Cet effet de l'âge sur la génération aléatoire a également été observé dans l'étude de Fisk et Warr (1996) et dans celle de Heuer, Janczyk et Kunde (2010). Néanmoins, dans l'étude de Fisk et Warr (1996), l'effet de l'âge n'était plus significatif après le contrôle de la vitesse de traitement des participants. Notons que ces deux fonctions, le changement de tâche et le changement de stratégies, ont pour point commun d'impliquer un déplacement de l'attention, une fonction qui semble être altérée par le vieillissement (e.g., Verhaeghen & Basak, 2005; Verhaeghen & Hoyer, 2007).

Concernant la focalisation attentionnelle, Baddeley (1996) en parle en termes d'attention sélective, c'est-à-dire la capacité à s'occuper sélectivement d'une information, ou d'une source d'information, tout en faisant abstraction des autres. En ces termes, il apparaît clairement que la focalisation de l'attention est directement liée à la fonction d'inhibition et donc des processus inhibiteurs que nous avons présentés précédemment. Ainsi, si selon Lemaire et Bherer (2005), l'attention sélective est évaluée dans des tâches telles que les tâches de Stroop et les tâches de recherches visuelles, pour lesquelles nous avons vu qu'une large littérature suggère que le vieillissement est associé à une baisse de performances (voir Adam et al., 2002; Collette et al., 2007; Collette & Salmon, 2014; Lemaire & Bherer, 2005, pour des

revues), nous avons également présenté la vision actuelle concernant l'inhibition, qui suggère que cette fonction ne soit pas unitaire et que certains processus inhibiteurs sont altérés et d'autres préservés dans le vieillissement (e.g., Collette et al., 2007; Collette & Salmon, 2014, pour des revues).

Relevons également que Baddeley (e.g., 2012) note que d'autres taxonomies des fonctions exécutives ont été proposées dans la littérature (e.g., Engle & Kane, 2004; Miyake et al., 2000). Ainsi, le fonctionnement de l'administrateur central dans le vieillissement peut être évalué en se rapportant à d'autres fonctions que celles que nous avons présentées. Par exemple, dans leur revue de la littérature, Collette et Salmon (2014) s'intéressent à l'effet du vieillissement sur les fonctions de mise à jour, de flexibilité, de coordination de tâches doubles et d'inhibition (bien qu'ils notent que les travaux actuels suggèrent une subdivision de l'inhibition en différents processus). Notons que l'étude de l'effet du vieillissement sur les fonctions de flexibilité, de coordination de tâches doubles et d'inhibition s'intègre dans les travaux présentés ci-dessus. Concernant la mise à jour, les études menées, utilisant principalement des tâches de *running span* et de *n-back*, semblent mettre en évidence un déclin de cette fonction avec l'âge (e.g., Chen & Li, 2007; Leonards, Ibanez, & Giannakopoulos, 2002).

### **3. Conclusion et problématique**

L'étude du vieillissement de la MDT, comme l'étude du vieillissement cognitif, bénéficient de l'apport des deux démarches que nous avons présentées dans ce chapitre. D'une part, comme l'approche globale le conçoit, le nombre important des fonctions affectées par le vieillissement suggère que des facteurs généraux influencent toute la sphère cognitive, et donc

la MDT également. À cet égard, nous avons d'abord présenté le facteur de ralentissement de la vitesse de traitement et une théorie associée, proposée par Salthouse (1996). Nous avons ensuite présenté le facteur de déficit d'inhibition et une théorie associée, proposée par Hasher et Zacks (1988). Nous avons également exposé certaines des limites relevées dans la littérature concernant ces facteurs, qui justifient l'aspect complémentaire de l'approche analytique du vieillissement. Plus précisément, concernant la diminution de la vitesse de traitement, nous avons vu que ce facteur ne peut rendre compte de la totalité des effets de l'âge sur la MDT, bien qu'il en médiatise une large partie. Concernant l'inhibition, nous avons montré que ce facteur semble correspondre à un ensemble de processus distincts, sélectivement impactés par l'âge, plutôt qu'à une fonction unitaire déficitaire dans le vieillissement. L'étude des effets du vieillissement sur les différents processus inhibiteurs semble donc déjà s'intégrer dans l'approche analytique, qui suggère que le vieillissement s'accompagne d'une combinaison de processus déficitaires et préservés. Nous avons néanmoins élargi cette démarche en présentant les études s'étant intéressées aux effets de l'âge sur les différentes composantes du modèle à composantes multiples (Baddeley, 2000, Baddeley et al., 2011; Baddeley & Hitch, 1974).

Dans ce cadre, nous avons pu voir que le fonctionnement de la boucle phonologique ne semble pas spécifiquement atteint dans le vieillissement. Au contraire, l'altération des processus de contrôle attentionnel de l'administrateur central est mise en avant dans la littérature (e.g., Collette et al., 2007), bien que ces résultats soient encore débattus (e.g., Verhaghen, 2011). Ces résultats sont également intégrés dans l'hypothèse dite « exécutive » ou « fronto-exécutive » du vieillissement, qui suggère que l'altération des régions frontales, lesquelles sous-tendent les fonctions exécutives, explique les déficits cognitifs qui s'observent au cours du vieillissement dans les tâches cognitives où les fonctions exécutives sont fortement impliquées (e.g., Moscovitch & Winocur, 1992; Raz, 2000; West, 1996). Ainsi, il

ressort de cette revue de la littérature sur le vieillissement de la MDT que les processus attentionnels semblent être préférentiellement mis en avant pour rendre compte des différences liées à l'âge qui ne sont pas dues au ralentissement de la vitesse de traitement des informations.

Comme nous l'avons développé dans le Chapitre 2, l'attention, par le biais du mécanisme de rafraîchissement attentionnel notamment, est également supposée jouer un rôle majeur dans le maintien des informations en MDT. Au vu de la littérature développée dans le présent chapitre, la question de la détérioration du mécanisme de rafraîchissement attentionnel semble donc pertinente. En effet, le rafraîchissement attentionnel, permettant de maintenir et de traiter des informations de façon séquentielle, dépend du contrôle de l'attention. Ainsi, l'altération du mécanisme de rafraîchissement attentionnel pourrait être directement impliquée dans les modifications du fonctionnement de la MDT liées à l'avancée en âge. La question de la détérioration du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement intéresse également d'autres chercheurs. Concernant la mémorisation de matériel verbal, les études ayant été menées se sont principalement intéressées aux effets du rafraîchissement sur la mémorisation à long terme. À cet égard, comme nous l'avons introduit précédemment (Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation, Chapitre 2), deux paradigmes expérimentaux ont permis de mettre en évidence l'effet du rafraîchissement sur la mémorisation à long terme des informations. Premièrement, dans le paradigme d'empan complexe (sur lequel nous reviendrons plus en détails dans le Chapitre 4), les travaux de McCabe (2008) ont permis de montrer que la manipulation du nombre d'activités de traitements avaient un effet sur les performances de rappel différé des informations à mémoriser, effet associé à l'utilisation du rafraîchissement attentionnel selon les auteurs (Loaiza & McCabe, 2012, 2013). Plus précisément, les performances de rappel différé s'améliorent à mesure que le nombre de distracteurs qui suit chaque item à mémoriser augmente. Dans une étude, Loaiza et McCabe

(2013, Expérience 2) ont testé l'hypothèse d'une altération du rafraîchissement attentionnel liée à l'âge dans le cadre de ce paradigme. Spécifiquement, les auteurs ont comparé l'effet de la manipulation du nombre de distracteurs sur la mémorisation à long terme chez des adultes jeunes et âgés. Conformément à l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel est déficitaire dans le vieillissement, Loaiza et McCabe (2013, Expérience 2) ont observé que les performances de mémorisation à long terme des personnes âgées étaient moins influencées par le nombre de distracteurs que celles des adultes jeunes. Dans une étude ultérieure, Loaiza, Rhodes et Anglin (2015) ont observé des résultats similaires.

Le deuxième paradigme ayant permis de mettre en évidence l'effet du rafraîchissement sur la mémorisation à long terme des informations verbales correspond à l'instruction plus directe d'utiliser ce mécanisme (e.g., Johnson et al., 2002). Par exemple, dans l'étude de Johnson et collègues (2002), des adultes jeunes et âgées devaient lire des mots présentés un par un sur un écran. Chaque mot était suivi d'un mot nouveau qui devait être lu (*mots lus*), du même mot qui devrait être répété (*mots répétés*), ou d'un point sur l'écran, signalant au participant de penser au mot vu précédemment et de le dire à haute voix (*mots rafraîchis*). Après la fin de la présentation de tous les items, et passé un délai de 5 min, les participants devaient reconnaître les items qu'ils avaient vus pendant la phase de présentation parmi des items distracteurs. Pendant cette phase de reconnaissance, les participants devaient donc juger comme "nouveau" ou "ancien" chaque item présenté. Pour les jeunes adultes, les auteurs ont observé que les performances de reconnaissance étaient meilleures pour les mots rafraîchis que pour les mots répétés. Cependant, les auteurs n'ont pas observé de différence significative entre les mots rafraîchis et répétés chez les adultes âgés.

Concernant les effets à court terme de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel, nous avons vu que dans, le cadre du modèle TBRS (Chapitre 2), de nombreuses études ont été menées, à la fois chez le jeune adulte, mais aussi dans le cadre du développement de la MDT

chez les enfants. Pourtant, concernant l'évolution de la MDT dans le vieillissement, à notre connaissance une seule étude a été menée (Baumans, Adam, & Seron, 2012). Dans cette étude, des adultes jeunes et âgés devaient mémoriser des séries de lettres, chaque série étant suivie par une séquence de huit chiffres dont les participants devaient juger la couleur en appuyant sur une touche d'un clavier. Après avoir répondu au dernier chiffre de la séquence, les participants devaient rappeler les lettres dans leur ordre de présentation. Les auteurs ont fait varier la vitesse de présentation des chiffres pour manipuler le CC de la tâche. Les résultats observés par les auteurs ont montré qu'une faible variation du CC ne produisait pas d'effet significatif sur les performances de mémorisation des participants âgés (Baumans et al., 2012, Expérience 1) et qu'une variation plus importante du CC entraînait un effet équivalent sur les performances des adultes jeunes et âgés (Baumans et al., 2012, Expérience 2). Les résultats de l'Expérience 2 de Baumans et collègues semblent donc contraires à l'hypothèse d'une atteinte spécifique du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement (mais voir Jarjat, Hot & Portrat, 2018, Chapitre 4) puisque sous cette hypothèse, les personnes âgées devraient moins bénéficier de l'augmentation des possibilités d'en faire usage et l'on devrait observer une interaction entre l'âge des participants et l'effet du CC sur les performances de mémorisation à court terme (voir Chapitre 4).

De cette revue de la littérature concernant l'évolution avec l'âge du rafraîchissement attentionnel sur du matériel verbal, il ressort un ensemble de résultats inconsistant. Les études s'étant intéressées à l'effet du rafraîchissement attentionnel sur la mémorisation à long terme ont mis en évidence un effet de l'âge (e.g., Loaiza & McCabe, 2013; Johnson et al., 2002), tandis que la seule étude, à notre connaissance, s'étant intéressée à son effet sur la mémorisation à court terme n'a pas mis en évidence d'effet de l'âge (Baumans et al., 2012). Au vu de l'importance accordée au rafraîchissement attentionnel dans le fonctionnement de la MDT et des résultats divergents de la littérature, poursuivre les travaux de recherche

concernant l'effet de l'âge sur le rafraîchissement attentionnel apparaît nécessaire. L'ensemble de ces considérations nous a amené à étudier l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel avec l'âge au travers de deux lignes de recherches s'intéressant respectivement au maintien à court et à long terme et dont l'objectif était de répondre à la question suivante : *Le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel pour le maintien d'informations verbales est-il modulé par l'âge ?*





## Chapitre 4. Etudes Expérimentales

---

Dans le présent chapitre, nous allons présenter une série d'expériences réalisées chez de jeunes adultes et chez des personnes âgées. L'objectif de ces études était de tester l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel est spécifiquement altéré avec l'avancée en âge (voir Chapitre 3). Pour cela, nous avons exploré les effets de l'utilisation de ce mécanisme par ces deux groupes d'âge sur deux composantes mnésiques. Premièrement, nous nous sommes intéressés à son implication dans les performances de mémorisation à court terme (Études 1-4). Deuxièmement, nous nous sommes intéressés à son effet sur la mémorisation à long terme. Plus précisément, nous avons exploré l'implication du rafraîchissement attentionnel dans les performances de rappel différé d'informations verbales (Études 5 et 6) ainsi que dans les performances de mémoire de source (Étude 7). Pour chacune des études, l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées menait à la prédiction d'une modulation de son effet en fonction du groupe d'âge des participants. En effet, dans le cas où les personnes âgées utilisent le rafraîchissement attentionnel, mais que ce dernier est altéré, les personnes âgées devraient tirer moins bénéfice de son utilisation comparées à de jeunes adultes, et ce pour toutes les composantes mnésiques influencées par ce mécanisme.

Dans les Études 1-4, notre objectif était de faire varier les possibilités d'utilisation du rafraîchissement attentionnel par des adultes jeunes et âgés en manipulant le CC de tâches d'empan complexe. La manipulation de cette variable nous a permis de tester directement la prédiction découlant d'un déficit du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées : dans une tâche d'empan complexe, les performances de mémorisation immédiate des

personnes âgées devraient être moins sensibles à la variation du CC que celles des personnes jeunes. Dans l'Étude 5, nous nous sommes intéressés à deux facteurs permettant de manipuler l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe, connus pour influencer les performances de rappel différé d'informations chez de jeunes adultes: le CC et le nombre de distracteurs. Les résultats de cette étude nous ont amené à proposer que ces deux facteurs influencent une variable sous-jacente commune, le temps libre cumulé, qui module l'opportunité d'utiliser le mécanisme de rafraîchissement attentionnel et influence les performances de mémorisation à long terme. L'Étude 5 ayant été menée auprès de jeunes adultes uniquement, et les résultats ayant été concluants, nous avons recruté des personnes âgées pour leur faire passer le même protocole expérimental. L'objectif de cette Étude 6 était d'observer si, en accord avec l'hypothèse d'un déficit du maintien attentionnel dans le vieillissement, les performances de mémorisation différée des personnes âgées étaient moins influencées que les adultes jeunes par la variation du temps libre cumulé dans des tâches d'empan complexe. Enfin, dans l'Étude 7, nous avons fait varier l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dans une tâche de mémoire de source. L'objectif de cette étude était de tester (1) l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel influence la création d'associations entre les informations et les éléments non-sémantiques de leur contexte d'apprentissage, et (2) que le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel sur la création de ces associations est diminué chez des personnes âgées.

## **1. Rafraîchissement attentionnel et mémorisation à court terme**

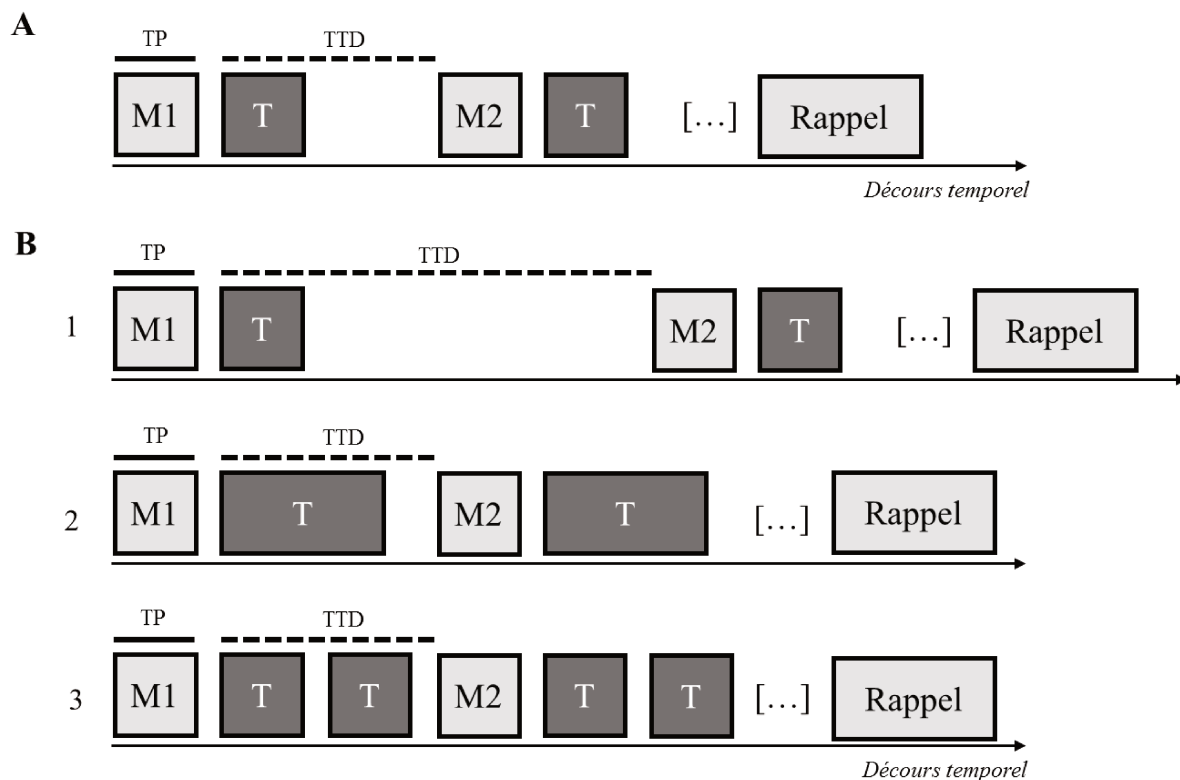
L'objectif de cette première série d'études était de mettre en évidence un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées, par le biais de la

manipulation du CC d'une tâche d'empan complexe impliquant un rappel immédiat. Parmi les nombreuses tâches évaluant la MDT (e.g., *memory updating task*, *running span task*, *digit span task*, *complex span task*), les tâches d'empan complexe (*complex span task*) sont à l'heure actuelle majoritairement utilisées pour évaluer la MDT car elles s'avèrent être de très bons prédicteurs de nombreux aspects de la cognition comprenant, entre autres, l'apprentissage et la compréhension du langage (e.g., Baddeley et al., 1998; Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996), ou encore le contrôle attentionnel (e.g., Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001). De plus, les performances dans les tâches d'empan complexe corréleront fortement avec les mesures de l'intelligence fluide, indiquant ainsi une relation importante entre les capacités de MDT et les capacités de raisonnement dans de nouvelles situations (Engle et al., 1999; Kane et al., 2005; Oberauer et al., 2005; pour une discussion récente sur les liens entre capacité de MDT et intelligence fluide, voir Engle, 2018).

À la différence des tâches d'empan simple, qui consistent à présenter des listes d'items à mémoriser, suivis d'une phase de rappel, les tâches d'empan complexe comprennent une activité de traitement supplémentaire. Dans un tel paradigme, on peut faire varier les caractéristiques de la liste d'items à mémoriser, mais aussi celles de l'activité de traitement : sa modalité de présentation (e.g., auditif, visuel), sa nature (e.g., chiffres, lettres, mots, symboles) ou encore son rythme de présentation. Par exemple, la tâche d'empan de lecture (*reading span task*; Daneman & Carpenter, 1980), première tâche d'empan complexe proposée dans la littérature, consiste, pour les participants, à lire des séries de phrases et mémoriser le dernier mot de chacune (Daneman & Carpenter, 1980; Expérience 1). Dans une version légèrement différente, (Daneman & Carpenter, 1980; Expérience 2), les participants ont pour consigne supplémentaire de juger si les phrases qu'ils lisent sont vraies ou fausses.

Bien que cette tâche présente de nombreuses qualités, elle n'offre en revanche que très peu de contrôle sur le déroulement temporel des processus de maintien et de traitement mis en jeu dans sa réalisation. Les participants sont, par exemple, libres d'adapter la vitesse de lecture des phrases, ou leur rythme de réponse à la tâche de jugements comme ils le souhaitent. Or, comme nous l'avons vu au travers de la présentation du modèle TBRS (voir Chapitre 2), la prise en compte des contraintes temporelles qui pèsent sur les processus de MDT dans une tâche d'empan complexe est primordiale pour étudier la mémorisation d'informations à court terme. Plus précisément, la proportion de temps dédiée à l'activité de traitement ainsi que la proportion de temps libre pour maintenir les informations à mémoriser influencent les performances de rappel. Pour explorer les effets de l'âge sur le rafraîchissement attentionnel, nous avons par conséquent utilisé une procédure permettant un contrôle fin du déroulement temporel des processus de MDT. À cet égard, la procédure développée par Barrouillet et collègues (2004) est particulièrement pertinente. De plus, cette procédure est un aussi bon prédicteur des capacités d'intelligence fluide que les mesures d'empan traditionnelles (Lucidi, Loaiza, Camos, & Barrouillet, 2014). Dans ce paradigme, la tâche d'empan complexe est implémentée sur ordinateur. Des séries d'items à mémoriser sont présentées, chaque item étant suivi par une activité de traitement (Figure 4.1A). Dès que l'activité de traitement qui suit la présentation du dernier item à mémoriser se termine, les participants doivent rappeler les items de la liste dans leur ordre de présentation. Dans cette situation, plusieurs procédures permettent de manipuler le CC de la tâche (Figure 4.1B). Premièrement, en faisant varier le temps total disponible pour réaliser l'activité de traitement (i.e., sa vitesse de présentation). Plus le temps total sera élevé (i.e., plus la vitesse sera lente), plus le CC sera faible. Deuxièmement, pour un même temps total, une activité de traitement nécessitant plus de temps pour être réalisée induira un CC plus élevé. Enfin, pour un même temps total et une

même activité de traitement, augmenter le nombre de traitements à effectuer augmentera le CC.



**Figure 4.1.** A. Illustration d'un essai d'une tâche d'empan complexe. Les items à mémoriser (M1, M2), sont présentés séquentiellement à l'écran pendant un temps de présentation (TP) fixé par l'expérimentateur. Après chaque item à mémoriser, les participants doivent effectuer une tâche de traitement (T) dans l'intervalle de temps total disponible (TTD) fixé par l'expérimentateur. B. Illustration des différentes méthodes permettant de manipuler le CC d'une tâche d'empan complexe. Comparé à celui de la situation illustrée dans la partie A, le CC est diminué en ralentissant la vitesse de présentation de l'activité de traitement (B.1), augmenté avec une activité de traitement nécessitant plus de temps pour être réalisée tout en maintenant constant le TTD (B.2), et augmenté en ajoutant une activité de traitement supplémentaire dans le même TTD (B.3).

Pour chacune des études que nous avons menées, nous nous sommes intéressés à l'effet de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel sur les performances de rappel immédiat de deux groupes d'âge: des adultes jeunes et des adultes âgés. Ainsi, dans toutes nos études, nous avons pris soin de gêner l'utilisation de la répétition subvocale en utilisant une procédure de suppression articulatoire (voir Chapitre 2). Dans les Études 1 et 2, nous avons exploré la mémorisation à court terme des participants au moyen d'une procédure d'empan

progressif. Dans cette situation, le nombre d'items à mémoriser variait d'un essai à l'autre, selon que le participant réussissait ou non le rappel à l'essai précédent. L'objectif de cette procédure était d'utiliser une méthode connue pour être applicable sur des populations pathologiques (e.g., Fournet, Moreaud, Roulin, Naegle, & Pellat, 2000; Huntley & Howard, 2010).

### ***1.1. Étude 1: l'effet du délai de rétention et du CC sur les performances de mémorisation à court terme des adultes jeunes et âgés.***

Dans cette première étude, nous nous sommes intéressés à l'effet du vieillissement sur l'utilisation du rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe. Plus spécifiquement, notre objectif était de déterminer si les personnes âgées, comme les jeunes adultes, sont capables, dans un tel paradigme, de mettre en place un maintien d'informations qui ne repose pas sur la répétition subvocale. Comme nous l'avons vu, le fonctionnement normal de la MDT chez de jeunes adultes repose sur un partage temporel des ressources attentionnelles disponibles (Chapitre 2). Plus précisément, les travaux de Barrouillet et collaborateurs ont montré que les performances de mémorisation dans les tâches d'empan complexe ne dépendent pas du temps total de rétention des informations mais du CC de la tâche (e.g., Barrouillet, Portrat, Vergauwe, Diependaele, & Camos, 2011). De plus, comme l'ont montré les travaux menés chez les enfants, la relation entre CC et performances de mémorisation dépend de l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Par exemple, Gaillard, Barrouillet, Jarrold et Camos (2011) ont montré que l'augmentation des capacités de MDT chez les enfants était en partie expliquée par une augmentation de l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Plus précisément, les auteurs ont observé que les différences de performance dans une tâche d'empan complexe, entre des

enfants âgés entre 11 et 12 ans et des enfants âgés entre 8 et 9 ans, disparaissaient lorsque ces derniers bénéficiaient d'un temps plus long pour utiliser le rafraîchissement attentionnel (Gaillard et al., 2011, Expérience 3). Sous l'hypothèse d'une diminution de l'efficacité du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées, il devrait donc être possible d'observer une diminution de la relation entre CC et performances et mémorisation. En d'autres termes, le rafraîchissement attentionnel étant altéré, les personnes âgées devraient tirer moins de bénéfice d'une augmentation de la proportion de temps pouvant être allouée au maintien des informations et ainsi, la différence de performances entre un CC élevé et un CC faible devrait être plus faible que chez de jeunes adultes.

Néanmoins, comme l'ont montré des travaux chez des enfants, la relation entre CC et performances de mémorisation n'est pas observée chez une population n'utilisant pas le rafraîchissement attentionnel. Par exemple, Camos et Barrouillet (2011) ont observé que les performances de mémorisation d'enfants de 6 ans sont influencées par la durée de rétention des informations dans une tâche d'empan complexe mais pas par son CC, alors que le pattern inverse est observé chez des enfants de 7 ans. Les auteurs ont conclu de ces résultats qu'il existe un changement de stratégie de maintien des informations en MDT entre 6 et 7 ans ; d'un maintien passif des informations, sans utilisation du rafraîchissement attentionnel, chez les enfants de 6 ans à un maintien actif, reposant sur ce mécanisme, chez les enfants de 7 ans. Avant de tester l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, dans l'Étude 1 nous avons souhaité écarter l'hypothèse que les personnes âgées, comme les enfants de 6 ans, n'utilisent pas le rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe. Si les personnes âgées utilisent ce mécanisme alors il devrait être possible d'observer que leurs performances de mémorisation dans une tâche d'empan complexe (1) ne sont pas significativement influencées par le délai de rétention des informations, mais (2) sont significativement influencées par le CC de la tâche de traitement.



Pour tester ces hypothèses, nous nous sommes inspirés du paradigme de Camos et Barrouillet (2011). Un groupe de jeunes adultes et de personnes âgées ont réalisé une tâche d'empan complexe dans laquelle (1) nous avons fait varier le délai de rétention des informations tout en maintenant un CC constant et (2) fait varier le CC de la tâche tout en maintenant constant le délai de rétention. Pour cela, nous avons construit trois conditions expérimentales. Deux de ces conditions impliquent un même délai de rétention des informations mais un CC différent quand deux impliquent un délai de rétention différent mais un CC équivalent. Pour construire ces conditions expérimentales, nous avons fait varier le nombre et la vitesse d'apparition des stimuli que devaient traiter les participants. Plus précisément, après chaque information à mémoriser, les participants devaient réaliser deux traitements apparaissant toutes les 2400 ms dans une première condition, trois traitements apparaissant toutes les 2400 ms dans une deuxième condition et trois traitements apparaissant toutes les 1600 ms dans une troisième condition. Entre la première et la deuxième condition, le CC de la tâche était donc identique mais la durée de rétention était plus courte dans la première. Entre la première et la troisième condition, le délai de rétention était identique ( $2 \times 2400 = 4800$  ms et  $3 \times 1600 = 4800$  ms) mais le CC était plus élevé dans la troisième.

Sous l'hypothèse d'une stratégie de maintien active des informations reposant sur le rafraîchissement attentionnel dans les deux groupes d'âge, nous prédisons donc que les performances de mémorisation devraient être différentes lorsque le CC de la tâche varie, mais qu'il ne devrait pas y avoir de différence significative lorsque le délai de rétention est manipulé. De plus, si le mécanisme de rafraîchissement attentionnel est déficitaire chez les personnes âgées, celles-ci devraient tirer moins profit de la réduction du CC de la tâche comparées aux jeunes adultes. Nous prédisons donc une interaction entre l'effet du CC et le groupe d'âge sur les performances de mémorisation.

### 1.1.1. Méthode

**Participants.** Un total de 47 étudiants en psychologie de l'Université Grenoble Alpes et 35 personnes de plus de 60 ans ont participé volontairement à l'expérience. Seize étudiants ont été exclus de toute analyse du fait de problème informatique pendant la passation ( $n = 2$ ), d'avoir rapporté des problèmes neurologiques ou psychiatriques ( $n = 3$ ), de ne pas être de langue maternelle française ( $n = 1$ ), d'avoir plus de 50 ans ( $n = 1$ ), ou d'une symptomatologie anxieuse certaine, mise à jour par la passation de l'*Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS-Depression; scores > 11, n = 9)*. Quatre personnes âgées de plus de 60 ans ont été exclus de toute analyse du fait de problème pendant la passation ( $n = 1$ ), d'avoir rapporté des problèmes neurologiques ou psychiatriques ( $n = 1$ ), d'avoir rapporté des problèmes avec l'alphabet ( $n = 1$ ) ou d'avoir obtenu un score inférieur à la norme au MMSE ( $n = 1$ ). L'échantillon final était donc de 31 participants par groupe d'âge (voir Tableau 4.1). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée à la normale, et n'ont pas rapporté d'antécédents neurologiques ou psychiatriques. Les étudiants ont reçu des points supplémentaires sur leur note d'examen en contrepartie de leur participation, tandis que les personnes âgées n'ont pas reçu de compensation. Tous les participants ont signé un formulaire d'information et de consentement avant de participer à l'étude, approuvée par un comité d'éthique (CERNI 2015-05-12-65).

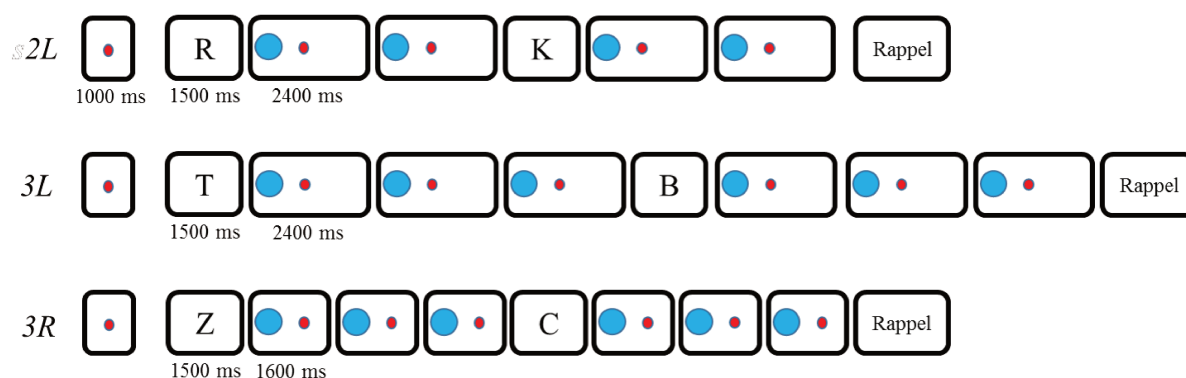
**Table 4.1.** Informations sur les participants de l'Étude 1.

Mesure	Jeunes adultes	Personnes âgées
Echantillon ( <i>n</i> exclusions)	31 (16)	31 (4)
Moyenne d'âge (écart-type)	21 (4.4)	69.7 (7.4)
Sexe (H/F)	3/28	10/21
MMSE (écart-type)	-	28.8 (1.1)
HADS-Anxiété	6.4 (2.4)	6.1 (2.5)
HADS-Dépression	3 (2.5)	4 (2.3)

*Note.* MMSE = mini mental status examination; HADS = Hospital Anxiety and Depression Scale

**Matériel et procédure.** Chaque participant a réalisé l'étude individuellement, en présence de l'expérimentateur. Dans chaque groupe d'âge, les participants étaient assignés aléatoirement à la condition avec ou sans suppression articulatoire. En premier lieu, tous les participants ont répondu à l'HADS (Zigmond & Snaith, 1983), évaluant leur niveau d'anxiété et de dépression, complété, pour les personnes âgées, du Mini-Mental State Examination (*MMSE*, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; Kalafat, Hugonot-Diener, & Poitrenaud, 2003). Les participants ont ensuite réalisé la tâche d'empan complexe programmée sous Open Sesame (Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012), sur une tablette tactile (1280x800). La tablette était placée à plat, sur une table, de telle manière qu'il était confortable pour le participant de placer ses mains de part et d'autre de la tablette. La tâche consistait à mémoriser des listes de lettres tout en réalisant une activité visuo-spatiale (Figure 4.2). Les listes de lettres ont été construites avec les consonnes de l'alphabet français à l'exception du "w", seule consonne trisyllabique. Une consonne n'apparaissait qu'une fois dans une même liste. Les acronymes connus (e.g., G-P-S, C-R-S) ont été évités, dans la mesure du possible. La tâche visuo-spatiale consistait à toucher des ronds bleus apparaissant aléatoirement à droite ou à gauche de l'écran. Dans une

première condition, chaque consonne était suivie de deux ronds apparaissant à vitesse lente (condition *2L* par la suite). Dans une deuxième condition, chaque consonne était suivie par trois ronds apparaissant à vitesse rapide (condition *3R* par la suite). Enfin, dans une troisième condition, chaque consonne était suivie par trois ronds apparaissant à vitesse lente (condition *3L* par la suite). Chaque condition expérimentale incluait 10 essais. Nous avons construit 3 versions du programme afin de contrebalancer les listes associées à chaque condition. Les participants étaient affectés à un programme de façon séquentielle (i.e., le premier participant passait le programme 1, le deuxième passait le programme 2, etc). Dans chaque programme, l'ordre de présentation des 10 listes dans chaque condition était aléatoire et les conditions étaient présentées aléatoirement par bloc.



**Figure 4.2.** Illustration d'un essai avec 2 lettres à mémoriser dans les 3 conditions expérimentales de la tâche. Dans la condition *2L* (i.e., 2 ronds/Lent), chaque lettre était suivie de 2 ronds apparaissant toutes les 2400 ms. Dans la condition *3R* (i.e., 3 ronds/ Rapide), chaque lettre était suivie de 3 ronds apparaissant toutes les 1600 ms. Les conditions *2L* et *3R* impliquaient donc un même délai de rétention (4800 ms) mais différents CC. Dans la condition *3L* (i.e., 3 ronds/Lent), chaque lettre était suivie de 3 ronds apparaissant toutes les 2400 ms. Les conditions *2L* et *3L* impliquaient donc différents délais de rétention mais un même CC.

Chaque essai débutait par un écran indiquant le nombre de consonnes à mémoriser. Un point central de fixation apparaissait ensuite pendant 1000 ms, suivi immédiatement de la première consonne de la liste à mémoriser. Les lettres étaient affichées au centre de l'écran pendant 1500 ms. Les participants devaient lire à haute voix chaque lettre qui apparaissait. Selon la condition expérimentale, chaque lettre était suivie de deux ou trois ronds bleus

(diamètre = 128 pixels) apparaissant aléatoirement à droite ou à gauche de l'écran (à 300 px à droite ou à gauche du centre de l'écran, respectivement). Les ronds apparaissaient toutes les 1600 ms dans la condition 3R et toutes les 2400 ms dans les conditions 2L et 3L. Les participants avaient pour instruction de toucher les ronds le plus rapidement possible tout en évitant de faire des erreurs. Lorsque les participants touchaient un rond, celui-ci disparaissait et l'écran restait vide jusqu'à ce qu'un nouveau rond apparaisse. Dans la condition suppression articulatoire, les participants avaient pour instruction de toucher les ronds tout en articulant à voix haute la syllabe « ba » toutes les secondes. À la fin de chaque essai, le mot « Rappel » apparaissait à l'écran, indiquant aux participants de rappeler à l'oral, et dans l'ordre, la liste de consonnes. L'expérimentateur prenait en note les lettres rappelées par le participant en remplissant une grille de réponses prévue à cet effet. L'expérimentateur appuyait ensuite sur « OK », puis, sur l'écran suivant, indiquait si le rappel était correct ou incorrect en appuyant sur un bouton vert ou rouge, respectivement. Dans chaque condition, le premier essai commençait par une liste de deux consonnes à mémoriser. Le nombre de consonnes à mémoriser dans les essais suivants dépendait du rappel des participants. Plus précisément, pour un rappel correct le nombre de consonnes à l'essai suivant augmentait de un (maximum de 7 consonnes à mémoriser). Au contraire, si le rappel était incorrect, le nombre de consonnes diminuait de un à l'essai suivant (minimum de 1 consonne à mémoriser). Par cette procédure, la longueur des listes à mémoriser tendait à osciller autour de l'empan maximal des participants. Le taux de bonnes réponses et les temps de réaction à la tâche visuo-spatiale étaient aussi enregistrés.

La session expérimentale était précédée par une phase d'entraînement. Dans un premier entraînement, les participants étaient familiarisés à la tâche de détection des ronds. Premièrement, les participants devaient toucher 15 ronds apparaissant aléatoirement à droite ou à gauche de l'écran à rythme lent. S'ils ne touchaient pas le rond ou s'ils commettaient une

erreur, un signal sonore retentissait. La tablette enregistrait le nombre d'erreurs et affichait le pourcentage de bonnes réponses du participant après le dernier rond. Les participants devaient obtenir au moins 80 % de réponses correctes pour continuer. Si le seuil de réussite n'était pas atteint, l'entraînement était lancé à nouveau. Deuxièmement, les participants devaient toucher 15 ronds apparaissant à rythme rapide. Ici aussi, les participants avaient un retour sonore en cas d'erreur et devaient atteindre un seuil de 80 % de bonnes réponses pour continuer. Dans le deuxième entraînement, les participants étaient familiarisés à la tâche d'empan complexe. Dans un premier essai, les participants devaient mémoriser 2 consonnes dans la condition 2L. Dans un second essai, les participants devaient mémoriser 3 consonnes dans la condition 3R. Pour ces deux essais, les participants n'avaient pas de retour sonore sur la tâche de détection. L'expérimentateur indiquait sur la tablette si le rappel des participants était juste ou faux comme pour la phase expérimentale. Néanmoins, les participants effectuaient les deux essais à la suite, indépendamment de la réussite ou non de leurs rappels.

### *1.1.2. Résultats*

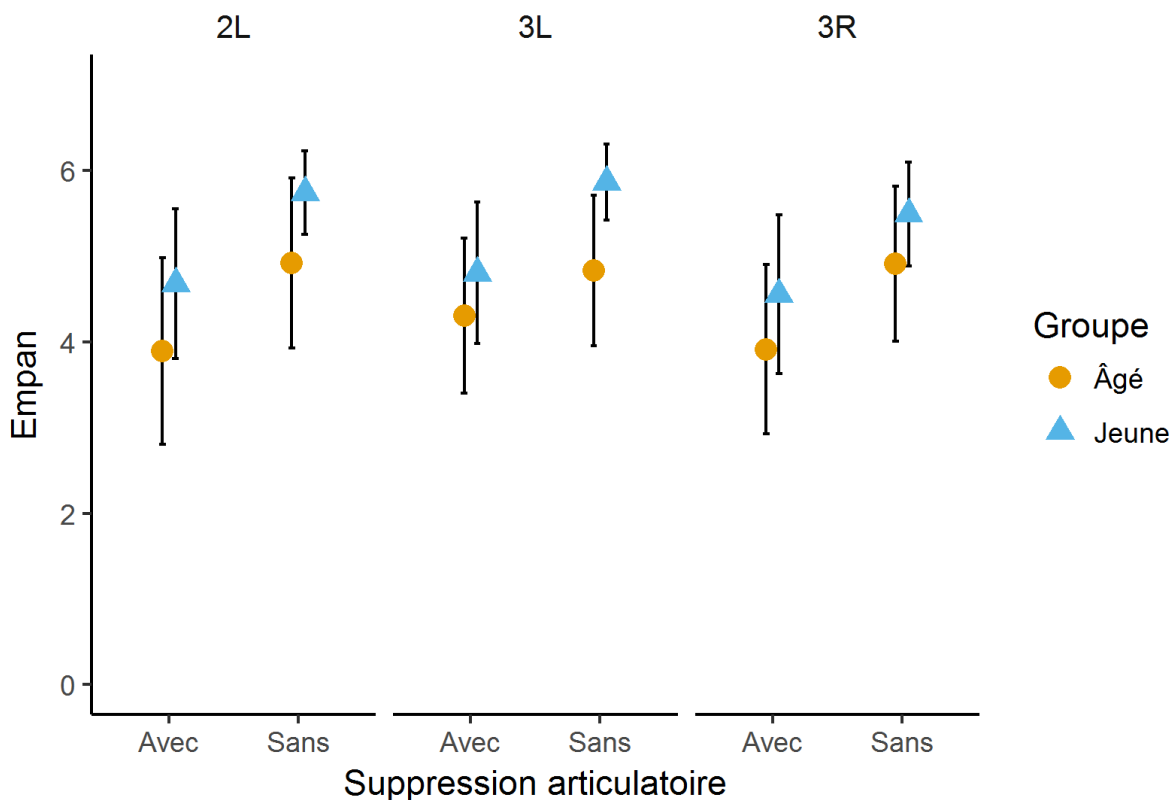
Les analyses statistiques ont été réalisées sur RStudio version 3.4.0 pour Windows (RStudio Team, 2016). Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux réponses correctes à l'activité de traitement. Dans toutes les conditions expérimentales, tous les participants ont atteint un taux moyen de bonnes réponses élevé à la tâche de détection des ronds (min = 79,6 % ; max = 100 %). Les analyses subséquentes ont donc inclus tous les participants, qui se sont correctement investis dans l'activité de traitement de la tâche d'empan complexe. Les performances moyennes à l'activité visuo-spatiale en fonction du groupe et des conditions expérimentales sont présentées dans le Tableau 4.2.

**Table 4.2.** Moyennes (et écart-types) des pourcentages de réponses correctes à l'activité de traitement en fonction des groupes et des conditions expérimentales.

Condition		Jeunes adultes	Personnes âgées
Sans suppression articulatoire	2L	99.9 (0.3)	96.9 (6.1)
	3L	100 (0.0)	99.2 (0.8)
	3R	99.7 (0.4)	96.6 (3.1)
Avec suppression articulatoire	2L	99.6 (1.2)	97.5 (5.1)
	3L	99.5 (0.7)	98.8 (2.3)
	3R	99.5 (0.9)	97.8 (4.3)

Concernant les performances de mémorisation, pour chaque participant, nous avons calculé un empan moyen par condition expérimentale correspondant au nombre de consonnes affichées dans les 8 dernières listes de chaque condition expérimentale (Fournet et al., 2000; pour une procédure similaire). Les performances en fonction du groupe et des conditions expérimentales sont illustrées par la Figure 4.3. Nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) sur les empans moyens à l'aide du package "afex" (Singmann, Bolker, Westfall & Aust, 2018) avec le facteur condition (2L vs. 3L vs. 3R) en intra-sujet et les facteurs groupes (jeunes adultes vs. adultes âgés) et suppression articulatoire (avec vs. sans) en inter-sujet. Le test de Mauchly ayant montré une violation significative de l'hypothèse de sphéricité des variances,  $\chi^2(2) = 9.69, p = .008$ , nous avons analysé les résultats de l'ANOVA impliquant le facteur intra-sujet au regard des corrections Greenhouse-Geisser appliquées sur les degrés de liberté. Les résultats ont révélé un effet du groupe : l'empan moyen était significativement meilleur chez les jeunes adultes ( $M = 5.07; ET = .90$ ) que chez les adultes âgés ( $M = 4.50; ET = 1.03$ ),  $F(1, 58) = 13.85, p < .001, \eta^2G = .15$ . De plus, nous avons observé un effet de la suppression articulatoire: l'empan moyen était meilleur dans la condition sans suppression

articulatoire ( $M = 5.22$ ;  $ET = .87$ ) que dans la condition avec suppression articulatoire ( $M = 4.41$ ;  $ET = .97$ ),  $F(1, 58) = 23$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2G = .23$ . Les résultats n'ont en revanche pas révélé de différences significatives des empan moyen selon les conditions de l'activité de traitement,  $F(1.73, 100.31) = 3.19$ ,  $p = .052$ ,  $\eta^2G = .01$ . Nous n'avons observé aucune interaction significative ( $ps > .05$ ).



**Figure 4.3.** Empan moyens (et écart-types) en fonction du groupe d'âge (âgé vs. jeune), de la suppression articulatoire (avec vs. sans) et de la condition de l'activité de traitement, 2 ronds lent (2L), 3 ronds lent (3L) ou 3 ronds rapide (3R).

Nous avons ensuite examiné le CC induit par la tâche. Pour cela, nous avons utilisé les temps de réponses moyens à l'activité de traitement. Pour le calcul de ces temps de réponses moyens, seuls les temps aux réponses correctes ont été pris en compte. Le tableau 4.3 présente

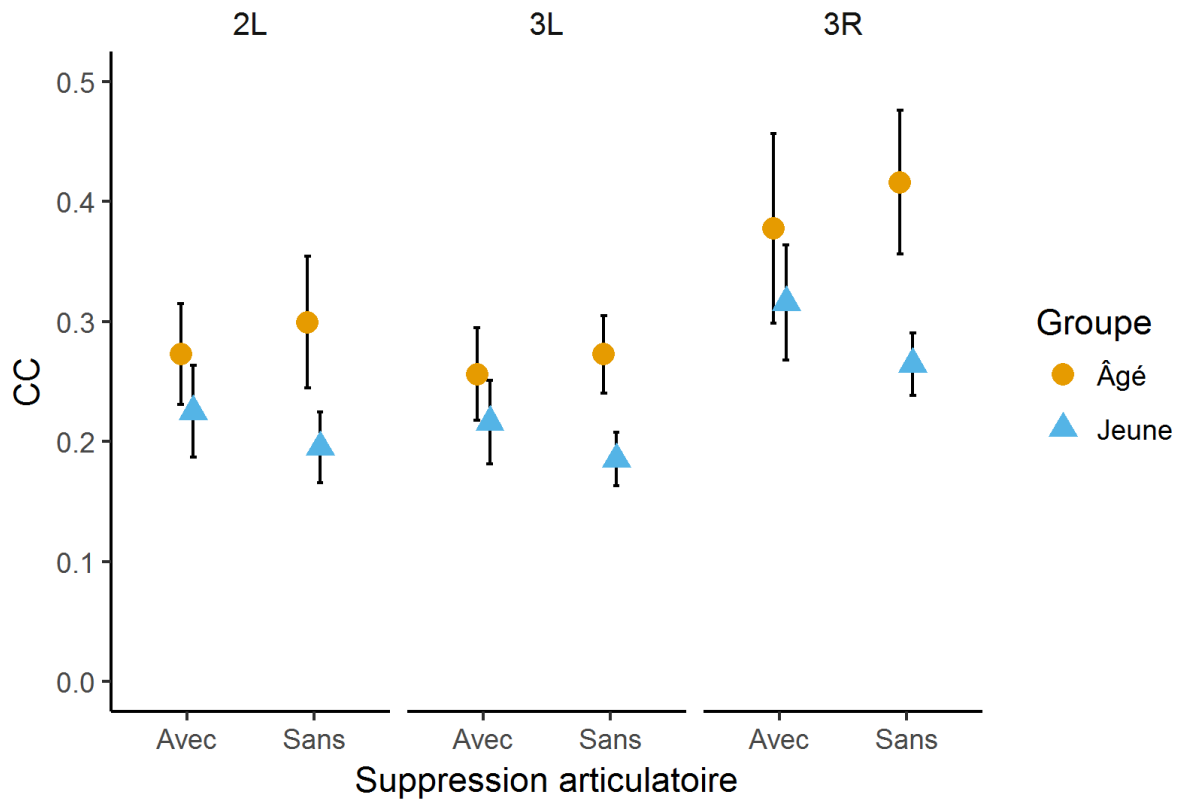


les temps de réponses moyens, ainsi que les CC associés, selon les groupes et conditions expérimentales. Nous avons réalisé une ANOVA sur les CC avec le facteur condition (2L vs. 3L vs. 3R) en intra-sujet et les facteurs groupes (jeunes adultes vs. adultes âgés) et suppression articulatoire (avec vs. sans) en inter-sujet. Le test de Mauchly n'a pas indiqué une violation significative de l'hypothèse de sphéricité des variances,  $\chi^2(2) = 4.52, p = .104$ .

**Table 4.3.** Moyennes (et écart-types) des temps de réponses à l'activité de traitement (ms) et son coût cognitif associé, en fonction des groupes et des conditions expérimentales.

Condition		Jeunes adultes		Adultes âgés	
		Temps réponse	CC	Temps réponse	CC
Sans suppression articulatoire	2L	469 (70.7)	.20 (.03)	719 (132)	.30 (.06)
	3L	445 (52.9)	.19 (.02)	655 (77.8)	.27 (.03)
	3R	423 (41.8)	.26 (.03)	666 (95.9)	.42 (.06)
Avec suppression articulatoire	2L	540 (91.6)	.23 (.04)	655 (101)	.27 (.04)
	3L	519 (83.8)	.22 (.03)	615 (92.9)	.26 (.04)
	3R	506 (76.6)	.32 (.05)	604 (126)	.38 (.08)

Les résultats ont révélé un effet significatif du groupe,  $F(1, 58) = 60.36, p < .001, \eta^2G = .46$ , ainsi que de la condition de l'activité de traitement,  $F(2, 116) = 379.93, p < .001, \eta^2G = .55$ . Nous avons également observé des interactions significatives entre le groupe et la suppression articulatoire,  $F(1, 58) = 9.34, p = .003, \eta^2G = .12$  ainsi qu'entre le groupe et l'activité de traitement,  $F(2, 116) = 12.87, p < .001, \eta^2G = .04$ . La triple interaction entre les facteurs groupe, suppression articulatoire et condition de l'activité de traitement était significative,  $F(2, 116) = 3.33, p = .039, \eta^2G = .01$ . Comme illustré dans la Figure 4.4, cette triple interaction suggère que l'interaction entre le groupe et la suppression articulatoire sur le CC de la tâche dépendait de la condition de l'activité de traitement.



**Figure 4.4.** CC moyens (et écart-types) en fonction du groupe d'âge (âgé vs. jeune), de la suppression articulatoire (avec vs. sans) et de la condition de l'activité de traitement, 2 ronds lent (2RL), 3 ronds lent (3RL) ou 3 ronds rapide (3RR).

### 1.1.3. Discussion intermédiaire

Dans cette première étude, de jeunes adultes et des adultes âgés ont réalisé une tâche d'empan complexe incluant des listes de consonnes à mémoriser tout en réalisant une activité visuo-spatiale. Nous avons fait varier la possibilité d'utiliser le mécanisme de répétition subvocale ainsi que le CC de la tâche. En lien avec la littérature, nous nous attendions, à ce que (1) les performances des participants jeunes soient meilleures que celles des participants âgés, (2) les performances des deux groupes d'âge diminuent avec l'introduction d'une articulation concurrente, (3) les performances des deux groupes d'âge ne soient pas influencées par la variation du délai de rétention des informations, quel que soit le niveau de suppression

articulatoire, et (4) les performances des deux groupes d'âge soient meilleures avec un CC plus faible, quel que soit le niveau de suppression articulatoire. Enfin, selon l'hypothèse d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel avec l'âge, nous prédisions également que (5) la diminution du CC de la tâche devrait moins influencer les performances des personnes âgées que celles des jeunes adultes.

Conformément à nos hypothèses et à la littérature, nous avons observé de meilleures performances de mémorisation chez les jeunes adultes que chez les personnes âgées (e.g., Bopp & Verhaeghen, 2005; Park et al., 2002). Nous avons également observé que l'introduction d'une articulation concurrente à la réalisation de la tâche a entraîné une réduction similaire des performances de mémorisation chez les deux groupes d'âge. Ces résultats suggèrent que les personnes âgées bénéficient de l'utilisation de la répétition subvocale à un degré similaire à celui des jeunes adultes et donc que ce mécanisme n'est pas, ou peu, impacté par le processus de vieillissement (Belleville et al. 1996; Loaiza & McCabe, 2013; Peters et al., 2007). Enfin, nous avons observé que les performances des deux groupes d'âge ne sont pas significativement influencées par une augmentation du délai de rétention des informations, que l'utilisation de la répétition subvocale soit gênée ou non. Ces résultats sont donc conformes à l'hypothèse de l'utilisation d'un mécanisme de rafraîchissement attentionnel chez ces deux groupes d'âge. Néanmoins, contrairement à notre prédiction, nous n'avons pas observé de différence significative des performances de mémorisation entre les conditions qui impliquent différents CC. Les résultats des analyses conduites sur le CC de la tâche suggèrent pourtant une différence significative du CC selon les conditions de vitesse de présentation de l'activité de traitement. L'absence d'effet sur la mémorisation ne semble donc pas résulter d'un défaut de la manipulation du CC de la tâche. Compte-tenu de la littérature substantielle concernant les effets du CC sur les performances de rappel immédiat (e.g., Barrouillet et al., 2004, 2007; Barrouillet, Gavens, Vergauwe, Gaillard, & Camos, 2009;

Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011), il est pourtant difficile d'affirmer que nos résultats remettent en question cette relation. En réalité, l'absence de lien entre CC et performance de mémorisation a déjà été observée dans la littérature. Barrouillet et collaborateurs (2007, Expérience 4) ont en effet montré que ce lien dépend du niveau de sollicitation de processus attentionnels contrôlés. Dans l'expérience 4 de leur étude, Barrouillet et collaborateurs (2007) ont ainsi contrasté les effets de la proportion de temps de traitement sur le temps total disponible pour une tâche de réaction nécessitant peu de contrôle attentionnel (i.e., appuyer sur une touche à l'apparition de stimuli), ainsi que pour une tâche de jugement spatial requérant une prise de décision et donc un recours attentionnel substantiel (i.e., appuyer sur la touche correspondante à la position d'un point sur l'écran). Dans cette dernière tâche, des processus de contrôle coûteux en terme attentionnel, qui ne sont pas mis en jeu dans une tâche de réaction simple, sont nécessaires pour répondre. Barrouillet et collaborateurs (2007) citent par exemple la nécessité de discriminer la position du stimulus, d'associer les touches du clavier correspondantes aux positions sur l'écran, ou encore de sélectionner une réponse. Les auteurs ont observé que la relation entre CC et mémorisation est présente lorsque l'activité de traitement implique ces nombreux processus contrôlés mais ils n'ont pas observé une telle relation dans la tâche simple de réaction, reposant peu sur ces processus. Au regard de ces résultats, nos propres observations suggèrent alors que l'activité de traitement que nous avons utilisé (appuyer sur un rond lors de son apparition sur l'écran de la tablette) impliquait trop peu de demande attentionnelle pour permettre d'observer un effet du CC. Pour tester cette hypothèse, nous avons recruté un nouveau groupe de jeunes adultes qui ont réalisé une tâche similaire à l'Étude 1, mais dont nous avons modifié l'activité de traitement.

## ***1.2. Étude 2: modulation de la relation entre coût cognitif et mémorisation à court terme selon l'activité de traitement.***

Au regard des résultats de l'Étude 1, nous avons légèrement modifié le paradigme expérimental utilisé dans cette nouvelle étude. Plus précisément, nous avons remplacé la tâche de détection des ronds par une tâche de jugement de parité. En effet, la littérature suggère que cette tâche est adéquate pour faire varier le CC d'une tâche d'empan complexe (Barrouillet et al. 2007).

### ***1.2.1. Méthode***

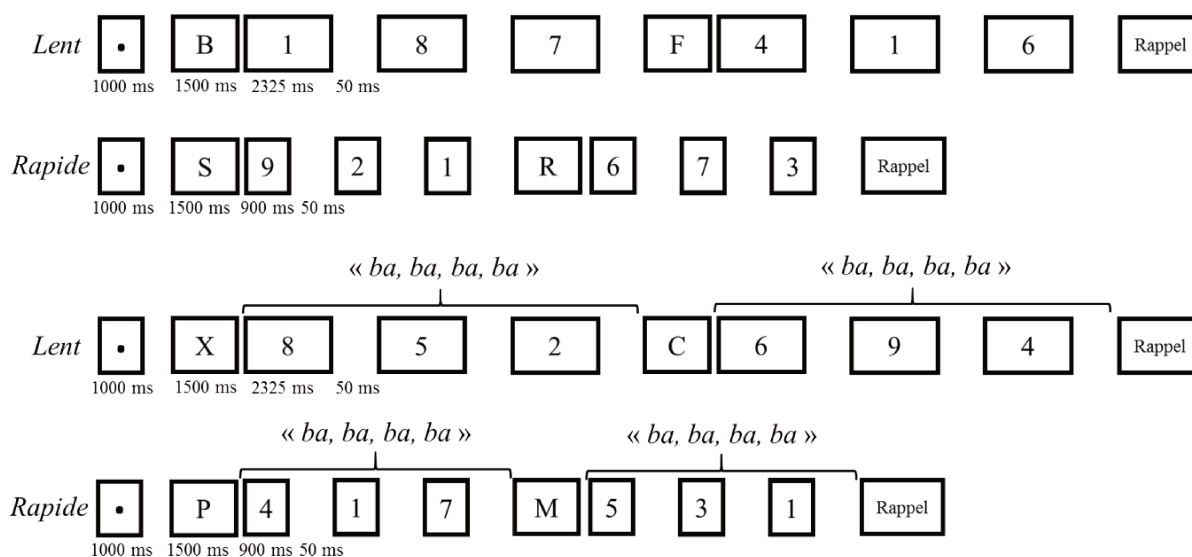
**Participants.** Un total de 74 étudiants en psychologie de l'Université Grenoble Alpes a participé volontairement à l'expérience. Six étudiants ont été exclus de toute analyse du fait de problème informatique pendant la passation ( $n = 2$ ), d'avoir rapporté des problèmes neurologiques ou psychiatriques ( $n = 2$ ), de ne pas être de langue maternelle française ( $n = 1$ ) ou d'avoir rapporté des problèmes avec l'alphabet ( $n = 1$ ). L'échantillon final était donc composé de 68 participants (54 femmes) âgés de 18 à 31 ans ( $M = 20.9$  ;  $ET = 2.3$ ). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée à la normale, et n'ont pas rapporté d'antécédents neurologiques ou psychiatriques. Les étudiants ont reçu des points supplémentaires sur leur note d'examen en contrepartie de leur participation. Tous les participants ont signé un formulaire d'information et de consentement avant de participer à l'étude, approuvée par un comité d'éthique (CERNI 2015-05-12-65).

**Matériel et procédure.** Chaque participant a réalisé l'étude individuellement, en présence de l'expérimentateur. Les participants étaient affectés séquentiellement à l'un des groupes expérimentaux (i.e., le premier participant dans le groupe avec suppression articulatoire, le deuxième dans le groupe sans, etc). Les participants étaient placés à environ 50 cm d'un ordinateur et d'un clavier AZERTY. Les tâches, programmées à l'aide du logiciel Open

Sesame (Mathôt et al., 2012), étaient affichées sur l'ordinateur. Dans un premier temps, les participants réalisaient un entraînement à l'activité de traitement de la tâche d'empan complexe. Une série de 18 chiffres, compris entre 1 et 9, apparaissait à vitesse lente à l'écran. Chaque chiffre apparaissait donc deux fois, aléatoirement, pendant la série. Les chiffres étaient affichés pendant 2325 ms, suivi d'un délai de 50 ms. Les participants devaient juger de la parité de chaque chiffre avant qu'il ne disparaisse. Pour cela, les participants pressaient les touches *M* et *Q* du clavier si le chiffre était pair ou impair, respectivement. Dans la condition avec suppression articulatoire, les participants devaient réaliser cet entraînement tout en articulant la syllabe "ba" toutes les secondes. Les participants devaient répondre correctement à 80 % des chiffres pour continuer. Lorsque ce seuil était atteint, les participants devaient répondre à une nouvelle série de 18 chiffres, apparaissant à vitesse rapide, selon les mêmes modalités que précédemment. Dans cette condition, les chiffres étaient affichés pendant 900 ms, suivis d'un délai de 50 ms. Les participants devaient répondre correctement à 80 % des chiffres pour continuer. Lorsque ce seuil était atteint, les participants réalisaient un deuxième entraînement.

Dans ce deuxième entraînement, les participants réalisaient deux essais de familiarisation à la tâche d'empan complexe (Figure 4.5). Dans les deux essais, les participants devaient lire à haute voix et mémoriser une liste de trois consonnes. Chaque essai débutait par un écran indiquant le nombre de consonnes à mémoriser et la vitesse d'apparition des chiffres. Un point central de fixation apparaissait ensuite pendant 1000 ms, suivi immédiatement de la première consonne de la liste à mémoriser. Chaque consonne, affichée pendant 1500 ms, était suivie de trois chiffres, dont les participants devaient juger la parité selon les mêmes modalités que précédemment. Comme précédemment, les chiffres étaient affichés pendant 2325 ms suivis d'un délai de 50 ms dans la condition lente, tandis qu'à vitesse rapide, ils restaient affichés pendant 900 ms. De même, les participants dans la

condition avec suppression articuloire devaient articuler la syllabe “ba” tout en répondant à la tâche de parité. À la fin de chaque essai, le mot “Rappel” apparaissait à l’écran, indiquant au participant qu’il devait rappeler dans l’ordre les trois consonnes présentées. L’expérimentateur prenait note de la réponse du participant. L’ordre de passation des deux essais d’entraînement était fixé, d’abord à vitesse lente puis à vitesse rapide. Pour passer à la phase expérimentale, les participants devaient répondre correctement à 80 % des chiffres présentés lors de cet entraînement.



**Figure 4.5.** Illustration d’un essai avec 2 lettres à mémoriser dans les différentes conditions expérimentales de la tâche. Dans la condition lente, chaque lettre était suivie de trois chiffres affichés pendant 2325 ms. Dans la condition rapide, chaque lettre était suivie de trois chiffres affichés pendant 900 ms. Dans la condition avec suppression articuloire (partie inférieure) les participants devaient articuler à voix haute la syllabe “ba” en même temps qu’ils répondaient à l’activité de jugement de parité.

Dans la phase expérimentale, les participants devaient effectuer une série de 10 essais à vitesse lente et 10 essais à vitesse rapide. Les 20 listes de consonnes à mémoriser ont été construites selon les mêmes critères que dans l’étude 1. Nous avons construit 2 versions du programme afin de contrebalancer les listes associées à chaque condition. Les participants étaient affectés au programme de façon séquentielle (i.e., le premier participant passait le

programme 1, le deuxième passait le programme 2, etc). Dans chaque programme, l'ordre de présentation des 10 listes dans chaque condition était aléatoire et les conditions étaient présentées aléatoirement par bloc. Dans chaque condition, le premier essai commençait par une liste de trois consonnes à mémoriser. Comme dans l'Étude 1, le nombre de consonnes aux essais suivant dépendait du rappel des participants : le nombre augmentait de 1 (maximum de 9 consonnes à mémoriser) pour un rappel ordonné correct et diminuait de 1 (minimum de 1 consonne à mémoriser) pour un rappel ordonné incorrect.

### 1.2.2. Résultats

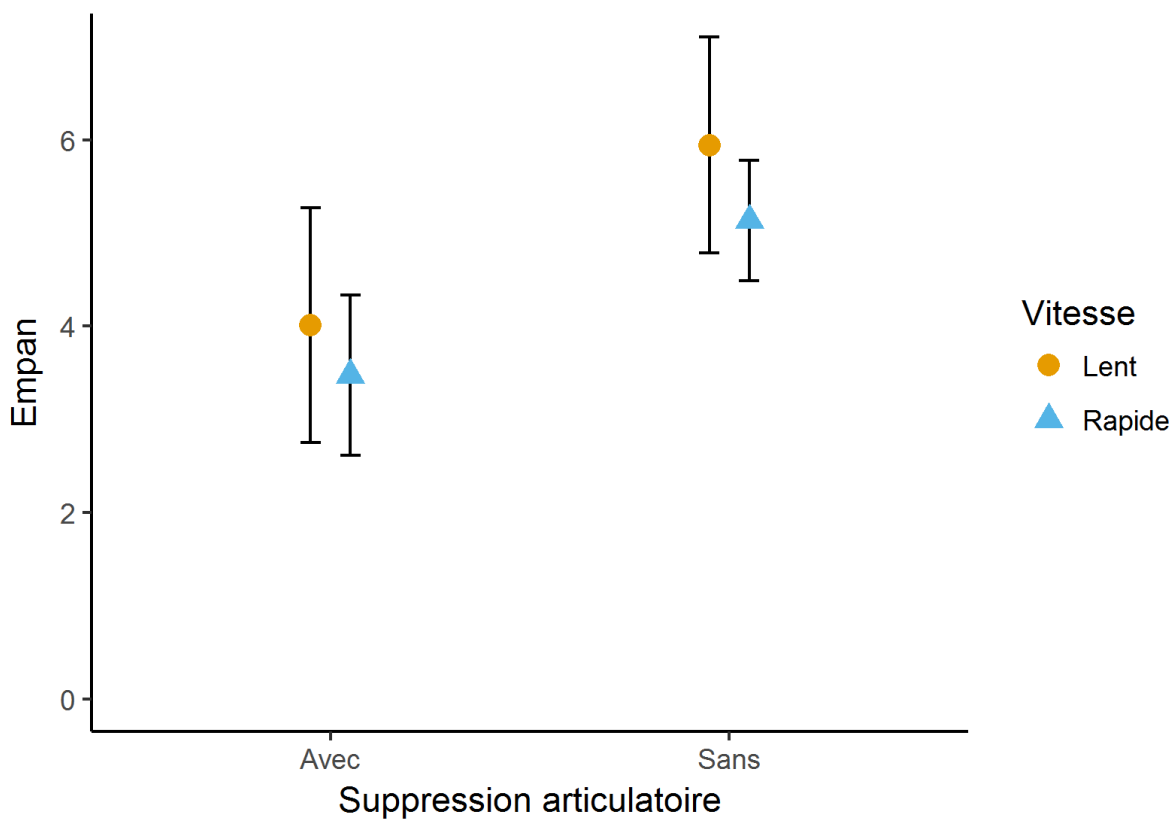
Les analyses statistiques ont été réalisées sur RStudio version 3.4.0 pour Windows (RStudio Team, 2016). Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux réponses correctes à l'activité de traitement. Sept participants ont atteint un taux moyen de bonnes réponses inférieur à 70 % à vitesse rapide. Ces participants ont donc été exclus des analyses subséquentes. Les performances moyennes à l'activité de jugement de parité en fonction des conditions expérimentales sont présentées dans le Tableau 4.4.

**Table 4.4.** Moyennes (et écart-types) des pourcentages de réponses correctes à l'activité de traitement en fonction des conditions expérimentales.

Condition		Réponses correctes
Sans suppression articulatoire	Lent	92.4 (5.2)
	Rapide	84.8 (8.3)
Avec suppression articulatoire	Lent	94.01 (3.6)
	Rapide	86.9 (5.8)

Comme dans l'Étude 1, pour chaque participant, nous avons calculé un empan moyen par condition expérimentale correspondant au nombre de consonnes affichées dans les 8 dernières listes de chaque condition expérimentale. Les performances en fonction des conditions expérimentales sont illustrées par la Figure 4.6.





**Figure 4.6.** Empan moyens (et écart-types) en fonction de la suppression articulaire (avec vs. sans) et de la vitesse (lent vs. rapide).

Nous avons réalisé une ANOVA sur les empan moyens avec le facteur suppression articulaire (avec vs. sans) en inter-sujet et le facteur vitesse (lent vs. rapide) en intra-sujet. Les résultats ont révélé un effet de la suppression articulaire: l'empan moyen était meilleur dans la condition sans suppression articulaire ( $M = 5.54$ ;  $ET = 1.02$ ) que dans la condition avec suppression articulaire ( $M = 3.74$ ;  $ET = 1.1$ ),  $F(1, 59) = 63.56$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2G = .45$ . De plus, nous avons observé un effet de la vitesse: l'empan moyen était meilleur dans la condition lente ( $M = 4.96$ ;  $ET = 1.55$ ) que dans la condition rapide ( $M = 4.29$ ;  $ET = 1.13$ ),  $F(1, 59) = 27.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2G = .10$ . Les résultats n'ont pas révélé d'interaction significative,  $F(1, 59) = 1.16$ ,  $p = .29$ . Néanmoins, au regard de notre hypothèse forte concernant l'effet du CC sur les performances de mémorisation lorsque l'utilisation de la répétition subvocale est

gênée, nous avons toutefois calculé les effets simples de la variable vitesse pour les deux modalités de la variable de suppression articulatoire. Pour cela, nous avons réalisé un test de Student pour échantillons appariés dans les deux modalités de la variable de suppression articulatoire, en appliquant une correction de Bonferroni sur les seuils de significativité des deux tests effectués (seuil de significativité égal à  $.05/2 = .025$ ). Les résultats ont révélé un effet significatif de la vitesse dans la condition sans suppression articulatoire,  $t(29) = 5.15, p < .001$ , ainsi que dans la condition avec suppression articulatoire,  $t(30) = 2.64, p = .013$ .

Nous avons ensuite examiné le CC induit par la tâche. Pour cela, nous avons utilisé les temps de réponses moyens à l'activité de traitement. Le tableau 4.5 présente les temps de réponses moyens, ainsi que les CC associés, selon les conditions expérimentales. Nous avons réalisé une ANOVA sur les CC avec le facteur suppression articulatoire (avec *vs.* sans) en inter-sujet et le facteur vitesse (lent *vs.* rapide) en intra-sujet. Les résultats ont révélé un effet significatif de la vitesse,  $F(1, 59) = 4355.7, p < .001, \eta^2G = .91$ , mais pas d'effet significatif de la suppression articulatoire,  $F(1, 59) = 2.03, p = .16, \eta^2G = .03$ . Nous avons également observé une interaction significative entre ces deux variables,  $F(1, 59) = 10.16, p = .002, \eta^2G = .02$ . Plus précisément, la différence de CC entre les modalités lente et rapide est significative dans la modalité sans suppression articulatoire,  $t(29) = -42.33, p < .001$ , ainsi que dans la modalité avec suppression articulatoire,  $t(30) = -51.43, p < .001$ , mais la différence est plus grande dans cette dernière modalité.

**Table 4.5.** Moyennes (et écart-types) des temps de réponses à l'activité de traitement (ms) et son coût cognitif (CC) associé, en fonction des conditions expérimentales.

Condition		Temps de réponse	CC
Sans suppression articulatoire	Lent	758.2 (130.1)	.32 (.05)
	Rapide	581.8 (56.16)	.61 (.06)
Avec suppression articulatoire	Lent	684.4 (71.1)	.29 (.03)
	Rapide	580.5 (41.6)	.61 (.04)

### *1.2.3. Discussion intermédiaire*

L'objectif de cette nouvelle étude était de tester l'hypothèse selon laquelle les résultats inattendus observés dans l'Étude 1 étaient dû à l'activité de traitement que nous avons utilisé. En effet, les résultats de l'Étude 1 n'ont pas mis en évidence l'effet classique du CC sur les performances de mémorisation, ni chez les personnes âgées, ni chez les jeunes adultes. Néanmoins, au vu de la littérature (Barrouillet et al., 2007, Expérience 4), ces résultats semblent découler de l'activité de traitement utilisée dans cette étude. Pour tester cette hypothèse, dans l'Étude 2, de jeunes adultes ont réalisé une tâche similaire à l'Étude 1, à l'exception de l'activité de traitement utilisée. Plus précisément, les participants devaient mémoriser des listes de consonnes selon une procédure d'empan progressif, chaque consonne étant suivie de trois jugements de parité. Nous avons fait varier la disponibilité du mécanisme de répétition (avec *vs.* sans suppression articulatoire) ainsi que celle du rafraîchissement attentionnel (vitesse lente *vs.* rapide). Comme dans l'Étude 1, nous avons prédit un effet du CC sur les performances de mémorisation quelle que soit la disponibilité de la répétition. Plus précisément, même lorsque l'utilisation de la répétition subvocale est gênée (*i.e.*, avec suppression articulatoire), les performances de mémorisation des participants devraient être meilleures à vitesse lente plutôt qu'à la vitesse rapide, du fait de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel. En accord avec la littérature (Murray, 1967, 1968; Richardson & Baddeley, 1975), nous avons observé que les performances étaient meilleures dans la condition sans suppression articulatoire que dans la condition avec suppression articulatoire. Ces résultats suggèrent que notre procédure a permis de bloquer efficacement l'utilisation de la répétition subvocale. Plus important encore, nous avons également observé que les performances étaient meilleures à vitesse lente qu'à vitesse rapide, indépendamment de la disponibilité de la répétition subvocale. Ces résultats sont donc conformes à notre interprétation des résultats de l'Étude 1. Spécifiquement, en accord avec la littérature

(Barrouillet et al., 2007, Expérience 4), les résultats des Études 1 et 2 suggèrent que la mise en évidence de l'effet du CC sur les performances de rappel nécessite une activité de traitement qui implique substantiellement des processus de contrôle attentionnel.

### ***1.3. Études 3 et 4: effets du coût cognitif sur la mémorisation à court terme chez des adultes jeunes et âgés.***

Les résultats de l'Étude 1 nous ont permis de tester l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées dans une tâche d'empan complexe. Bien que nous n'ayons pas observé d'effet du CC dans cette première étude, les résultats de l'Étude 2 suggèrent que cela était dû à l'activité de traitement employée. Le protocole utilisé dans l'Étude 2, semble donc, à première vue, pertinent pour tester l'hypothèse d'une altération liée à l'âge du rafraîchissement attentionnel. Néanmoins, comme nous l'avons vu dans le Chapitre 3, un des aspects principaux du vieillissement cognitif concerne la vitesse de traitement des informations. Plus précisément, le vieillissement s'accompagne d'une diminution de la vitesse de traitement (e.g., Salthouse, 1996). Ainsi, il faudra en moyenne plus de temps à des personnes âgées pour réaliser une tâche donnée, comparé à de jeunes adultes. Dans le cadre de l'étude du mécanisme de rafraîchissement attentionnel au travers de l'effet du CC, ce facteur est particulièrement important à prendre en compte. En effet, du fait du ralentissement de la vitesse de traitement avec l'âge, le CC associé à une tâche présentée selon des paramètres temporels fixes sera plus élevé pour des personnes âgées que pour de jeunes adultes. Pour contrôler le CC associé aux différentes conditions, en fonction de l'âge, nous avons donc construit une nouvelle procédure dans l'Étude 3, dont l'objectif était de tenir compte du ralentissement de la vitesse de traitement généralement observé dans le vieillissement.

*1.3.1. Jarjat, Portrat & Hot (2018), The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences.*

Dans cette troisième étude, nous avons, dans un premier temps, estimé la capacité de mémorisation à court terme de chaque participant au moyen d'une tâche d'empan simple incluant uniquement une activité de mémorisation de consonnes. Pour faire varier le CC de la tâche d'empan complexe, nous avons manipulé l'activité de traitement suivant la présentation de chaque consonne à mémoriser. Dans une condition, les participants devaient juger de la position de chiffres apparaissant dans la partie supérieure ou dans la partie inférieure de l'écran. Pour cela, les participants devaient répondre à haute voix "en haut" ou "en bas". Dans une seconde condition, les participants devaient juger de la parité des chiffres apparaissant à l'écran en énonçant à haute voix "pair" ou "impair". Il est important de noter qu'en demandant aux participants de répondre à l'oral, cette procédure permettait de contraindre l'utilisation de la répétition subvocale. Concernant la manipulation du CC, nous avons également manipulé la vitesse de présentation des chiffres à traiter. Ainsi, les participants devaient juger de la position ou de la parité de chiffres apparaissant à vitesse lente ou rapide. Cette étude comportait donc quatre conditions expérimentales résultant du croisement de la variable tâche de traitement (localisation vs. parité) et vitesse (lente vs. rapide). L'objectif de cette manipulation supplémentaire était d'augmenter l'amplitude de la différence entre le CC minimum et maximum de la tâche. Comme nous l'avons abordé dans le Chapitre 3, le vieillissement physiologique s'accompagne d'une diminution générale de la vitesse de traitement des informations. Les temps de réponse à une tâche sont ainsi en moyenne plus lents chez les personnes âgées que chez de jeunes adultes. Par conséquent, à temps total disponible pour réaliser une activité de traitement identique, le CC induit par la tâche sera plus élevé pour des personnes âgées que pour de jeunes adultes. Ainsi, dans cette étude, la tâche d'empan complexe était précédée d'une phase de calibration permettant d'estimer la

vitesse de traitement de chaque participant. Nous avons ensuite utilisé cette estimation pour adapter à chaque individu les vitesses lente et rapide de la tâche d'empan complexe, dans le but de maintenir constant le CC de la tâche entre les individus, quel que soit leur âge.

En résumé, dans cette troisième étude nous avons testé l'hypothèse spécifique d'un déficit de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées dans un paradigme d'empan complexe en contrôlant (1) les différences individuelles de capacité de mémorisation à court terme, en adaptant le nombre d'informations à mémoriser à chaque participant, (2) les différences individuelles de vitesse de traitement, en adaptant la vitesse de présentation de l'activité de traitement de la tâche et (3) l'utilisation de la répétition subvocale, en exigeant une réponse à l'orale à l'activité de traitement. Nous prédisons un effet du CC de la tâche pour chaque groupe d'âge, avec de meilleures performances de mémorisation pour les conditions à faible CC. De plus, sous l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, l'effet du CC devrait être modulé selon l'âge des participants. Plus précisément, les personnes âgées, bénéficiant moins des périodes de temps libres permettant l'utilisation de ce mécanisme, devraient être moins sensibles à la variation du CC que les personnes jeunes. Les résultats de cette étude sont présentés dans la publication ci-dessous (Jarjat, Portrat & Hot, 2018).



Original Research Report

**Aging Influences the Efficiency of Attentional Maintenance in Verbal Working Memory**

**Gabriel Jarjat, MA,<sup>1</sup> Sophie Portrat, PhD,<sup>2</sup> and Pascal Hot<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Université Savoie Mont-Blanc, CNRS, LPNC UMR 5105, Chambéry, France. <sup>2</sup>Université Grenoble Alpes, CNRS, LPNC UMR 5105, Grenoble, France.

Address correspondence to: Sophie Portrat, PhD, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Bat. Sciences de l’Homme et Mathématiques, Université Grenoble Alpes, CS 40700 – 38058 Grenoble Cedex 9, France. E-mail: [Sophie.Portrat@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:Sophie.Portrat@univ-grenoble-alpes.fr)

Received: June 1, 2017; Editorial Decision Date: May 19, 2018

**Decision Editor:** Nicole Anderson, PhD, CPsych

**Abstract**

**Objectives:** Numerous studies reported an age-related deficit in verbal working memory (WM). Beyond the well-established general factors of cognitive aging, the alteration of the specific WM maintenance mechanisms may account for this deficit. This paper aims to investigate the hypothesis that WM attentional maintenance is impaired with age.

**Method:** In a WM task adapted to individual short-term memory and processing speed, younger and older participants maintained letters while verbally responding to a concurrent processing task, in order to constrain the use of rehearsal. Critically, the opportunity to use attentional maintenance was manipulated by varying the cognitive load (CL) of the concurrent processing via its nature and pace.

**Results:** Younger participants outperformed older participants and, in both groups, recall performance decreased as the CL increased. Importantly, in line with our predictions, the CL effect was modulated by age. Older adults benefited less from free pauses that allowed participants to engage in attentional maintenance of WM traces.

**Discussion:** Although still effective in normal aging, WM attentional maintenance seems to be altered. It could therefore be a good candidate to account for WM age-related deficits.

**Keywords:** Cognitive aging, Complex span task, Maintenance mechanisms, Working memory

Working memory (WM) is defined as the immediate memory system that allows maintenance and manipulation of information in the service of ongoing complex cognitive activities (e.g., Kane et al., 2004). Its functioning is commonly assessed with a complex span task (CST) that requires participants to maintain a series of to-be-remembered items while concurrently engage in other processing activities (for a methodological review of CSTs, see Conway et al., 2005). It is well documented that older adults are less efficient than younger adults in these CSTs (Bopp & Verhaeghen, 2005; Park et al., 2002). General factors of cognitive aging have been proposed to affect WM functioning (e.g., decline of processing resources, Craik & Byrd, 1982; decrease of processing speed, Salthouse, 1996; inefficient inhibition,

Hasher & Zacks, 1988, see Park & Festini, 2017 for a review of theories). In addition, one obvious aspect of WM functioning that should account for age-related differences in WM is the efficiency of the mechanisms being used to maintain the information in WM. Following the seminal model of Baddeley and Hitch (1974), the maintenance of verbal information in WM is commonly assumed to be underpinned by rehearsal (Baddeley, Lewis, & Vallar, 1984). However, there is now a large literature suggesting that, in addition to rehearsal, WM maintenance also relies on attention (e.g., Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011; Cowan, 1998; Tam, Jarrold, Baddeley, & Sabatos-DeVito, 2010; Vergauwe & Langerock, 2017). The present study aimed to investigate age-related deficits in attentional



maintenance of information in verbal WM by examining its consequences for recall performance in a CST.

2.5 Rehearsal is assumed to be based on language-production processes that involve covert or overt repetition of the phonological representation of the to-be-remembered information. Two specific effects related to verbal constraints of rehearsal are documented in WM tasks: worse recall for lists of long words than for lists of short words (word-length effect, e.g., Baddeley, Thomson, & Buchanan, 2.10 1975) and worse recall when subjects have to continuously recite irrelevant sounds (concurrent articulation effect; e.g., Richardson & Baddeley, 1975). Although the word-length and concurrent articulation effects observed in older adults were commensurate with those observed in young adults 2.15 (Loaiza & McCabe, 2013; Peters et al., 2007), suggesting that rehearsal is preserved with age, other studies have revealed both qualitative (e.g., number of different items being rehearsed, Ward & Maylor, 2005) and quantitative age-related differences in rehearsal (e.g., slowed articulation rate, Kynette, Kemper, Norman, & Cheung, 1990). 2.20

A fairly recent body of research has highlighted the importance of attention for the maintenance of verbal information in WM. Several attentional mechanisms have been proposed in the literature, such as memory search 2.25 (Cowan, 1999; Vergauwe & Cowan, 2015), refreshing (Johnson, 1992; Raye, Johnson, Mitchell, Greene, & Johnson, 2007), focus switching (Basak & Verhaeghen, 2011; Verhaeghen & Hoyer, 2007), and attentional refreshing (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet et al., 2011). Whether or not these different concepts refer to a single mechanism remains an open question (see Camos et al., in press) and is outside the scope of the present study. However, there is agreement on the existence of attention-based maintenance of information, which prolongs and/or increases the activation of WM information by briefly focusing attention on it (Barrouillet et al., 2011; Cowan, 1999; Johnson, 1992). Data from behavioral and neuroimaging studies strongly suggest that this attention-based maintenance is distinct from articulatory rehearsal 2.40 (Cowan, 1999; Raye et al., 2007; see Camos, 2015 for a review). Whereas rehearsal is exclusively dedicated to the maintenance of verbal information and is thought to rely on subvocal articulation (which barely requires attention after the articulatory sequence has been initiated), attention-based maintenance relies on attention and is thought to act on information from different sensory modalities (i.e., verbal, visual, and spatial modalities). Consequently, this attention-based maintenance should be affected by attentional constraints imposed in WM tasks. 2.45

2.50 In line with this assumption, many studies have shown that the variation of the proportion of time during which attention is available in a CST, through the manipulation of the number of to-be-processed items, the difficulty of the processing task, or the total time allowed to perform it, affects recall performance (e.g., Barrouillet et al., 2011; Portrat, Camos, & Barrouillet, 2009, Vergauwe, Barrouillet,

& Camos, 2010). These results prompted the generation of the Time-Based Resource-Sharing model (TBRS, Barrouillet & Camos, 2015) of WM. In this model, attentional maintenance is underpinned by a mechanism called *attentional refreshing*, which counteracts, during the short pauses following each distracting activity in CSTs, the loss of information caused by concurrent processing. In this framework, the proportion of time during which attention is distracted from refreshing during the processing phase of a WM task is referred to as the cognitive load (CL). The manipulation of CL in CSTs has proven to be fruitful for investigating the use of refreshing in young adults (Barrouillet & Camos, 2015, for a review) as well as the developmental differences in children (Gaillard, Barrouillet, Jarrold & Camos, 2011). More specifically, Gaillard and colleagues (2011) showed that these differences could be accounted for by a development of the efficiency of refreshing with age. Indeed, in their second experiment, they observed that for equated CL, younger children took less advantage from the same periods of free time than older children, suggesting that younger children may be less efficient in refreshing. Yet, CL effect has not been extensively tested in the context of aging: to the best of our knowledge, only two studies have investigated the hypothesis of an age-related impairment in refreshing from a CL perspective (Baumans, Adam, & Seron, 2012; Plancher, Boyer, Lemaire, & Portrat, 2017). In Plancher and colleagues (2017), younger and older adults performed a CST in which they had to memorize a series of images while reading aloud words. The pace of the to-be-read words was varied (slow vs fast) as well as the degree of interference induced by these words (repeated words vs all new words within a trial). While the recall performance of young participants elicited an easy-to-interpret pattern with a classical pace effect but no interference effect, older participants also performed better at slow pace than at fast pace but only when the amount of interference was low. The authors concluded that a decrease in WM performance with aging can be explained by a difficulty in taking advantage of WM maintenance opportunities, especially in conditions of high interference. 2.55 2.60 2.65 2.70 2.75 2.80 2.85 2.90

In their study, Baumans and colleagues (2012) had younger and older adults perform a CST in which participants had to maintain series of letters, presented first, before performing a processing task that consisted of judging the color of digits. Then, participants had to recall the letters in the correct order. The pace of the digits was varied to manipulate the CL of the processing task. The results showed that while a small CL variation had no effect on older adults (Experiment 1), a large CL manipulation had the same detrimental effect on recall performance for both age groups (Experiment 2). As acknowledged by the authors themselves, these results preclude a “definitive” conclusion in term of refreshing. Although a small variation of CL has been shown to affect WM performance in younger adults (e.g., Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007), Baumans and colleagues did not find such a pattern 2.95 2.100 2.104

2.55

2.60

2.65

2.70

2.75

2.80

2.85

AQ5

2.90

2.95

2.100

2.104

in older adults (Experiment 1). This result could count as evidence in favor of a lower sensitivity of older adults to the CL effect and therefore in favor of an age-related deficit of refreshing. This interpretation would be in line with other studies suggesting such a deficit using different verbal memory tasks (delayed recognition test, Johnson, Reeder, Raye, & Mitchell, 2002; Johnson, Mitchell, Raye, & Greene, 2004; Raye, Mitchell, Reeder, Greene, & Johnson, 2008; delayed free recall, Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza, Rhodes, & Anglin, 2015). However, as mentioned above, Baumans and colleagues (2012) also observed that equivalent large manipulations of CL across groups had a similar effect on recall performance for both age groups (Experiment 2), a result that goes against an age-related refreshing deficit. This result is at odd with the body of research developed by Johnson and colleagues but is in line with recent studies (Loaiza & Souza, in press; Souza, 2016). For instance, in her study, Souza (2016) found that older and younger adults benefited to the same extent from retro-cue displayed during the maintenance phase of a visual WM task.

To summarize, the current literature does not offer clear evidence in favor of an age-related deficit in refreshing. The aim of the present study was therefore to further investigate this hypothesis by having younger and older adults performing an adapted computer-paced CST in which the CL of the processing task was varied through its nature (parity and location judgment) and pace (slow and fast). Moreover, participants had to perform this task under articulatory constraints in order to minimize the use of rehearsal. Indeed, the CL effects observed in Baumans' study could be attributed, at least in part, to a different involvement of rehearsal across conditions since participants had to maintained letters in the face of a silent concurrent processing task. The WM task was adapted to control for possible age differences in short-term memory and processing speed. According to an age-related deficit in refreshing hypothesis, we predicted that older adults should be less affected by the manipulation of CL than younger adults. Indeed, if refreshing is less efficient with age, as suggested by several evidences in the literature, then older adults should benefit less from increased free time, thereby leading to greater differences between age groups as CL decreases.

**METHOD**

**Participants**

Twenty-four undergraduate students (four males) aged between 18 and 28 years ( $M = 21.2, SD = 2.2$ ) and 24 older adults (six males) aged between 60 and 84 years ( $M = 69.5, SD = 6.1$ ) participated in the study, which was approved by an ethics committee (CERNI, IRB00010290, 2015-11-10-4). All participants were volunteers, were native French speakers, had normal or corrected-to-normal vision, had no neurological background, and provided written informed consent before taking part in the

study. After the experimental session, older participants were screened to rule out dementia by means of the Mini-Mental State Examination (Kalafat, Hugonot-Diener, & Poitrenaud, 2003). Older participants were recruited either from social centers or from previous studies carried out in our laboratory. Students received partial course credit for participating.

**Materials and Procedure**

All tasks were displayed on a laptop by using E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA). First, participants performed a short-term span task (Figure 1A) designed to calibrate the memory load in the subsequent WM task. The computer-paced series of consonants to be memorized were displayed on the computer screen. We used all the consonants except W, which is trisyllabic in French. The various consonants were displayed at approximately the same frequency throughout the task, after controlling for their position within the lists. Within a single series, a consonant was never repeated. Acronyms and alphabetically ordered series were avoided. Each trial began with a screen indicating the number of letters to be remembered.

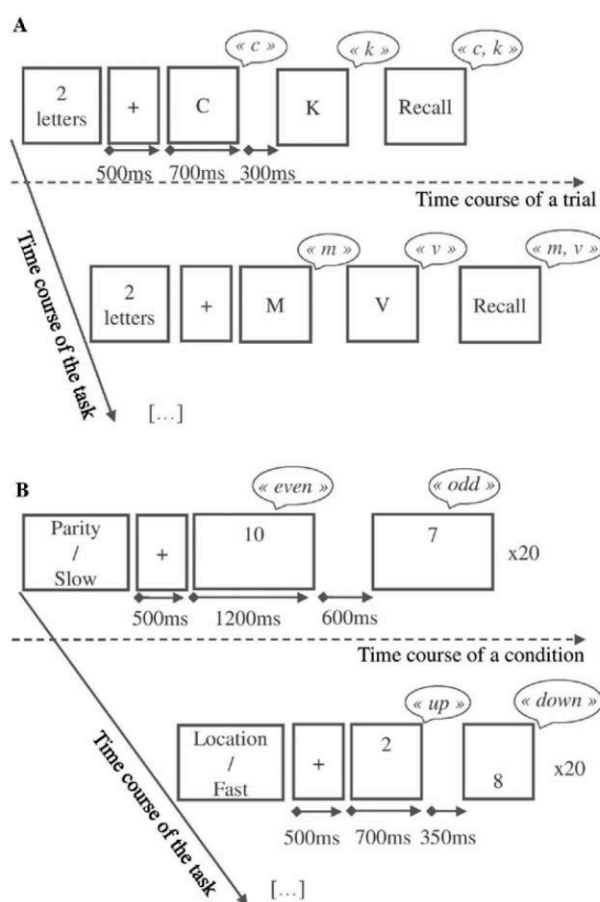


Figure 1. (A) Illustration of the short-term memory span task. (B) Illustration of the processing speed tasks.

The first trial was set to two consonants. A central fixation point was then displayed on the screen for 500 ms, followed by the first letter of the sequence. Letters (in Courier New font) were displayed in the center of the screen for 700 ms, and then replaced after a 300 ms delay. Participants had to read each letter aloud. At the end of each sequence, the word “Rappel” (recall, in French) appeared on the screen; this indicated to the participant that he or she had to verbally recall the consonants in the correct order. The experimenter noted the participant’s recall, and then pressed the “Enter” key if all the consonants had been recalled in the correct order or any other key on the keyboard if not. There were two trials for each list length. The task ended when the participant failed to recall both trials of a given length. As conventionally assessed, the short-term span corresponded to the greatest length for which the participant had recalled at least one series in the correct order (see Wechsler, 2008, *Longest Span Scores*).

Next, the participants’ processing speed was evaluated in a parity/location judgement task (Figure 1B). Two tasks (location and parity) were displayed at two paces (fast and slow), resulting in four conditions. The conditions were randomly presented. Each consisted of a block of twenty successive stimuli to be processed. The stimuli were digits ranging from “1” to “10”, and they were displayed on the screen randomly in either a lower or an upper position (80% and 20%, respectively of the screen’s Y-axis). In the location task, participants had to judge the position of the digits (saying “up” or “down”). In the parity task, they had to judge the parity of the digits (saying “even” or “odd”). Each trial began with a screen indicating the task to be performed (parity or location) and the pace (slow or fast). After the participant pressed a key on the keyboard, a central fixation point was displayed on the screen for 500 ms, followed by the first digit. In the fast-paced condition, digits were displayed for 700 ms and replaced after 350 ms. In the slow-paced condition, digits were displayed for 1,200 ms and followed by a 600 ms delay. Participants were given the full time period (presentation plus delay) to give their responses, which were recorded with a vocal key connected to a serial response box. The experimenter marked the participants’ responses. The mean reaction time for each condition was calculated after excluding reaction times below 200 ms.

Lastly, participants had to perform a computer-paced CST that combined letters to be memorized with a digit processing task (Figure 2). The series of consonants to be maintained and stimuli to be processed had the same restrictive characteristics as in the short-term span task and the processing speed task, respectively. The CL was varied across four experimental conditions in which the type of processing (location or parity) and pace of processing (fast or slow) was manipulated. The various experimental conditions were presented in random order, and each consisted of five successive trials. Each trial began with a screen indicating the processing task (“L” for location or

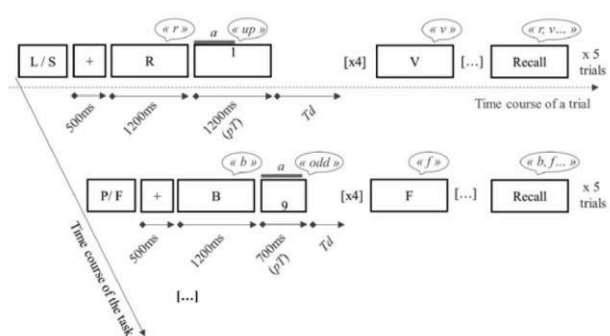


Figure 2. Illustration of the time course of two trials in the working memory span task: a “location” trial in the slow-paced condition (L/S, upper panel), and a “parity” trial in the fast-paced condition (P/F, lower panel). *Td* refers to the time delay following each distractor, and *pT* refers to the distractor presentation time.

“P” for parity) and the pace (“S” for slow or “F” for fast). After the participant pressed a key on the keyboard, a central fixation point was displayed on the screen for 500 ms, followed by the first letter in the sequence. Letters were displayed at the center of the screen for 1,200 ms, and participants had to read them aloud. After a 300 ms delay, four digits appeared randomly on the lower or upper part of the screen. After the last delay following the last digit, the second letter appeared, and so on until the end of the sequence. Throughout the session, the length of the series to be remembered was set to the short-term span of each participant. At the end of each sequence, the word “Rappel” (recall) appeared on the screen—indicating that the participant had to verbally recall the consonants in the correct order. The experimenter marked participants’ responses and then pressed a key on the keyboard to continue to the next trial.

In the fast-paced and slow-paced conditions, digits were displayed for 700 ms and 1,200 ms, respectively. The delay between two digits (denoted as “*Td*” in the figure) was specific for each participant, in order to standardize the CL across individuals. Indeed, the CL correspond to

$$CL = a / (pT + Td)$$

where *a* is the time during which a distractor captures attention, *pT* is the distractor presentation time (700 and 1,200 ms for fast- and slow-paced conditions, respectively), and *Td* is the duration of the delay following the distractor. Thus, it is possible to find the specific value of *Td* if one knows the values of the other parameters ( $Td = a/CL - pT$ ). Given that we were testing for an interaction between age group and CL, we wanted to achieve a high degree of variation in the CL. However, the task also had to be manageable for the participants. Thus, we wanted the most difficult condition to elicit a CL of around 0.65 and the easiest condition to elicit a CL of around 0.25. On the basis of the literature (e.g., Barrouillet et al., 2007) and a pilot study, we expected the parity judgement to elicit longer RTs. Thus, in the fast-paced conditions, parameter *a* corresponded

to the mean reaction time of the participant in the parity tasks (slow and fast) measured beforehand in the processing speed tasks. In the slow-paced conditions, parameter *a* corresponded to the participant's mean reaction time in the location tasks. Thus, the fast and slow paces were adjusted for each participant. Participants were given the full time period (presentation plus delay) to give their responses, which were recorded with a vocal key connected to a serial response box. The use of rehearsal was constrained by asking participant to verbally respond to the processing task.

Accuracy and reaction times for the processing tasks were recorded, together with the number of letters recalled in the correct order. The measured CL in each condition was calculated by dividing the mean reaction time for a correct response in the processing task by the total available response time (i.e., presentation plus delay). The experimental session was preceded by a training phase in which participants performed two random CST trials (parity/fast and location/slow).

**Data Analysis**

Statistical analyses were conducted by using RStudio version 1.0.143 for Windows (RStudio Team, 2016) with the R package lme4 (Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2015). To obtain the *p* values from multilevel models, we used the Satterthwaite approximation of degrees of freedom, which is implemented in the lmerTest package (Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2016). Our main analysis was focused on the memory performance on the WM task; therefore, we computed the number of letters recalled in correct position in each condition for each participant. Moreover, we computed the mean reaction time to respond to the processing component of the WM task in each of the four conditions by taking into account correct responses only. These mean reaction times for each condition were computed for each participant, thus we were able to compute the measured CL elicited by our experimental manipulations for each participant using the equation: CL = reaction time/(presentation time + delay).

**RESULTS**

**Short-term Span Task**

There was no difference in short-term spans between the two groups (*t* < 1), with performance ranging from 4 to 7 for both young (*M* = 5.42, *SD* = 0.93) and older adults (*M* = 5.42, *SD* = 0.72).

**Processing Speed Task**

Reaction times below 200 ms were disregarded for this analysis (accounting for 10% and 8% of the data for older and younger adults, respectively). Reaction times were analyzed by fitting a mixed effect linear model including *Group*

(younger vs older adults), *Task* (Parity vs Location) and *Pace* (Slow vs Fast) as fixed effects and *Participant* as a random factor (accounting for the multiple response measures per participant). The results of the analyses (see Table 1) revealed significant effects of *Task* (*t*(137.9) = 28.81, *p* < .001) and *Pace* (*t*(137.9) = 4.94, *p* < .001). All other effects were not significant (*p* > .1).

**WM Performance As a Function of the Pace and the Nature of the Processing Task**

All of the 192 data values collected in the WM task (48 participants × 4 conditions) were included in the analyses as participants performed well on the distracting task (min = 74% accuracy). Ordered recall performance was analyzed by fitting a mixed effect logistic model, as recommended by Jaeger (2008), while the measured CL was analyzed by fitting a mixed effect linear model. Both models included *Group*, *Task* and *Pace* as fixed effects and *Participant* as a random factor. Results of the analyses revealed a significant effect of *Group* on recall performance (Wald *Z* = 3.75, odds ratio [OR] = 1.92, *p* < .001), with younger adults (*M* = 53.9%, *SD* = 23.4) outperforming older adults (*M* = 38.6%, *SD* = 13.9), but this factor was not significant on the measured CL (*p* = .47). There was also a significant effect of *Pace* on both recall performance (Wald *Z* = 9.54, OR = 1.77, *p* < .001) and measured CL (*t*(138) = -22.4, *p* < .001). In line with numerous previous results, the Fast condition elicited worse recall performance than the Slow condition (*M* = 39.8% and 52.8%, *SD* = 18.8 and 16.5, respectively) and, as planned, resulted in a higher measured CL than the Slow condition (*M* = 0.59 and 0.42, *SD* = 0.11 and 0.11, respectively). The same pattern of results was observed for the effect of *Task* on both recall performance (Wald *Z* = -8.95, OR = 0.59, *p* < .001) and measured CL (*t*(138) = 15.8, *p* < .001). More precisely, the Parity condition elicited a higher CL than the Location condition (*M* = 0.57 and 0.44; *SD* = 0.14 and 0.14, respectively) and resulted in worse recall (*M* = 40.4% and 52.2%, *SD* = 18.4 and 17.9, respectively). Most importantly, there was a significant interaction between *Task* and *Group* on recall performance (Wald *Z* = -3.53, OR = 0.66, *p* < .001),

**Table 1.** Mean Reaction Times and Accuracy in the Processing Speed Task (95% within-subject confidence intervals) As a Function of Experimental Conditions and Groups

	Location slow	Location fast	Parity slow	Parity fast
<i>Reaction Times (ms)</i>				
<i>Young</i>	425 (24)	390 (18)	675 (23)	638 (28)
<i>Older</i>	432 (28)	403 (20)	679 (26)	615 (26)
<i>Accuracy</i>				
<i>Young</i>	99.7 (1.2)	99.2 (1.1)	97.5 (1.1)	93.5 (2.4)
<i>Older</i>	99 (0.7)	98.1 (0.9)	97.5 (1.2)	95.3 (1.7)

with a greater recall difference between the two tasks for younger (16.2%) than older adults (7.3%). However, there was also a significant interaction between these factors on measured CL ( $t(138) = 2.4, p = .015$ ), with a greater difference in CL between the parity and location tasks for younger (0.14) than older adults (0.10). This last outcome was unexpected since our procedure was designed precisely to keep the CL constant between the two groups. Unfortunately, it prevented us from concluding in favor of an age-related refreshing deficit hypothesis because a differential CL effect between groups could have explained the decisive *Group*  $\times$  *Task* interaction on recall performance. Hence, to test our hypothesis, we directly used the measured CL elicited by the conditions as a continuous predictor of recall performance.

### WM Performance As a Function of the CL of the Processing Task

We fitted a mixed effect logistic model including *Group* and *measured CL* as fixed effects and *Participant* as a random factor. Results of the analyses, summarized in Table 2, revealed a significant effect of *measured CL* (Wald  $Z = -12.1$ , OR = 0.044,  $p < .001$ ) and *Group* (Wald  $Z = 4.79$ , OR = 4.44,  $p < .001$ ) and a significant interaction between *measured CL* and *Group* (Wald  $Z = -3.33$ , OR = 0.18,  $p < .001$ ). As predicted, recall performance increased as CL decreased, younger adults outperformed older adults, and older adults were less affected by the modulation of CL (Figure 3).

### Discussion

There is currently a growing consensus among researchers whereby attentional maintenance supplements the phonological maintenance of verbal information in WM. This attentional maintenance is thought to prolong and/or increase the activation of perceptual information that has disappeared by briefly focusing attention on it—thereby preventing its loss from WM (Barrouillet et al., 2004; Cowan, 1998; Johnson, 1992). Moreover, attentional maintenance also plays a role in the stabilization of information in longer term memory (Camos & Portrat, 2015; Jarjat et al., in press; Johnson et al., 2002; Loaiza

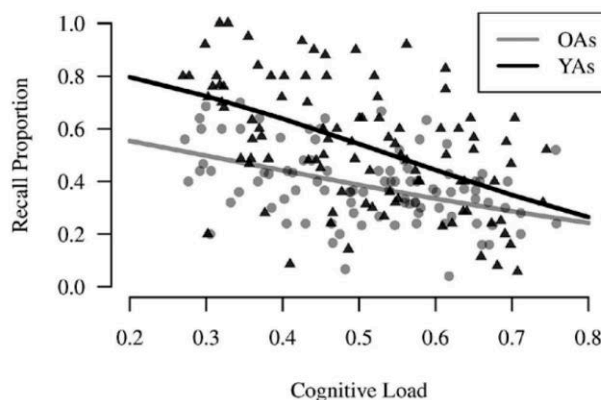
**Table 2.** Summary of the Recall Performance Model Fitted on Data With Coefficient Estimates, SE, Wald Z Values,  $p$  Values, OR, and 95% CI

Predictors	Coef	SE	Wald Z	$p$	OR	95% CI
CL	-3.12	(0.26)	-12.01	<.001	0.044	(0.027; 0.073)
Group	1.49	(0.31)	4.79	<.001	4.44	(2.41; 8.19)
CL $\times$ Group	-1.72	(0.52)	-3.33	<.001	0.179	(0.065; 0.493)

Note: Coef = Coefficient estimate; CI = Confidence interval; CL = Cognitive load; OR = Odds ratio; SE = Standard error.

& McCabe, 2013). However, whether attentional maintenance corresponds to a set of different mechanisms (i.e., memory search, Vergauwe & Cowan, 2015; refreshing, Johnson, 1992; focus switching, Basak & Verhaeghen, 2011; attentional refreshing, Barrouillet et al., 2011); or to a single mechanism with different names in the literature remains an open question (see Camos et al., in press). In the present study, we adopted the TBRS model of attentional maintenance (referred to as *refreshing*), which is thought to increase the activation of WM information during the short pauses following each distracting activity in CSTs (Barrouillet et al., 2004).

While several studies have shown that the beneficial effect of attentional maintenance is reduced with age (Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015; Raye et al., 2008), thus suggesting that it is impaired with age, there are also evidences that attentional maintenance might be preserved with age (Baumans et al., 2012, Experiment 2; Loaiza & Souza, in press; Souza, 2016). The aim of this study was therefore to further investigate the hypothesis that there is an age-related impairment in *refreshing* (Barrouillet et al., 2004) that contributes to the understanding of the well-known age-related decline in verbal WM (Bopp & Verhaeghen, 2005; Park et al., 2002). To do so, younger and older adults were asked to perform a CST in which the opportunity to use refreshing was manipulated by varying the CL of the task while the use of rehearsal was constrained. By introducing articulatory constraints into our paradigm, we found evidence against the hypothesis that younger and older adults show comparable CL effects—something that Baumans and colleagues (2012) did not observe in their “silent task” paradigm. In contrast to Baumans and colleagues (2012), we found that older adults benefited less from a decrease in CL than younger adults did. These results suggest that the two groups benefited to a different extent from free time for WM maintenance. However, the participants could have used free



**Figure 3.** The proportion of letters recalled in the correct order as a function of the task’s cognitive load in the two age groups (older and younger adults), along with the mixed logistic model built for recall performance (including the significant effects of *Group* and *Cognitive Load*, and the interaction between the two).

time to rehearse instead of refresh. Indeed, as an anonymous reviewer suggested, our participants were not asked to continually articulate an irrelevant sound after having given their response aloud; this type of control would have been necessary to totally suppress articulatory rehearsal. We therefore ran a control experiment (see [Supplementary Materials](#)) in which younger and older adults were asked to perform a CST with strict articulatory suppression. We observed an age-related difference in WM performance even under conditions when only attentional maintenance could take place. This finding confirmed that the outcomes of the present study cannot be attributed solely to an age-related difference in rehearsal. Thus, asking participants to respond verbally in the concurrent task (as we did) probably reduces reliance on articulatory rehearsal, relative to the [Baumans and colleagues \(2012\)](#) study. In turn, this enabled us observe the critical interaction between CL and age. The hypothesis whereby the CL × age interaction depends on the incentive to rely on rehearsal would be strengthened by a within-subject comparison of silent versus articulatory suppression conditions. Given that our paradigm was adjusted to the participants' short-term span and processing speed, the interaction cannot be interpreted with regard to age-related disparities in the task's difficulty. Hence, in line with other studies ([Johnson et al., 2002](#); [Loaiza & McCabe, 2013](#); [Loaiza, et al., 2015](#); [Raye et al., 2008](#)), our findings reflect an age-related impairment in the use of attention to maintain information. More precisely, and given the paradigm used here (i.e., a variation in the proportion of free time following each distracting activity in a CST), attentional refreshing is most likely to be involved ([Barrouillet et al., 2004](#)).

Four hypotheses, not necessarily exclusive, could account for this age-related deficit in refreshing. Each of these hypotheses relies on a necessary step that refreshing implies within CST. First, in such tasks, participants are required to constantly switch back and forth from processing and maintenance of information. Because older adults are slower than younger adults to do so (e.g., [Wasylshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011](#)), equating CL on the basis of RTs in a single task does not suppress the impact of this slower switching process, therefore CL is possibly still higher for older adults.

Second, refreshing is supposed to be a controlled mechanism that can be divided in two subprocesses—initiation and refreshing per se ([Johnson, 1992](#); [Johnson, McCarthy, Muller, Brudner, & Johnson, 2015](#); [Lemaire, Pageot, Plancher, & Portrat, 2017](#)). Given that aging has been shown to be associated with a relative decrease in the processing resources that usually enable self-initiated processing ([Craig, 1983](#); [Luo & Craig, 2008](#)), older adults may be impaired in the self-initiation of refreshing required in a CST. This hypothesis is consistent with electrophysiological evidence ([Johnson et al., 2015](#)). While the refreshing component relies on perceptual posterior cortical areas, the initiating component relies on frontal lobes—which

are known to be impaired in healthy aging ([Moscovitch & Winocur, 1995](#)).

A third possibility concerns item availability ([Basak & Verhaeghen, 2011](#); [Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008](#); [Verhaeghen & Basak, 2005](#)). Indeed, in order for refreshing to take place, items outside the focus of attention must first be retrieved and brought back into the focus of attention. Using mainly N-back tasks to investigate switching and aging, Verhaeghen and colleagues found that once general slowing is taken into account, older adults are as efficient as younger adults to access information outside the focus of attention (i.e., the speed to search for information outside the focus of attention) but this information is less likely to still be available for processing. This age-related deficit in the availability of information could be due to a greater sensitivity of inter-item interference (see [Plancher et al., 2017](#)), a higher rate of time-based decay (but see [Hoareau, Lemaire, Portrat, & Plancher, 2016](#) for contradictory results) and/or to a greater vulnerability to the presence of highly active competitors (i.e., prior refreshed items; [Higgins & Johnson, 2009](#)). Thus, it could be that older adults experience a deficit in refreshing because fewer items are available. This would echo [Ward and Maylor's \(2005\)](#) qualitative finding concerning rehearsal: older adults refresh fewer items than younger adults.

Finally, even when older adults are successful at bringing information back into the focus of attention, it is also possible that this process becomes slower with aging. In accordance with this view, related to the well-known age-related slowing of processing speed ([Salthouse, 1996](#)), a recent study based on computational modelling has suggested that refreshing a single item takes twice as much time for older adults (about 200 ms) than it does for younger adults ([Hoareau et al., 2016](#)). It thus could be that, in our study, older participants, being slower in refreshing, benefit less from increased free time.

In conclusion, and although the present work strengthens the hypothesis that refreshing is a good candidate to account for WM age-related deficits, it should also motivate further studies to specify the locus for this refreshing deficit. Is it a matter of a slower switching process, a difficulty to self-initiate refreshing, the circulation of information in and out of the focus of attention or the time needed to enhance memory traces activation?

**Supplementary Material**

Supplementary data is available at *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences* online.

**Funding**

This research was supported by a PhD grant allocated to the first author by the [University of Savoie Mont-Blanc](#).

7.55  
7.60  
7.65  
7.70  
7.75  
7.80  
7.85  
7.90  
7.95  
7.100  
7.104  
AQ10

**Conflicts of Interest**

AQ11 None reported.

8.5 **References**

Baddeley, A. D., and Hitch, G. J. (1974). "Working memory," in *recent advances in learning and motivation* (pp. 647–667). G. A. Bower (ed.). New York: Academic Press.

8.10 Baddeley, A., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36, 233–252.

AQ12 Baddeley, A. D., Thomson, N., and Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575–589.

8.15 Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 83–100. doi:10.1037/0096-3445.133.1.83

8.20 Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33, 570–585. doi:10.1037/0278-7393.33.3.570

Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working memory: Loss and reconstruction*. Hove, England: Psychology Press.

8.25 Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working memory. *Psychological Review*, 118, 175–192. doi:10.1037/a0022324

Basak, C., & Verhaeghen, P. (2011). Aging and switching the focus of attention in working memory: Age differences in item availability but not in item accessibility. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66, 519–526. doi:10.1093/geronb/gbr028

8.30 Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01

8.35 Baumans, C., Adam, S., & Seron, X. (2012). Effect of cognitive load on working memory forgetting in aging. *Experimental Psychology*, 59, 311–321. doi:10.1027/1618-3169/a000158

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, 223–233. doi:10.1093/geronb/60.5.P223

8.40 Camos, V. (2015). Storing verbal information in working memory. *Current Directions in Psychological Science*, 24, 440–445. doi:10.1177/0963721415606630

8.45 Camos, V., Johnson, M., Loaiza, V., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (in press). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Science*. doi:10.1111/nyas.13616

AQ13 Camos, V., & Portrat, S. (2015). The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22, 1029–1034. doi:10.3758/s13423-014-0772-5

8.50 Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 769–786.

8.52 Cowan, N. (1998). *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford University Press.

AQ14 Cowan, N. (1999). The differential maturation of two processing rates related to digit span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 72, 193–209. doi:10.1006/jecp.1998.2486

Craik, F. I. M. (1983). On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series B: Biological Sciences*, 302, 341–359.

8.55 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.

8.60 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.

Higgins, J. A., & Johnson, M. K. (2009). The consequence of refreshing for access to nonselected items in young and older adults. *Memory & Cognition*, 37, 164–174. doi:10.3758/MC.37.2.164

8.65 Hoareau, V., Lemaire, B., Portrat, S., & Plancher, G. (2016). Reconciling two computational models of working memory in aging. *Topics in Cognitive Science*, 8, 264–278. doi:10.1111/tops.12184

8.70 Jaeger, T. F. (2008). Categorical data analysis: Away from ANOVAs (transformation or not) and towards logit mixed models. *Journal of Memory and Language*, 59, 434–446. doi:10.1016/j.jml.2007.11.007

8.75 Jarjat, G., Hoareau, V., Plancher, G., Hot, P., Lemaire, B., & Portrat, S. (In press). What makes working memory traces stable over time? *Annals of the New York Academy of Science*.

AQ15 Johnson, M. K. (1992). MEM: Mechanisms of recollection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4, 268–280. doi:10.1162/jocn.1992.4.3.268

8.80 Johnson, M. R., McCarthy, G., Muller, K. A., Brudner, S. N., & Johnson, M. K. (2015). Electrophysiological correlates of refreshing: Event-related potentials associated with directing reflective attention to face, scene, or word representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27, 1823–1839. doi:10.1162/jocn\_a\_00823

8.85 Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Raye, C. L., & Greene, E. J. (2004). An age-related deficit in prefrontal cortical function associated with refreshing information. *Psychological Science*, 15, 127–132. doi:10.1111/j.0963-7214.2004.01502009.x

8.90 Johnson, M. K., Raye, C. L., Mitchell, K. J., Greene, E. J., Cunningham, W. A., & Sanislow, C. A. (2005). Using fMRI to investigate a component process of reflection: Prefrontal correlates of refreshing a just-activated representation. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 5, 339–361.

AQ16 Johnson, M. K., Reeder, J. A., Raye, C. L., & Mitchell, K. J. (2002). Second thoughts versus second looks: An age-related deficit in reflectively refreshing just-activated information. *Psychological Science*, 13, 64–67. doi:10.1111/1467-9280.00411

8.95 Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du "Mini Mental State" (MMS) version GRECO. *Revue De Neuropsychologie*, 13, 209–236.

8.100 Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 189–217. doi:10.1037/0096-3445.133.2.189

8.104

9.5 Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2016). lmerTest: Tests in linear mixed effects models. R package version 2.0–32. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>

9.10 Kynette, D., Kemper, S., Norman, S., & Cheung, H. T. (1990). Adults' word recall and word repetition. *Experimental Aging Research*, *16*, 117–121. doi:10.1080/07340669008251538

AQ17 Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2017). What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychonomic Bulletin & Review*, 1–16.

9.10 Loaiza, V. M., & McCabe, D. P. (2013). The influence of aging on attentional refreshing and articulatory rehearsal during working memory on later episodic memory performance. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *20*, 471–493. doi:10.1080/13825585.2012.738289

9.15 Loaiza, V. M., Rhodes, M. G., & Anglin, J. (2015). The influence of age-related differences in prior knowledge and attentional refreshing opportunities on episodic memory. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *70*, 729–736. doi:10.1093/geronb/gbt119

9.20 Loaiza, V. M., & Souza, A. S. (in press). Is refreshing in working memory impaired in older age? Evidence from the retro-cue paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*. doi:10.1111/nyas.13623

AQ18 Luo, L., & Craik, F. I. (2008). Aging and memory: A cognitive approach. *Canadian Journal of Psychiatry*, *53*, 346–353. doi:10.1177/070674370805300603

9.25 Moscovitch, M., & Winocur, G. (1995). Frontal lobes, memory, and aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *769*, 119–150.

9.30 Park, D. C., & Festini, S. B. (2017). Theories of memory and aging: A look at the past and a glimpse of the future. *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *72*, 82–90. doi:10.1093/geronb/gbw066

9.35 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. doi:10.1037/0882-7974.17.2.299

9.40 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*, 405–417. doi:10.1080/13803390600733064

9.45 Plancher, G., Boyer, H., Lemaire, B., & Portrat, S. (2017). Under which conditions can older participants maintain information in working memory? *Experimental Aging Research*, *43*, 409–429. doi:10.1080/0361073X.2017.1369730

9.45 Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2009). Working memory in children: A time-constrained functioning similar to adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, *102*, 368–74. doi:10.1016/j.jecp.2008.05.005

9.50 Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Greene, E. J., & Johnson, M. R. (2007). Refreshing: A minimal executive function. *Cortex*, *43*, 135–145.

9.50 Raye, C. L., Mitchell, K. J., Reeder, J. A., Greene, E. J., & Johnson, M. K. (2008). Refreshing one of several active representations: Behavioral and functional magnetic resonance imaging differences between young and older adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*, 852–862. doi:10.1162/jocn.2008.20508

9.55 Richardson, J. T. E., & Baddeley, A. D. (1975). The effect of articulatory suppression in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *14*, 623–629. doi:10.1016/S0022-5371(75)80049-1

9.60 RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated development for R*. Boston, MA: RStudio, Inc. Retrieved from <http://www.rstudio.com/>

9.60 Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*, 403–428. doi:10.1037/0033-295X.103.3.403

9.65 Souza, A. S. (2016). No age deficits in the ability to use attention to improve visual working memory. *Psychology and Aging*, *31*, 456–470. doi:10.1037/pag0000107

9.70 Tam, H., Jarrold, C., Baddeley, A. D., & Sabatos-DeVito, M. (2010). The development of memory maintenance: Children's use of phonological rehearsal and attentional refreshment in working memory tasks. *Journal of Experimental Child Psychology*, *107*, 306–324. doi:10.1016/j.jecp.2010.05.006

9.75 Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention: Dissociations of availability and accessibility. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, *15*, 703–724. doi:10.1080/13825580802061645

9.80 Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological Science*, *21*, 384–390. doi:10.1177/0956797610361340

9.80 Vergauwe, E., & Cowan, N. (2015). Attending to items in working memory: Evidence that refreshing and memory search are closely related. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*, 1001–1006. doi:10.3758/s13423-014-0755-6

9.85 Vergauwe, E., & Langerock, N. (2017). Attentional refreshing of information in working memory: Increased immediate accessibility of just-refreshed representations. *Journal of Memory and Language*, *96*, 23–35.

9.90 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. A, Human Experimental Psychology*, *58*, 134–154. doi:10.1080/02724980443000241

9.95 Verhaeghen, P., & Hoyer, W. J. (2007). Aging, focus switching, and task switching in a continuous calculation task: Evidence toward a new working memory control process. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *14*, 22–39. doi:10.1080/138255890969357

9.100 Ward, G., & Maylor, E. A. (2005). Age-related deficits in free recall: The role of rehearsal. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, *58*, 98–119. doi:10.1080/02724980443000223

9.100 Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *26*, 15–20. doi:10.1037/a0020912

9.104





Conformément à nos prédictions, nous avons observé une interaction significative entre l'activité de traitement et le groupe d'âge sur les performances de mémorisation. Plus précisément, la différence de performance entre la condition de jugement de parité et de jugement de localisation était plus grande chez les jeunes adultes que chez les participants âgés. Bien que ces résultats soient conformes à l'hypothèse d'une altération du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées, nous avons également observé une interaction significative entre l'activité de traitement et le groupe d'âge sur le CC de la tâche. Plus spécifiquement, la différence de CC entre la condition de jugement de parité et de jugement de localisation était également plus grande chez les jeunes adultes que chez les participants âgés. Ces résultats ne permettaient donc pas de conclure quant à notre question de recherche. Afin de surmonter ce défaut de manipulation constante du CC selon l'âge, nous avons effectué une analyse complémentaire incluant le CC comme prédicteur continu des performances de mémorisation. Cette nouvelle analyse a révélé une interaction significative entre le groupe d'âge et le CC de la tâche sur les performances de mémorisation. Ainsi, en accord avec l'hypothèse d'un déficit lié à l'âge du rafraîchissement attentionnel, nous avons observé que comparé aux jeunes adultes, les personnes âgées tiraient moins de bénéfices de la diminution du CC d'une tâche d'empan complexe.

Il convient néanmoins de relever un point important concernant le contrôle du mécanisme de répétition subvocale dans notre paradigme. Spécifiquement, les participants avaient pour consigne de répondre à l'oral à l'activité de traitement de la tâche afin d'empêcher l'utilisation de la répétition. Néanmoins, après avoir répondu, il n'était pas demandé aux participants d'articuler une syllabe à voix haute en continu. N'étant, *a priori*, pas exclus que les participants aient utilisé la répétition plutôt que le rafraîchissement attentionnel, nos résultats pourraient être expliqués non pas en termes de déficit lié à l'âge du rafraîchissement attentionnel, mais en termes de déficit de la répétition subvocale. Selon nous,

cette interprétation semble néanmoins peu crédible. Premièrement, de nombreuses études, incluant notre Étude 1, n'ont pas réussi à mettre en évidence une différence d'efficacité de la répétition subvocale liée à l'âge (Belleville, Peretz & Malenfant, 1996; Loaiza & McCabe, 2013; Peters, Majerus, Olivier, van der Linden, Salmon & Collette, 2007; voir cependant Ward & Maylor, 2005). De plus, au contraire de Baumans et collègues (2012) qui n'ont pas observé de modulation de l'effet du CC avec l'âge dans une procédure où les participants devaient répondre en silence à la tâche, l'introduction de la consigne de répondre à l'oral dans cette étude a permis d'observer une telle interaction. De fait, notre procédure a certainement permis de favoriser une stratégie de maintien ne reposant pas, ou peu, sur la répétition subvocale. Nous avons tout de même souhaité écarter cette interprétation alternative de façon expérimentale. Si notre étude s'explique en termes d'utilisation de la répétition subvocale, alors les différences de performances entre les deux groupes d'âge ne devraient plus être observées dans une procédure empêchant sans ambiguïté possible l'utilisation de la répétition. Nous avons testé cette hypothèse dans une étude complémentaire où, comme dans l'étude principale, un groupe de jeunes adultes et de personnes âgées ont effectué une tâche d'empan complexe adaptée à la capacité de mémorisation à court terme et à la vitesse de traitement de chaque participant. Également, les participants avaient pour consigne de répondre à l'activité de traitement (i.e., une activité de jugement de parité) tout en articulant continuellement la syllabe "ba", tout comme dans l'Étude 2.

### *1.3.2 Jarjat, Portrat & Hot (2018), supplementary material*

A separate sample of older and younger adults was tested for the purpose of a control experiment in which the use of rehearsal was impeded through articulatory suppression. The goal was to test the hypothesis that the results from the main experiment could be accounted for by the use of rehearsal only.

## Method

*Participants.* Fourteen undergraduate students (mean age = 20.5 years, SD = 1.9 years) and 16 older adults (mean age = 70.1 years, SD = 6.3 years) participated in the control study. All participants were volunteers, were native French speakers, had normal or corrected-to-normal vision, had no neurological background, and provided written informed consent before taking part in the study. Moreover, older participants were screened to rule out dementia by means of the Mini-Mental State Examination administered at the end of the session. Students received course credit and 10 euros while older adults received 20 euros for participating.

*Material and Procedure.* First, participants' short-term memory was evaluated through the exact same task we used in the main experiment. Then, participants completed a training phase on the parity judgement, first at slow and then at fast pace. For each pace, there were twenty digits ranging between one and ten, randomly generated and displayed one-by-one on the screen. Each digit was displayed during 600 ms, followed by a delay of 900 ms or 400 ms for slow and fast pace, respectively. For each digit, the participants had to press "L" and "S" on an azerty keyboard for "even" and "odd" response respectively. Of particular importance, participants were additionally asked to continuously repeat aloud the syllable "ba" during the task. For each pace condition, they had to obtain at least 80 % correct responses to continue. Finally, participants had to perform the computer-paced CST that was very similar to the CST of the main experiment except for two major differences<sup>10</sup>. First, the processing task was always a parity judgement task performed under articulatory suppression (see the training phase described above). Second, we used an online procedure aiming to equate CL across groups by taking into account each of the individual RTs to the digits. The delay following each digit was then calculated online with the same formula than in the main experiment:

---

<sup>10</sup> And two minor changes: each consonant was displayed during 1000 ms followed by a blank delay of 500 ms and the 10 series (5 per condition) were presented randomly.

$$Td = (a/CL^{11}) - pT.$$

## Results

First of all, we controlled that our manipulations were successful by verifying the Pace effect on measured CL. CL was analyzed by fitting a mixed effect linear model including *Group* (younger vs older adults) and *Pace* (Slow vs Fast) as fixed effects and *Participant* as a random factor (accounting for the multiple response measures per participant). Results of the analyses revealed a significant effect of *Pace* ( $t(28) = -90.5$ ,  $p < .001$ ), with the fast condition eliciting a higher CL ( $M = .59$ ,  $SD = .008$ ) than the slow pace ( $M = .39$ ,  $SD = .008$ ). Moreover, CL did not differ across groups ( $p = .89$ ) and there was no interaction ( $p = .84$ ).

All of the 60 data values collected in the WM task (30 participants x 2 conditions) were included in the analyses as participants performed well on the distracting task (mean accuracy > 70%). Ordered recall performance was analyzed by fitting a mixed effect logistic model including *Group* and *Pace* as fixed effects and *Participant* as a random factor. Results of the analyses (see Table 1) revealed significant effects of *Group* (Wald  $Z = 4.51$ , odds ratio [OR] = 2.9,  $p < .001$ ) and *Pace* (Wald  $Z = 4.04$ , OR = 1.53,  $p < .001$ ). Specifically, younger adults ( $M = 61\%$ ,  $SD = 17$ ) outperformed older adults ( $M = 37\%$ ,  $SD = 16$ ) and participants had higher recall at Slow ( $M = 52\%$ ,  $SD = 10$ ) than Fast pace ( $M = 44\%$ ,  $SD = 10$ ). The difference in recall performance between the Slow and Fast pace for each group (6.6% and 10.5% for older and younger adults, respectively) showed the expected pattern but did not reach significance ( $p = .37$ ).

---

<sup>11</sup> CL was fixed to .4 and .6 for the slow and fast pace, respectively.

**Table 1.** Summary of the Recall Performance Model Fitted on Data With Coefficient Estimates, Standard Errors, Wald Z Values, *p* Values, Odds Ratios, and 95% Confidence Intervals.

Predictors	Coef	SE	Wald Z	<i>p</i>	OR	95% CI
<i>Group</i>	1.07	(.24)	4.51	< .001	2.9	[1.81; 4.73]
<i>Pace</i>	0.43	(.11)	4.04	< .001	1.53	[1.25; 1.89]
<i>Group × Pace</i>	0.19	(.21)	0.88	.37	1.21	[0.79; 1.83]

*Note.* Coef = coefficient estimate; SE = standard error; OR = odds ratio; CI = confidence interval; CL = cognitive load.

### Discussion

We have designed and conducted a control experiment in which rehearsal was impossible because participants had to continuously repeat aloud “ba” corresponding to a strict and classical articulatory suppression. The data replicated an age-related difference in WM performance even in those conditions in which only attentional maintenance mechanism (*refreshing*) can take place. These results ruled out the hypothesis that the outcomes of the main experiment can be solely attributed to an age-related difference in rehearsal.



Contrairement à l'interprétation des résultats de l'Étude 3 en termes d'utilisation de la répétition subvocale, nous avons observé dans cette expérience supplémentaire que lorsque l'utilisation de la répétition est rendue théoriquement impossible, la différence de performance entre de jeunes adultes et des adultes âgés ne disparaît pas. Cette expérience est ainsi en accord avec l'hypothèse selon laquelle les résultats observés dans l'Étude 3 ne reflètent pas une différence liée à l'âge dans l'utilisation de la répétition subvocale mais plutôt une différence d'efficacité du rafraîchissement attentionnel. Ainsi, conformément à l'hypothèse d'un déficit de ce mécanisme dans le vieillissement, nous avons observé que les personnes âgées étaient moins sensibles à la variation du CC d'une tâche d'empan complexe que de jeunes adultes.

#### ***1.4. Conclusion intermédiaire***

L'objectif de cette première série d'études était de mettre en évidence une altération du mécanisme de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées, en testant l'effet de son utilisation sur les performances de mémorisation à court terme. Pour cela, nous avons utilisé des tâches d'empan complexe mêlant une activité de mémorisation d'informations à une activité concurrente de traitement d'informations. Dans ces situations, les travaux développés initialement par Barrouillet et collaborateurs (voir Chapitre 2), ont montré que les performances de mémorisation dépendent directement du CC de la tâche: plus le CC diminue, plus la proportion de temps disponible pour mettre en place le maintien des informations augmente et meilleures sont les performances de mémorisation. De plus, les travaux menés dans le cadre de l'étude du développement des capacités de MDT chez l'enfant ont montré que la relation entre CC et performances de mémorisation dépendait de l'efficacité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel. En effet, Gaillard et collègues (2011) ont observé qu'à CC égal, des enfants âgés entre 11 et 12 ans avaient de meilleures performances de



mémorisation que des enfants âgés entre 8 et 9 ans, et que ces différences disparaissaient lorsque ces derniers bénéficiaient de plus de temps libre permettant l'utilisation du rafraîchissement attentionnel. Sous l'hypothèse d'une diminution de l'efficacité de ce mécanisme avec l'âge, il devrait donc être également possible d'observer des résultats comparables chez les personnes âgées. Spécifiquement, à CC constant, les performances de mémorisation de personnes âgées devraient être inférieures à celles de jeunes adultes. De plus, les personnes âgées devraient tirer moins de bénéfice de l'augmentation de la proportion de temps pouvant être allouée au rafraîchissement des informations. Par conséquent, la différence de performances entre un CC élevé et un CC faible devrait être plus faible chez des adultes âgés que chez de jeunes adultes. Néanmoins, d'autres travaux menés chez des enfants ont montré que la relation entre CC et performances de mémorisation dans les tâches d'empan complexe n'est pas observée chez une population n'utilisant pas le mécanisme de rafraîchissement attentionnel (e.g., Camos & Barrouillet, 2011).

Dans l'Étude 1, nous avons donc souhaité écarter l'hypothèse que les personnes âgées n'utilisent pas le rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe. Les résultats de cette étude ont montré que cette hypothèse n'était pas adaptée pour rendre compte des performances de mémorisation des participants âgés. Plus précisément, les performances des personnes âgées, tout comme celles de jeunes adultes, n'étaient pas sensibles à l'augmentation de la durée de rétention des informations, que les participants soient en mesure d'utiliser ou non la répétition subvocale. Ces résultats sont donc en accord avec l'hypothèse de l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel chez ces deux populations. Dans cette même étude, nous avons également fait varier le CC de la tâche afin de mettre en évidence une modulation de l'effet du CC selon l'âge. Néanmoins, les résultats ont montré que les performances de mémorisation des deux groupes d'âge n'étaient pas affectées par la variation du CC. En lien avec la littérature (Barrouillet et al., 2007), nous

avons interprété ces résultats comme reflétant une limite de l'activité de traitement utilisée dans la tâche d'empan complexe. Plus précisément, l'activité de détection de ronds que nous avons utilisés dans cette première étude n'impliquait vraisemblablement pas suffisamment l'utilisation de processus attentionnels contrôlés. De fait, la manipulation de la vitesse d'apparition de l'activité ne permettait pas de faire varier le CC de la tâche. Afin de tester cette hypothèse, nous avons réalisé l'Étude 2, dont la procédure générale était similaire à l'Étude 1, à l'exception de l'activité de traitement utilisée.

Dans cette deuxième étude, menée auprès de jeunes adultes uniquement, nous avons utilisé une activité de jugement de parité de chiffres, dont la littérature a montré qu'elle était adaptée pour manipuler le CC d'une tâche d'empan complexe. En accord avec notre hypothèse, les résultats de cette deuxième étude ont montré que changer l'activité de traitement permettait d'observer un effet du CC sur les performances de mémorisation. Ainsi, les résultats des Études 1 et 2 sont en accord avec les résultats de Barrouillet et collaborateurs (2007), qui suggèrent que le lien entre le CC et les performances de mémorisation dans une tâche d'empan complexe dépend de la nature des processus attentionnels mis en jeu pour réaliser l'activité de traitement. Lorsque la réalisation de cette dernière n'implique pas, ou très peu, de processus attentionnels contrôlés, la proportion de temps pour répondre à l'activité n'influence pas les performances de mémorisation (Étude 1). À l'inverse, les performances de mémorisation sont influencées par la proportion de temps utilisée pour répondre à une activité impliquant de multiples processus contrôlés (Étude 2).

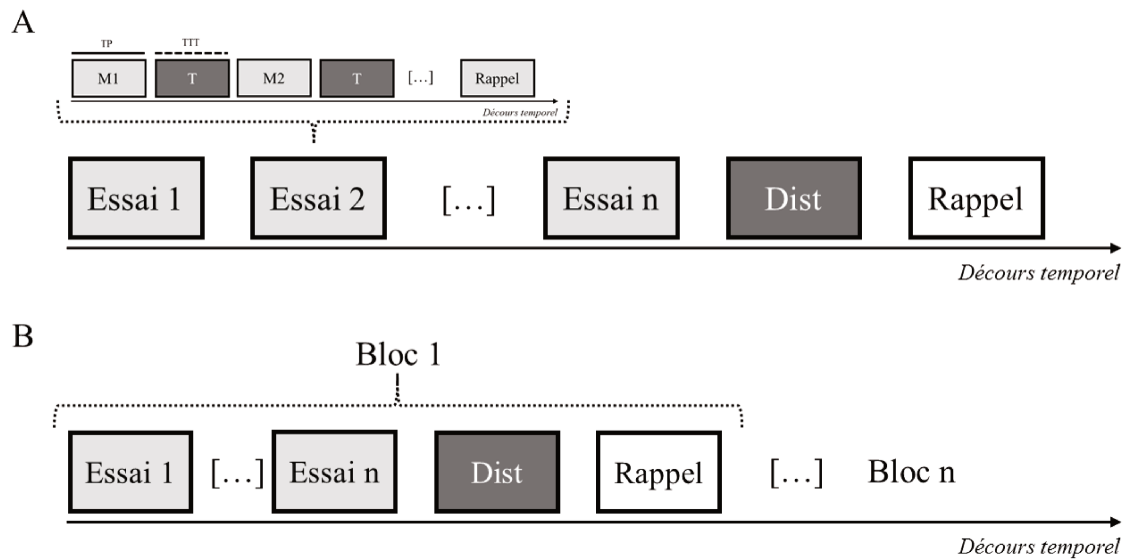
Les résultats de l'Étude 1 ayant montré que les personnes âgées utilisent le mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans les tâches d'empan complexe, nous avons ensuite testé l'hypothèse d'un déficit de ce mécanisme lié à l'âge. Notre objectif était de mettre en évidence une modulation de l'effet du CC selon l'âge. Pour cela, nous avons dû tenir compte de la diminution de la vitesse de traitement chez les personnes âgées. En effet, cette

caractéristique majeure du vieillissement cognitif influence directement le CC des tâches d'empan complexe. Spécifiquement, dans une procédure où des participants jeunes et âgés réalisent la tâche selon les mêmes paramètres temporels, les participants âgés, puisqu'ils sont ralentis, seront en fait testés dans des conditions à CC plus élevé que les participants jeunes. Ainsi, dans l'Étude 3, nous avons mis au point une procédure dont l'objectif était de contrôler ce facteur et maintenir constant le CC entre le groupe de participants jeunes et âgés. L'analyse des résultats de cette troisième étude a néanmoins révélé que cette procédure n'a pas été suffisamment efficace pour permettre d'égaliser complètement le CC entre les groupes. Par conséquent, nous avons réalisé des analyses complémentaires en vue de surmonter cette limite. Ces analyses ont permis de mettre en évidence que dans une situation gênant l'utilisation de la répétition subvocale, la relation entre CC et performances de mémorisation était plus faible chez les participants âgés que chez les participants jeunes. De plus, les résultats de l'Étude 4 (Jarjat et al., 2018, supplementary material) ont permis d'écarter l'hypothèse selon laquelle les résultats observés dans l'Étude 3 reflètent une différence liée à l'âge dans l'utilisation de la répétition subvocale. Ainsi, en accord avec l'hypothèse d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, nous avons observé que la diminution du CC d'une tâche d'empan complexe était moins bénéfique pour les personnes âgées.

## **2. Rafrâichissement attentionnel et mémorisation à long terme**

Comme nous l'avons développé dans le Chapitre 1, la MDT et la MLT sont généralement considérées comme des systèmes mnésiques distincts mais non-indépendants l'un de l'autre. Ainsi, de nombreuses études se sont intéressées aux influences réciproques de chacun de ces

systèmes mnésiques dont, par exemple, la question de l'implication des mécanismes de maintien des informations de la MDT sur la mémorisation à long terme. Dans ce cadre, des études se sont plus particulièrement intéressées aux effets du rafraîchissement attentionnel sur la mémorisation à long terme (e.g., Camos & Portrat, 2015; Loaiza & McCabe, 2012, 2013; Souza & Oberauer, 2017b). Cette ligne de recherche semble trouver sa source dans les résultats *a priori* contre-intuitifs de l'étude de McCabe (2008). Dans cette étude, McCabe s'est intéressé aux performances de mémorisation à court et à long terme de jeunes adultes dans des situations de tâches d'empan simple et de tâches d'empan complexe. Pour évaluer à la fois la mémorisation à court et à long terme, McCabe a utilisé une procédure incluant un rappel différé des informations étudiées dans les tâches d'empan. Dans cette procédure, les participants doivent effectuer plusieurs essais de la tâche d'empan, permettant ainsi d'évaluer le rappel immédiat des informations. Après le dernier essai de la procédure (e.g., McCabe, 2008), ou après le dernier essai d'un bloc expérimental (e.g., Camos & Portrat, 2015; Loaiza & McCabe, 2012), les participants doivent réaliser une tâche distractive pendant quelques minutes (e.g., répondre à un questionnaire). Enfin, les participants doivent rappeler les informations étudiées dans l'ensemble des essais de la tâche, permettant ainsi d'évaluer le rappel différé des informations (Figure 4.7).



**Figure 4.7.** Illustration de la procédure de rappel différé d'une tâche d'empan complexe. (A) Après avoir réalisé l'ensemble des essais d'une tâche d'empan complexe (Essai 1, ... Essai n), les participants réalisent une tâche de distraction (Dist) pendant quelques minutes puis rappellent toutes les informations vues dans les essais de la tâche d'empan complexe dont ils se souviennent. (B) Après avoir réalisé un bloc d'essais d'une tâche d'empan complexe, les participants réalisent une tâche de distraction puis rappellent toutes les informations vues dans le bloc dont ils se souviennent. Le rappel différé est suivi d'un ou plusieurs blocs expérimentaux.

En accord avec la littérature, les résultats obtenus par McCabe (2008) ont montré que les performances de rappel immédiat d'informations étudiées dans une tâche d'empan simple étaient meilleures que dans une tâche d'empan complexe. Néanmoins, McCabe a observé un pattern de résultats inverse concernant les performances de rappel différé. Plus précisément, les informations étudiées dans une tâche d'empan complexe étaient mieux rappelées à long terme que celles étudiées lors d'une tâche d'empan simple. Pour rendre compte de ces résultats, McCabe s'est inspiré du modèle de Cowan (e.g., 1995; voir Chapitres 1 et 2). Il est important de noter ici que dans l'étude de McCabe, les participants devaient mémoriser des listes de quatre informations, dans les deux types de tâche d'empan. Selon McCabe, et en accord avec le modèle de Cowan, lorsque des listes de quatre informations sont présentées en situation d'empan simple, les informations peuvent être maintenues dans le focus attentionnel

tout au long de l'essai. En effet, le nombre d'informations n'excède pas les capacités du focus attentionnel (e.g., Cowan, 2001). À l'inverse, en situation d'empan complexe, la réalisation de l'activité de traitement nécessite l'utilisation du focus attentionnel, ce qui implique un déplacement des informations à mémoriser hors de ce dernier. Après la réalisation de l'activité de traitement, les informations à mémoriser doivent donc être récupérées pour être réintégrées à nouveau dans le focus attentionnel. Selon McCabe, ce mécanisme de récupération, qu'il nomme récupération silencieuse (*covert retrieval*), favoriserait la création d'indices de récupérations à long terme (*long term retrieval cues*). Ces indices ainsi créés pendant la tâche d'empan complexe faciliteraient ensuite la récupération des informations lors de la phase de rappel différé. La différence de performance de mémorisation à long terme des informations étudiées dans les tâches d'empan simple et complexe résulterait donc de la présence ou non de ces indices. Ce cadre théorique implique une prédiction que McCabe a pu tester dans son étude. Spécifiquement, si la récupération silencieuse favorise la création d'indices de récupération à long terme, alors les performances de rappel différé devraient dépendre du nombre d'opportunités de récupérations silencieuses lors de la tâche d'empan complexe. De plus, ce nombre d'opportunités dépend de la position des items dans la liste : le premier item de la liste entrera et sortira plus souvent du focus attentionnel que le deuxième item, qui lui-même naviguera plus souvent que le troisième, etc. Il devrait alors y avoir plus d'indices créés pour les premiers items de la liste que pour les derniers et par conséquent, le rappel différé des informations devrait être fonction de la position des items dans la liste. Les résultats observés par McCabe (2008) sont en accord avec cette hypothèse. Ainsi, les performances de mémorisation à long terme dépendent des opportunités de récupérations silencieuses qui sont elles-mêmes intrinsèquement manipulées par la position des items dans les essais de la tâche. Néanmoins, ces opportunités étant liées aux épisodes de traitements dans les tâches d'empan complexe, il devrait aussi être possible de les manipuler plus directement. Plus précisément, si

la récupération silencieuse a lieu après chaque épisode de traitement, alors augmenter le nombre de traitements devrait aussi influencer les performances de mémorisation à long terme. Loaiza et McCabe (2012) ont par conséquent manipulé les opportunités de récupérations des informations en MDT en faisant varier le nombre de traitements à réaliser dans une tâche d'empan (0 vs. 1 vs. 2). Surtout, à la différence de la manipulation du CC par l'augmentation du nombre de traitements à effectuer à temps total fixe, la manipulation de Loaiza et McCabe (2012) impliquait un allongement du temps total. Ainsi, dans leur paradigme expérimental, Loaiza et McCabe (2012) ont manipulé le nombre de traitements mais ont maintenu constant le CC de la tâche. En accord avec l'hypothèse selon laquelle la récupération silencieuse a lieu après chaque épisode de traitement, Loaiza et McCabe (2012) ont observé de meilleures performances de mémorisation à long terme à mesure que le nombre de traitements augmentait lors de la présentation des informations à mémoriser.

Ainsi, ces études suggèrent que l'augmentation des opportunités de récupération silencieuse d'informations lors d'une tâche d'empan complexe, par le biais de la position des items dans les essais ou plus directement par le nombre d'épisodes de traitements (en contrôlant le CC de la tâche), améliore les performances de mémorisation à long terme. Bien qu'à l'origine McCabe ait proposé que la récupération silencieuse d'informations puisse être sous-tendue par différents mécanismes de maintien de MDT (McCabe, 2008), l'hypothèse selon laquelle ces récupérations correspondraient à l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel a par la suite été privilégiée (e.g., Loaiza & McCabe, 2012, 2013). Pris ensemble, ces différents travaux suggèrent par conséquent que l'utilisation du rafraîchissement attentionnel peut être manipulé en faisant varier le nombre de traitements dans des tâches d'empan complexe et ce, à CC constant (Loaiza & McCabe, 2012).

Ces études ayant lié le rafraîchissement attentionnel en MDT à la mémorisation à long terme ont mené Camos et Portrat (2015) à tester l'hypothèse d'un effet de la manipulation du

CC sur le rappel différé. Si, comme le suggèrent les études de McCabe et collègues, les performances de mémorisation à long terme dépendent de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel en MDT, alors il devrait être possible d'observer un effet du CC sur les performances à long terme puisqu'il a été démontré de nombreuses fois que l'efficacité de ce mécanisme dépend du CC. Les résultats des deux expériences menées dans le cadre de cette étude étaient conformes à cette hypothèse. Spécifiquement, les auteures ont observé que comme pour le rappel immédiat d'informations, les performances de rappel différé de jeunes adultes étaient significativement meilleures lorsque les informations avaient été étudiées dans une tâche d'empan complexe à faible CC comparé à une condition avec un CC plus élevé. Ainsi, la mémorisation à long terme d'informations étudiées dans une tâche d'empan complexe semble dépendre, au moins en partie, de la disponibilité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel. Néanmoins, Camos et Portrat (2015) rapportent une interprétation alternative à celle de McCabe et collaborateurs concernant l'influence du rafraîchissement attentionnel sur les performances de mémorisation à long terme. En effet, l'interprétation proposée par ces derniers (e.g., McCabe, 2008) repose sur le modèle spécifique de Cowan où la MDT correspond à une partie activée de la MLT. Comme nous l'avons développé dans le Chapitre 1, d'autres modèles de la MDT réfutent cette proposition. Par exemple, le modèle TBRS défend l'hypothèse selon laquelle les informations manipulées en MDT sont des représentations particulières, qui ne correspondent pas aux informations de la MLT (Barrouillet & Camos, 2015). Dans ce cadre, Barrouillet et Camos (2015) proposent que le rafraîchissement attentionnel, en même temps qu'il permet de reconstruire les représentations en MDT dégradées, laisse une trace mnésique en MLT. Par conséquent, à mesure que les opportunités de rafraîchissement attentionnel augmentent en MDT, le nombre de traces mnésiques en MLT augmentera également, permettant une amélioration des performances de rappel à long terme.



En résumé, la littérature actuelle suggère (1) que le rafraîchissement attentionnel en MDT influence les performances de mémorisation à long terme et (2) que l'utilisation de ce mécanisme peut être manipulée dans des tâches d'empan complexe en faisant varier le nombre de distracteurs d'une part (e.g., Loaiza & McCabe, 2013), et le CC de la tâche d'autre part (Camos & Portrat, 2015). Si l'influence du CC et du nombre de traitements sur les performances de mémorisation à long terme sont effectivement la conséquence de leur effet sur un même mécanisme, alors il devrait être possible d'observer un effet d'interaction entre ces deux facteurs. Néanmoins, les études publiées à ce jour ont toujours manipulé ces deux facteurs indépendamment. L'objectif de l'Étude 5 était donc de manipuler dans une même expérience le CC et le nombre de traitements dans une tâche d'empan complexe incluant un rappel différé des informations. Il est important de rappeler ici que selon Barrouillet et Camos (2015), une nouvelle représentation en MLT serait créée à chaque fois qu'une représentation en MDT est rafraîchie. Ainsi, plus le temps pendant lequel les représentations en MDT sont sous le contrôle de l'attention, plus le nombre de représentations en MLT augmente. Cette interprétation a l'avantage d'expliquer à la fois l'effet du nombre de distracteurs et l'effet du CC sur les performances de mémorisation à long terme. Elle suggère également qu'un facteur sous-jacent commun, le temps libre cumulé permettant l'utilisation du rafraîchissement attentionnel, serait en réalité le facteur direct permettant de prédire les performances de mémorisation à long terme. En effet, faire varier le nombre de traitements ou le CC d'une tâche d'empan complexe a, dans les deux cas, comme finalité de faire varier ce temps libre cumulé. De plus, l'augmentation du nombre de traitements aurait d'autant plus d'effet sur la variation du temps libre cumulé que le CC de la tâche est faible. Par conséquent, l'interaction entre les effets du CC et du nombre de traitements observée sur les performances de

mémorisation à long terme pourrait être sous-tendue par la variation du temps libre cumulé. Un deuxième objectif de l'Étude 5 était donc de tester cette hypothèse originale<sup>12</sup>.

### ***2.1 Étude 5: effet du temps libre cumulé sur la mémorisation à long terme chez des adultes jeunes.***

Dans cette étude, de jeunes adultes ont réalisé une tâche d'empan complexe incluant une procédure de rappel différé. Des listes de six mots concrets à mémoriser étaient présentées aux participants. Dans chaque liste, la présentation d'un mot était suivie par des consonnes que les participants devaient lire à haute voix. À la fin de chaque liste, les participants devaient rappeler les mots vus, dans leur ordre d'apparition (i.e., rappel immédiat). Après la présentation de l'ensemble des essais expérimentaux, les participants devaient réaliser une activité distractive pendant trois minutes, suivie d'une phase de rappel où les participants devaient rappeler le maximum de mots vus pendant l'ensemble de la phase expérimentale (i.e., rappel différé).

Nous avons manipulé le nombre de consonnes suivant la présentation de chaque mot (2 vs. 8 consonnes) ainsi que la vitesse de présentation des consonnes (lente vs. rapide). Cette étude comportait donc quatre conditions expérimentales permettant de tester nos différentes hypothèses quant aux effets de ces deux variables, et de leur interaction, sur la mémorisation à court terme d'une part et sur la mémorisation à long terme d'autre part. Concernant le rappel à court terme, en lien avec la littérature, nous prédisons un effet du CC de la tâche sur les performances des participants. Plus précisément, le CC étant plus élevé à vitesse rapide qu'à vitesse lente, les performances devraient être meilleures dans cette dernière condition. Concernant le rappel à long terme, en lien avec la littérature, nous prédisons un effet du

---

<sup>12</sup> Originale dans le sens où lorsque nous avons commencé nos travaux, aucune publication, à notre connaissance, n'avait introduit cette hypothèse. Comme nous l'abordons dans la publication présentée ci-dessous (Jarjat et al., 2018), une étude publiée un peu plus tôt que la nôtre a cependant proposé une idée similaire.

nombre de traitements, avec de meilleures performances dans la condition 8 consonnes que 2 consonnes, ainsi qu'un effet du CC, avec de meilleures performances à vitesse lente qu'à vitesse rapide. De plus, sous l'hypothèse que ces deux facteurs influencent l'utilisation du rafraîchissement attentionnel, via la variation sous-jacente du temps libre cumulé, nous prédisons également une interaction des effets du CC et du nombre de traitements. Plus précisément, l'amélioration des performances liée à l'augmentation du nombre de traitements devrait être plus importante à faible qu'à fort CC. Les résultats de cette étude sont présentés dans la publication ci-dessous (Jarjat, Hoareau, Plancher, Hot, Lemaire & Portrat, 2018).

*2.1.1. Jarjat, Hoareau, Plancher, Hot, Lemaire et Portrat (2018), Annals of the New York Academy of Sciences.*

## ANNALS OF THE NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES

Special Issue: *Attention in Working Memory*

ORIGINAL ARTICLE

## What makes working memory traces stable over time?

Gabriel Jarjat,<sup>1</sup> Violette Hoareau,<sup>2</sup> Gaën Plancher,<sup>3</sup> Pascal Hot,<sup>1</sup> Benoît Lemaire,<sup>2</sup>  
and Sophie Portrat <sup>3</sup><sup>1</sup>LPNC, Université Savoie Mont-Blanc, Chambéry, France. <sup>2</sup>CNRS, LPNC, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France.<sup>3</sup>Université Lumière Lyon 2, EMC, Bron, France

Address for correspondence: Sophie Portrat, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, Bat. Sciences de l'Homme et Mathématiques, Université Grenoble Alpes, CS 40700 – 38058, Grenoble Cedex 9, France.

sophie.portrat@univ-grenoble-alpes.fr

Understanding the factors that make working memory (WM) traces stable over time is important because WM is the keystone of general cognitive achievement. Two views of attentional WM maintenance have been suggested to account for the long-term retention of WM information. First, the distractors in a WM task are thought to foster the creation of episodic memory cues through covert retrieval. Second, the cognitive load (CL) of the distractors is thought to vary long-term memory instantiation. In this study, we propose an additional parsimonious perspective: the total time during which each trace is under the control of attention in WM is the key to long-term retention. Participants performed a complex span task in which the CL and number of distractors were orthogonally manipulated, and thereafter the participants performed a delayed recall test. Similar to previous findings, the results showed effects of the number of distractors and of CL on delayed recall. Our results went further, however, by showing a non-linear relationship between delayed recall performance and the free time accumulated between encoding and immediate recall. The role of time in episodic memory performance and the underlying WM maintenance mechanism are discussed.

**Keywords:** refreshing; working memory; episodic memory; complex span task; cognitive load; refreshing; delayed recall

### Introduction

Working memory (WM) is generally described as the capacity-limited system underpinning ongoing cognitive tasks through brief maintenance and manipulation of information. In line with this assumption, it has been observed that performance on WM span tasks is related to high-level cognition.<sup>1</sup> One of the most widely used WM span tasks is the complex span task (CST), which requires participants to temporarily maintain series of memoranda while processing an interleaved concurrent activity that requires attention.<sup>2</sup> Numerous studies have shown that the structure of CSTs (e.g., pace of the concurrent activity, number of distracting items) influences immediate<sup>3</sup> and delayed recall performance.<sup>4–7</sup> This implies that the study of the mechanisms underlying WM maintenance during CSTs is important to further understand how infor-

mation is stabilized over the long term. This, in turn, might shed light on the relationship between WM and long-term episodic memory.

Within such a paradigm, there is a growing consensus in the literature that, beyond phonological rehearsal, maintenance of information relies on attention.<sup>8</sup> It has been proposed that one might use *refreshing*, a domain-general, attention-based mechanism that prolongs and/or increases the activation of WM information by briefly focusing attention on it.<sup>3,9</sup> Refreshing is thought to take place during the free time following each distracting activity to counteract its deleterious effect on memoranda. This mechanism was recently proposed to influence the long-term accessibility of information.<sup>4</sup> Another view regarding attentional maintenance was proposed within the *covert retrieval* model, in which WM is conceptualized as an activated

portion of long-term memory.<sup>5</sup> According to this model, memoranda are thought to be displaced from WM owing to distractors within a CST and must be continuously retrieved from episodic memory. These retrievals would in turn promote the association of memory representation to a source context (i.e., temporal-contextual cues), thereby facilitating later recall. While it was initially thought that this mechanism could take several forms,<sup>5</sup> the authors espoused the view that refreshing was the mechanism underlying these retrieval attempts.<sup>6,7</sup> Between these two views, there is a converging idea that an attention-based mechanism (refreshing) contributes to episodic memory through both stabilizing WM information over the long term and fostering the creation of temporal-contextual cues. This hypothesis would be strengthened if we could observe an interaction between the factors that have been studied to support each concept. However, to our knowledge, the proportion of free time allowing refreshing and the number of distracting activities forcing covert retrievals have never been tested in a single paradigm. In the present study, we therefore aimed to examine the respective roles of two WM factors proposed to affect episodic memory: opportunities for refreshing and number of distractors. To this end, we used a CST in which these factors were orthogonally manipulated to investigate the long-term retention of information through a delayed recall test.

The opportunities for refreshing have been studied through the cognitive load (CL) effect.<sup>4</sup> The CL of the distracting activity corresponds to the proportion of time during which attention is captured and is thus unavailable for refreshing.<sup>10</sup> Increasing the CL, thereby reducing the availability of refreshing, has consistently resulted in poorer WM performance.<sup>3,11</sup> This effect was recently tested on delayed recall to investigate the impact of refreshing on long-term accessibility of information.<sup>4</sup> The CL of the processing activity was varied by manipulating the type (simple versus choice reaction time) and pace of the task (slow versus fast). With both manipulations, a detrimental effect of increased CL was reported on immediate and delayed recall.<sup>4</sup> These results suggested that long-term retention of items studied in a CST depends, at least in part, on the availability of refreshing during this task. According to the time-based resource-sharing (TBRS) model,<sup>4,10</sup> refreshing counteracts the time-based

decay of memory traces by reconstructing their representations in WM and, as a by-product, leaves instances in episodic memory. Hence, the more refreshing, the more episodic memory instances and the better the delayed recall.

In experiments on the effect of CL on delayed recall, the number of distractors was never varied.<sup>4</sup> However, it has been demonstrated that this factor affects episodic memory performance because it varies WM maintenance opportunities. Studying items within a CST elicits better delayed recall than studying items in a simple span task with no distractor.<sup>5</sup> This result was surprising because the reverse pattern (better performance without a distractor) was observed for immediate recall. McCabe proposed that maintaining items within a CST is achieved by a covert retrieval process that occurs between distracting episodes, providing retrieval cues for delayed recall.<sup>5</sup> These cues are not created in a simple span task because up to four items (as in McCabe's study<sup>5</sup>) can be maintained in the focus of attention and recalled directly from it.<sup>12</sup> In a CST, the distractors displace the to-be-maintained items from the focus of attention, forcing their covert retrieval from episodic memory and thus promoting context-content associations. This study also showed a primacy gradient in delayed recall performance following the CST but not the simple span task, suggesting that items in early list positions are retrieved more often from episodic memory than items at the end of the list. Follow-up studies have strengthened these conclusions.<sup>6,7</sup> For example, participants performed a modified operation span task (a common CST) in which opportunities for refreshing were varied by manipulating the number of arithmetic operations (0, 1, or 2) preceding each to-be-remembered word (Ref. 7, experiment 2). Increasing the number of operations was supposed to increase the opportunity to switch attention from the operation to keep the to-be-remembered information active.<sup>6</sup> Consistent with the theoretical view, the results showed a beneficial effect of number of operations on delayed recall performance. However, immediate recall performance was better for the zero-distractor condition than for the one- or two-distractor conditions (CST) that did not differ from each other. These results were consistent with the TBRS model<sup>10</sup> because the pace of arithmetic operations was kept constant, and hence the CL of the processing task did not vary across conditions.

In these two sets of studies, two factors were manipulated separately (CL and number of distractors) in order to vary opportunities for refreshing to-be-maintained information. Given the two views, and in accordance with previous results, one can predict effects of CL and the number of distractors on delayed recall performance. However, we propose that these two manipulations both rely on a unique and common factor: total time during which items are under the control of attention in the CST. Hence, increasing the number of distractors not only increases the number of opportunities for retrieving information from episodic memory, and decreasing CL not only tips the scale in favor of maintenance against decay—the two manipulations also affect the total free time available to strengthen memory traces. According to Cowan's embedded-process model,<sup>12,13</sup> retrieving items into the focus of attention increases their level of activation in episodic memory and renders their memory representation more stable over time. Repeated refreshing allowed by longer free pauses during a CST enhances the activation level of items in episodic memory, thus making them more available for later recall. This proposal leads to a simple hypothesis: the longer an item is under the control of attention in WM, the better its delayed recall. Manipulating both the CL and the number of distractors orthogonally in a single experiment allowed us to test whether one or both matter and whether their effects are both mediated by the total accumulated free time available to refresh items during the CST.<sup>a</sup>

## Experiment

To test these predictions, we conducted an experiment in which participants performed a CST. They had to maintain series of six words while concurrently reading letters. They were asked to recall the words immediately after each series and during a unique delayed recall test at the end of the experiment. The number (two versus eight) and the pace (slow versus fast) of the letters that had to be read were orthogonally manipulated to vary opportunities for refreshing. This led to a large variation of

24 values of “accumulated free time” from encoding an item to recalling it within the CST when attention is not captured by the concurrent processing activity. These accumulated free time values ranged from very short for the last word studied in the fast condition with two distractors to very long for the first word studied in the slow condition with eight distractors. We predicted that, beyond the pace and the number of distractor effects, delayed recall performance should depend on cumulative free time, and we should thus observe an interaction between the two factors.

Of less importance for the present study, the expected pattern of immediate recall should depart from that revealed for delayed recall. Indeed, as already shown,<sup>11</sup> WM performance depends on the balance between time-based decay and free time (i.e., CL), not on free time only. Moreover, most of the existing evidence has shown either detrimental effects or no effects of the number of distractors on WM performance. As mentioned earlier, one versus two operations processed at a similar pace in an operation span task did not affect immediate recall.<sup>6</sup> As far as we know, four other experiments in the literature used a CST in which the number of distractors was manipulated while CL was kept constant.<sup>14–16</sup> Only one reported a significant beneficial effect of the number of distractors, with four location judgments leading to better immediate recall of letters than one judgment (see Ref. 15, experiment 2). Hence, if the number of distractors has an effect on immediate WM performance, it is a slight effect.

## Materials and methods

### Participants

Forty-two students (36 males) between 18 and 34 years ( $M = 21.1$ ,  $SD = 3.4$ ) received partial course credit for participating. All participants were native French speakers, had normal or corrected-to-normal vision, did not self-report any history of neurological problems (e.g., epilepsy, stroke), and provided written informed consent before taking part in the study.

### Material and procedure

The experimental sessions took place individually. Five blocks of the computer-paced CST were administered on a laptop with E-Prime 2.0 software.<sup>17</sup> Each block consisted of four trials of six

<sup>a</sup>During the final writing of this paper, we were made aware that a comparable idea has been tested and recently published by others (Ref. 29). The implications of the two findings are discussed in the last section of the paper.

to-be-remembered words, interspersed with letters to be read aloud, with one trial of each experimental condition (two/slow, two/fast, eight/slow, and eight/fast). The order of experimental conditions within each block was random, with each condition consisting of five series distributed among the five blocks. All to-be-remembered words were concrete, bisyllabic nouns, with an average frequency in the French language (in a million occurrences) of 26.3 (range 1.28–82.36). Semantic or phonological similarities between words within a list were avoided. All letters except “w” and “y” (bisyllabic in French) were used as to-be-read-aloud distractors. Each trial began with a screen indicating the experimental condition for 2000 ms (e.g., “2 letters/slow”). A fixation point was then centered on the screen for 500 ms, followed by the first word of the sequence. Words were displayed in the center of the screen for 2000 ms, followed by a 500-ms delay. Participants had to read each word aloud to ensure encoding. After each word, two or eight letters appeared on the screen, depending on the experimental condition. In the fast-pace condition, each letter was displayed for 500 ms followed by a 375-ms delay, whereas, in the slow-pace condition, each letter was displayed for 1500 ms followed by a 500-ms delay. Participants had to read each letter aloud. After the last letter, the second word appeared, and so on, until the end of the sequence. At the end of each sequence, the word “rappel” (recall) appeared on the screen, indicating that participants had to orally recall the words in correct order. The experimenter reported participants’ recall with a second keyboard. Participants had to press the spacebar key to move to the next trial. The experimental session was preceded by a training phase in which participants performed two trials: two letters/slow and eight letters/fast in a fixed order.

After completing all blocks of the CST, participants were asked to fill in a demographics questionnaire for 3 minutes. This filler activity was followed by a surprise final delayed recall test, in which they were given 5 min to freely recall any words that they had studied within all blocks of the CST. Finally, participants were given time to complete the demographics questionnaire if needed.

### Data analysis

A separate Bayesian analysis of variance (BANOVA)<sup>18,19</sup> was run for each measure,

with the number of distractors (two versus eight) and the CL of the distracting task (high versus low) as within-subject factors. This analysis was run for the proportion of correct recall from the delayed memory test (raw delayed recall) and from the immediate memory test (raw immediate recall), as well as for conditional scores. A conditional score was computed for the immediate memory test by extracting the subset of items that were recalled only at immediate recall and not at delayed recall in order to get a purer WM measure. For the delayed memory test, the conditional score was a control measure that corresponded to the proportion of items that had been recalled at immediate and at delayed recall (the raw delayed score including some items that had been recalled at the delayed test but not at the immediate test). These statistical analyses, presented in Table 1, were conducted by using the BayesFactor package<sup>20</sup> implemented in R<sup>21</sup> with the default settings.

This test computes the strength of evidence in the data for each model, which includes a combination of main effects and interaction<sup>b</sup> compared with a null model ( $M_{Null}$ ) that includes only a random effect of the participant. Indeed, given an *a priori* probability of two competing models, for instance,  $p(M1)$  and  $p(M2)$ , and the likelihood of observing the data under each model ( $p(Y|M1)$  and  $p(Y|M2)$ ), it is possible to calculate the relative plausibility of one model against the other:

$$\frac{p(M1|Y)}{p(M2|Y)} = \frac{p(M1) p(Y|M1)}{p(M2) p(Y|M2)}$$

This relative plausibility is better known as the Bayes factor (BF),<sup>22,23</sup> which quantifies the evidence that the data provide for  $M1$  versus  $M2$ . If the two models are believed to be equally probable before observation of the data (i.e., prior odds ratio equals 1), then the interpretation of the BF is simple: it indicates by how many times model  $M1$  is more or less probable than model  $M2$  after observation of the data. Thus, if  $BF < 1$ , one should consider  $M1$  as less probable

<sup>b</sup>These were as follows: the model that includes the CL factor ( $M_{CL}$ ), the model that includes the distractor factor ( $M_D$ ), the model that includes both factors without the interaction ( $M_{CL+D}$ ), and the full model that includes the two factors and the interaction ( $M_{Full}$ ).

**Table 1.** Bayes factors (BF) for the two-way repeated-measures BANOVA for the immediate recall data set and for the delayed ordered recall data set, both plotted in Figure 1

Recall performance	Model comparison	BF <sub>10</sub>
<i>Immediate recall</i>		
Raw scores	$M_{CL}$ vs. $M_{Null}$	7324 e+4
	$M_D$ vs. $M_{Null}$	1221 e+3
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{Null}$	1678.9 e+14
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{CL}$	2292.3 e+6
	$M_{CL+D}$ vs. $M_D$	1375.79 e+8
	$M_{Full}$ vs. $M_{Null}$	1347.7 e+16
	$M_{Full}$ vs. $M_{CL+D}$	80.27
Conditional scores	$M_{CL}$ vs. $M_{Null}$	2.59
	$M_D$ vs. $M_{Null}$	0.16
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{Null}$	0.44
	$M_{Full}$ vs. $M_{Null}$	0.09
<i>Delayed recall</i>		
Raw scores	$M_{CL}$ vs. $M_{Null}$	20.59
	$M_D$ vs. $M_{Null}$	163.25
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{Null}$	6169.36
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{CL}$	299.63
	$M_{CL+D}$ vs. $M_D$	37.79
	$M_{Full}$ vs. $M_{Null}$	2564.95
	$M_{Full}$ vs. $M_{CL+D}$	0.42
Conditional scores	$M_{CL}$ vs. $M_{Null}$	29.42
	$M_D$ vs. $M_{Null}$	434.161
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{Null}$	21988.68
	$M_{CL+D}$ vs. $M_{CL}$	747.53
	$M_{CL+D}$ vs. $M_D$	50.65
	$M_{Full}$ vs. $M_{Null}$	14862.39
	$M_{Full}$ vs. $M_{CL+D}$	0.68

NOTE: Each of the models included the random effect *subject*.  $M_{CL}$ , model with the CL effect;  $M_D$ , model with the distractor effect;  $M_{CL+D}$ , model with both the CL and the distractor effects;  $M_{Full}$ , model with the CL, distractor effects, and their interaction;  $M_{Null}$ , model with the random effect only.

than  $M_2$  after observing the data, or more probable if  $BF > 1$ .

As suggested by Wetzels *et al.*,<sup>19</sup> to test for a main effect of CL, we used the ratio of BFs between the model that includes both factors without interaction against the null model ( $M_{CL+D}/M_{Null}$ ) and the model that includes only the distractors factor against the null model ( $M_D/M_{Null}$ ); that is,  $BF((M_{CL+D}/M_{Null})/(M_D/M_{Null}))$ . We followed the same logic to test for a main effect of distractors (i.e.,  $BF((M_{CL+D}/M_{Null})/(M_{CL}/M_{Null}))$ ) and to test for an interaction effect (i.e.,  $BF((M_{Full}/M_{Null})/(M_{CL+D}/M_{Null}))$ ). BFs can be

interpreted qualitatively as strong or weak support for a model, depending on how far away from 1 they are. Following the common classification,<sup>22</sup> BFs between 0.33 and 1 or between 1 and 3 are considered “anecdotal evidence,” BFs between 0.1 and 0.33 or between 3 and 10 are considered “moderate evidence,” and BFs < 0.1 or BFs > 10 are considered “strong evidence” for  $M_2$  or  $M_1$ , respectively.

## Results

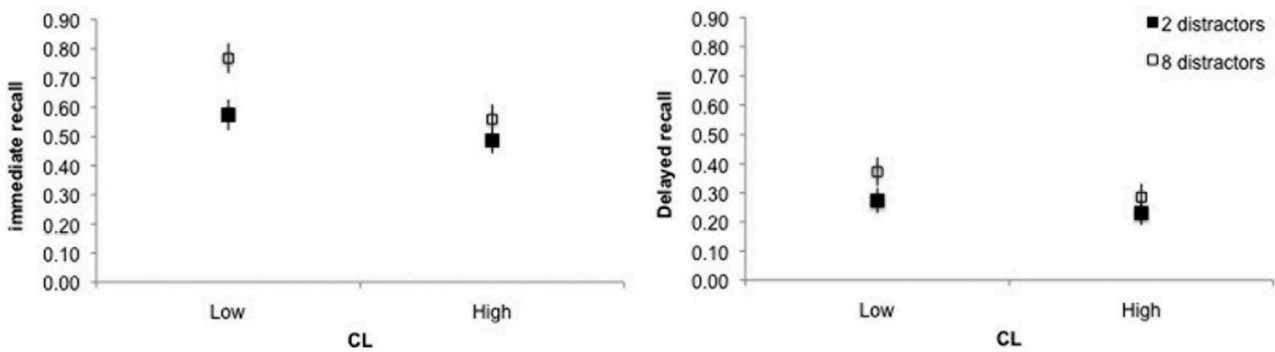
In the following sections, immediate recall performance is first analyzed as a function of CL and number of distractors. A further analysis concerns conditional immediate recall performance that corresponds to the items recalled at the immediate but not at the delayed test. The results concerning delayed recall performance are presented as a function of CL and number of distractors, and as a function of accumulated free time.

### Immediate recall performance

The mean proportion of ordered correct recall measured in the immediate memory test is shown in the left panel of Figure 1 as a function of the experimental conditions. The pattern of recall performance showed the classic CL effect with poorer recall at high versus low CL (52% versus 67% of words correctly recalled, respectively;  $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_D) = 1375.79 e+8$ ). More surprisingly, the number of distractors had a beneficial effect on immediate recall performance, with 66% of words correctly recalled in the eight-distractor condition and 53% of words correctly recalled in the two-distractor condition ( $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_{CL}) = 2292.3 e+6$ ). There was also evidence in favor of an interaction between those two factors ( $BF(M_{Full}$  versus  $M_{CL+D}) = 80.27$ ).

Because the positive effect of the number of distractors was not predicted at immediate recall, we separated two types of recalled items that may have depended on two types of maintenance. According to McCabe<sup>5</sup> and following Cowan’s model,<sup>12,13</sup> up to four items in a simple span task can be maintained in the focus of attention. Thus, if more than four items have to be maintained or if concurrent distractors have to be processed as in a CST, then retrieval from episodic memory is needed.<sup>24</sup> Yet in our experiment, because six words were studied in a CST, at least some of the items recalled during the immediate tests were sustained by the influence of episodic memory and not WM only. Hence, to specifically





**Figure 1.** Mean proportion of words recalled in the immediate memory test (left panel) and in the delayed memory test (right panel) for each experimental condition. Error bars show 95% within-subject confidence intervals.

evaluate the factors influencing WM maintenance, we separated the items having benefited from stabilization in episodic memory (items recalled both at immediate and delayed recall (i.e., conditional delayed scores, reported later)) from those that did not survive after immediate recall (items recalled at immediate but not at delayed test (i.e., conditional immediate scores)), as shown in Figure 2. We thus conducted a BANOVA on the conditional immediate scores with the number of distractors (two versus eight) and the CL of the distracting task (high versus low) as within-subject factors. As can be seen in Table 1, the best model to account for the data is the one including only the CL factor ( $BF = 2.59$ ), and there was evidence against the effect of distractors ( $BF = 0.16$ ). Although the evidence against an effect of the number of distractors was only moderate, analyses of the conditional delayed score (see Table 1) revealed strong evidence for an effect of the number of distractors ( $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_{CL}) = 747.4$ ). Hence, as shown in the right panel of Figure 2, the unexpected effect of the number of distractors observed on the raw immediate score was attributable to the items that were recalled at both immediate and delayed tests.

### Delayed recall performance

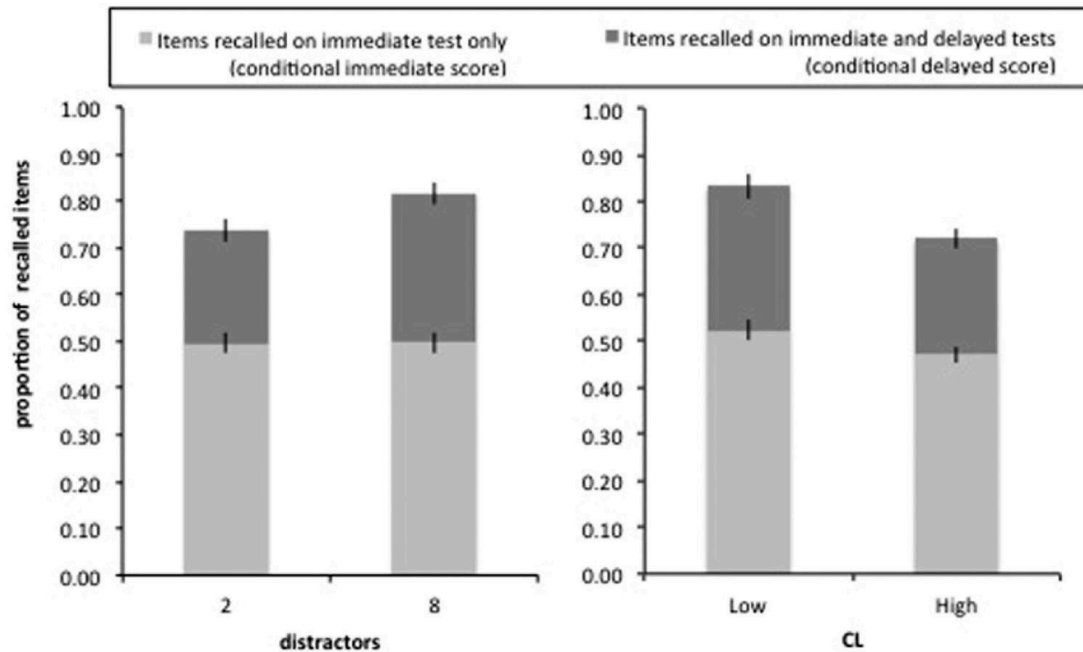
The mean proportion of delayed recall collected in each experimental condition is shown in the right panel of Figure 1. As expected and in accordance with previous results, there was strong evidence in the data for a main effect of the number of distractors on delayed recall performance ( $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_{CL}) = 299.63$ ; see Table 1). The participants recalled 25% ( $SD = 15\%$ ) of the words studied in the condition with two distractors and 33% ( $SD = 16\%$ ) in the condition with eight distractors. Their

delayed recall performance was also enhanced when the CL was reduced, with 32% ( $SD = 17\%$ ) and 26% ( $SD = 15\%$ ) of words recalled at slow versus fast pace, respectively ( $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_D) = 37.79$ ). However, contrary to our prediction, there was no evidence for an interaction between these two factors ( $BF(M_{Full}$  versus  $M_{CL+D}) = 0.42$ ). These results were not expected; however, only weak evidence in favor of the model without the interaction was observed ( $BF(M_{CL+D}$  versus  $M_{Full}) = 1/0.42 = 2.38$ ). The pattern of results was the same with the conditional delayed recall performance as the dependent measure corresponding to the items recalled at both immediate and delayed recall (Table 1).

In addition to the lack of evidence for their interaction, the manipulation of both factors was an indirect way of testing the hypothesis that accumulated free time is the main factor that can account for delayed recall performance. Thus, we performed the following exploratory analysis to investigate the relationship between delayed recall performance and accumulated free time more directly.

### Delayed recall performance as a function of accumulated free time

The mean accumulated free time was computed for each experimental condition by considering the total time that separated the encoding of an item from its immediate recall (this total time depended on pace, number of distractors, and position of the item in the list). This was subtracted from the total processing time (i.e., the mean reaction time  $\times$  the number of distractors separating encoding from recall). The reaction time was estimated at 500 ms on average following a test conducted in our lab that allowed us to record young adults' speech onset time during a similar processing task.<sup>25</sup> The



**Figure 2.** Proportion of items recalled at both immediate and delayed recall among those that were recalled in the immediate but not the delayed test (conditional immediate scores) as a function of the number of distractors (left panel) and CL (right panel).

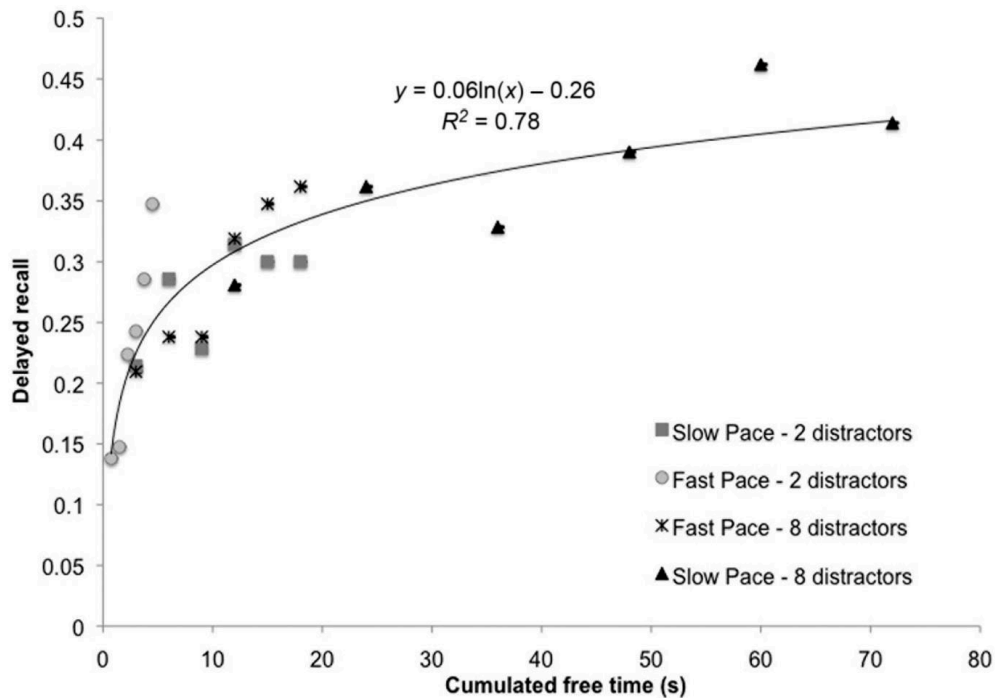
mean accumulated free time corresponding to the respective conditions  $\times$  positions is presented in Table 2. As can be seen in Figure 3, the relationship between the proportion of delayed recall and the accumulated free time did not seem to be linear.

The particular shape of the data seemed more appropriately accounted for by a logarithmic relationship between the two variables. To test the (exploratory) hypothesis that our data were better accounted for by a logarithmic than a linear relationship, we compared a linear regression model to a logarithmic regression model. A BF against the null model was computed for each regression

with the same package as described above. We then computed the ratio of the BF for the log regression ( $BF = 6.54 \times 10^{56}$ ) and the BF for the linear regression ( $BF = 7.52 \times 10^{50}$ ). Results of the comparison showed that the logarithmic regression better accounted for the data ( $BF = 87 \times 10^4$ ). This specific relation suggests that the effect of free time depends on the free time that a WM trace had already received. For instance, benefiting from 2 s of additional free time when little free time was available would elicit a greater beneficial effect on delayed recall than would be the case from the same 2 s when a large amount of free time had already been afforded. Hence, this peculiar relationship could in turn explain why we did not observe an interaction between CL and distractors. Indeed, with a linear relationship, the increase in memory performance should be proportional to the increase in accumulated free time. For example, let us consider a given item studied in the two-distractor condition that benefits from additional free time of 2250 ms in the slow- compared with the fast-pace condition. Consider now an item encoded at the same position in the eight-distractor condition: the benefit in free time is four times greater (9 s) between these conditions. If there were a linear relation between accumulated free time and delayed recall performance, the pace effect on delayed recall scores should have

**Table 2.** Accumulated free times (s) from which each to-be-remembered word could benefit depending on its position in the list and the experimental condition in which it was presented

Word position within the list	Experimental conditions			
	Slow/2	Slow/8	Fast/2	Fast/8
1	18	72	4.5	18
2	15	60	3.75	15
3	12	48	3	12
4	9	36	2.25	9
5	6	24	1.5	6
6	3	12	0.75	3



**Figure 3.** Proportion of words recalled during the delayed memory test as a function of accumulated free time (in seconds), depending on the experimental condition and the serial position during encoding (for each experimental condition, from left to right the data points correspond to the serial position 6 to 1).

been four times greater with eight compared with two distractors, and hence, we should have observed an interaction. Taken together, our findings invalidate the linearity hypothesis between delayed recall performance and accumulated free time.

**Discussion**

In this study, we investigated the influence of WM maintenance conditions on long-term retention. More specifically, we addressed the question of whether the persistence of information over time in episodic memory can be mediated by the time during which this information is attended to or refreshed in WM. To do so, we relied on preceding studies suggesting that two factors influence the delayed recall of information encoded within a CST: the number of distractors and the CL of the processing task. Whereas the first factor is supposed to force the creation of temporal-contextual cues<sup>5-7</sup> that are crucial for recalling information from episodic memory,<sup>26</sup> the second factor is proposed to stabilize WM information over the long term by favoring episodic memory instantiations.<sup>4,10</sup> We propose that these different views of how refreshing operates on memory traces converge on a twofold attentional mechanism according

to which varying the opportunities for refreshing the to-be-maintained information influences its long-term retention. The present paper promotes this parsimonious hypothesis by showing that long-term retention is underpinned by a simple and single temporal factor: the total amount of time available to refresh the items in WM.

*Time is crucial for long-term retention*

Saying that time is crucial for long-term retention is not a completely new proposal. Indeed, within the TBRS model, refreshing is supposed to occur in the free time during which attention is not diverted to the distracting processing task.<sup>10</sup> However, the available evidence within this framework suggested that the decisive factor is CL rather than the accumulated free time.<sup>4</sup> For these reasons, the present study goes further than previous ones. Moreover, our proposal is more parsimonious because it involves only one factor (accumulated free time), while the CL account involves both processing time and free time. The present findings provide evidence in favor of this parsimonious proposal by showing that delayed recall performance and the free time accumulated to attend to the to-be-maintained information in WM are related by a nonlinear function. These results

go one step further than previous studies in which long-term maintenance and “covert retrieval opportunities” were proposed to be related by a linear function.<sup>5,6</sup> In these studies, processing of distractors was not only assumed to prevent any attentional maintenance of information in WM, but it was also supposed to displace the to-be-maintained items from the focus of attention.<sup>10,13,27</sup> Hence, distractor processing was supposed to sustain the creation of retrieval cues by forcing subjects, who are pursuing the goal of remembering words, to covertly retrieve this information from episodic memory to maintain its accessibility. According to McCabe and Loaiza,<sup>5–7</sup> retrieval from episodic memory favors the creation of temporal-contextual cues that are crucial for recalling information from episodic memory. They suggested that attending to the memory items during WM tasks promotes the binding of item-specific information (i.e., the to-be-remembered item) to a source context (e.g., its position in the list). Although this mechanism was initially thought to take several forms,<sup>5</sup> authors later proposed that this binding is achieved by refreshing.<sup>6,7</sup> The items that benefit from more refreshing opportunities are more often retrieved from episodic memory and hence more likely to be bound with their original temporal context and more likely to be recalled after a delay. In addition to this view, we propose that, although interspersed distractors between memoranda still prevent active WM maintenance during their processing, when CL is kept constant, they also increase the amount of time during which words can be actively maintained when distractor processing has ended. Our results showed that an upward curve with a decreasing slope that was approximated by a logarithmic function related accumulated free time to long-term retention. This suggested that the benefit of free time is large initially and becomes weaker as free time passes. This is not surprising, since many cognitive functions expressing proficiency as a function of time, such as encoding or learning, follow such a nonlinear relationship.<sup>28c</sup> Devoting time

to actively maintaining WM traces would result in better encoding into episodic memory because it strengthens memory trace activation, as we discuss below.<sup>d</sup>

As mentioned in the “Introduction” section, our findings converge with conclusions proposed in a recent paper.<sup>29</sup> Indeed, in testing the McCabe effect (i.e., better delayed recall for words studied in complex compared with a simple span task), the authors created a *slow-span condition* in which an unfilled interval was inserted between the presentation of successive to-be-maintained words. They observed that this slow-span condition elicited better delayed recall than a classic simple span condition and, most important, that this slow-span benefit was about two times larger than the long-term benefit associated with processing distractors (the McCabe effect). These findings, together with the present results, question the role of distractors in producing the episodic memory benefit observed in CST. Souza and Oberauer showed that having distractors to process does not elicit better recall than having more free time to attend to information in WM.<sup>29</sup> This finding moderates the thus-far exclusive role of covert retrieval in long-term retention. Similarly, while our results show that having more distractors to process elicits better delayed recall than does having fewer distractors, this effect cannot be specifically attributed to distractors themselves, but rather to the accumulation of free time that they afford. Taken together, the results of both studies suggest that the free time during which information can be attended to in WM is crucial for long-term retention. However, we believe that the present study provides further insight into the mechanism at the heart of this episodic effect of WM free time.

#### *WM attentional refreshing favors long-term retention*

Several WM maintenance mechanisms are proposed to occur when attention is available in a CST.

<sup>c</sup>It is worth noting that this nonlinear relationship between accumulated free time and long-term retention could underpin the absence of the expected interaction effect between the number of distractors and the cognitive load on delayed recall performance (cf. explanation in the “Results” section).

<sup>d</sup>As an anonymous reviewer pointed out, it is worth noting that the maximum averaged delayed recall scores were only around 40%, indicating that the majority of items were not recalled after a delay. Consequently, although the time devoted to the maintenance of WM traces is an important factor for retention, there is an obvious forgetting of WM traces at long term, which warrants further studies.

Before going on to the discussion of these attentional mechanisms, it is worth beginning by ruling out the implication of a well-known WM maintenance mechanism, namely articulatory rehearsal. Indeed, one could argue that increasing accumulated free time in our experiment allows for increased rehearsal opportunities. However, rehearsal cannot be considered a potential mechanism underlying the effect of accumulated free time on delayed recall for two reasons. First, this mechanism emphasizes superficial aspects of information (e.g., phonological features) that are known to be ephemeral,<sup>30</sup> and, second, it has been shown that articulatory suppression affects immediate recall but not delayed recall.<sup>4,7</sup>

Among the attentional WM maintenance mechanisms, refreshing and consolidation appear to be good candidates to account for the episodic memory effect of longer free time in WM. First, refreshing has been shown to improve episodic memory.<sup>4,31–34</sup> For example, in one study, participants were presented with single words that they had to read silently. Some of the words were followed by the same word (repeat condition) and others by a dot, which indicated participants that they had to think of the previous word (refresh condition). The results consistently showed an episodic memory benefit from refreshing information in contrast to repeated information.<sup>34</sup> However, it is worth noting that, in Johnson's studies, the refresh conditions were close to what could be considered a consolidation condition. Indeed, although the precise definitions of consolidation and refreshing still need to be strictly delineated, they have been shown to be separate mechanisms.<sup>35</sup> Consolidation is assumed to prolong the activation of items that have just been encoded or even to transform ephemeral sensory traces into more stable short-term memory traces, whereas refreshing is considered a restoration mechanism that occurs after the degradation of memory traces.<sup>35–37</sup> Hence, thinking of a word that has just been read seems to be akin to what is called consolidation. It could be that consolidation, not refreshing, is the key mechanism in favoring long-term retention. This is what was proposed by Souza and Oberauer<sup>29</sup> in consideration that consolidation could explain why the slow-span condition elicited better episodic memory than did the complex span condition: the time after each word can be used to consolidate the last encoded item into WM.

However, it is also possible that the time that directly follows a given item could be used to refresh the other items that have already been encoded and consolidated. In fact, it was not possible to disentangle these two possibilities in the previous study.<sup>29</sup> In contrast, our study suggested that a refreshing account is more plausible. Indeed, the current conception of consolidation as occurring exclusively during a critical period immediately following an item's presentation suggests that the free time that occurs after the processing of a distractor could not be used for consolidation.<sup>37</sup> Given that refreshing is thought to counteract forgetting through the recirculation of the previously encoded items into the focus of attention after distracting periods,<sup>10,13,38,39</sup> and because the accumulated free time never immediately followed the encoding of memoranda in our study, refreshing rather than consolidation likely occurs during accumulated free time. This account is consistent with the CL effect that was observed on delayed recall in the present study and in a previous one.<sup>4</sup> Varying the pace of a processing task or its nature in a CST had an impact on delayed recall performance that could be specifically attributed to refreshing and not to consolidation because the manipulation concerned the time following—not preceding—the distractors.<sup>4</sup> Although the observed episodic effect of WM free time favors a refreshing account, it is also possible that it is attributable, at least in part, to another WM maintenance mechanism, namely, elaboration. Indeed, as we discuss below, long-term memory knowledge influences WM functioning.

#### *Long-term memory influences WM measures*

With the aim of studying the WM factors that favor the persistence of memorized information over time, we measured and studied two kinds of memory outputs. It seems obvious that the items that were recalled during the delayed memory test benefited from the support of episodic memory, whereas the items that were recalled only during the immediate memory test were sustained mainly by WM. However, although long-term memory and working memory obviously interplay as subsystems of human memory, studies using CSTs rarely include a delayed memory test. The consequence is that WM measurements, as well as conclusions about the specific WM mechanisms, are likely to be distorted.

Studies concerning the influence of distractors on WM contributed to the debate between time-based decay and interference-based explanations.<sup>10,40</sup> As noted earlier, most of the existing WM studies have shown either no or detrimental effects of distractors on WM.<sup>14–16</sup> In our results, the unexpected beneficial effect of the number of distractors on the immediate raw scores put into perspective the influence of episodic memory on WM measures. Indeed, when considering only the information that did not survive long enough to be recalled during the delayed memory test (conditional immediate scores), the effect of distractors no longer exists. This result is consistent with previous findings showing that the long-term benefit observed following a complex versus a simple span task occurs only for words belonging to long-term memory knowledge, not for nonwords.<sup>6,41</sup> Thus, in the present study, when a beneficial effect of distractors was observed in immediate recall, it should be attributed only to the information that benefited from the support of episodic memory. Hence, adding free time by adding distractors seems to benefit episodic memory but not WM traces, a result in line with the hypothesis that covert retrieval contributes to episodic memory. In the same way, our conditionalized analysis revealed a rather weak CL effect when considering only the recalled information that did not survive over the long term. This suggested that the classical CL effect could be underpinned, at least in part, by mechanisms acting from outside the central component of WM. Given that the CL effect is thought to moderate refreshing opportunities,<sup>10</sup> and refreshing is thought to bring WM information into the focus of attention,<sup>6</sup> thereby making it more stable over time,<sup>13</sup> there is no reason to think that the CL effect is specific to WM items. Hence, determining the locus of the CL effect needs further studies to characterize the contribution of episodic memory.

Moreover, it has been shown that the nature of the to-be-maintained information influenced the effect of the number of distractors in a CST.<sup>42</sup> Whereas a positive effect of the number of distractors has been observed in the immediate recall of words, a negative effect was shown for nonwords or spatial information. Hence, the nature of the to-be-remembered information that relies more or less on long-term semantic memory has an impact on the observed effects in CSTs. Notably, our paradigm also favored reliance on long-term memory. Exceeding

four items per list or introducing a distracting task forces reliance on long-term episodic and semantic memory.<sup>5,13,43</sup> Increasing the initial time during which a given item can be encoded and consolidated or allowing deeper processing at encoding favors elaboration and reliance on long-term memory knowledge.<sup>30,37,38,44</sup>

Even if our study suggested that the time devoted to refreshing is crucial for long-term retention, the complexity of the bidirectional relationship between WM and long-term memory<sup>40</sup> requires further studies. While awaiting such advances, when as researchers we aim to test WM only, we need to be careful about the method used.

### Acknowledgments

The research reported in this article was supported by a grant from the Pôle Grenoble Cognition to S.P. & B.L. Moreover, G.J. and V.H. were funded by grants from Université Savoie Mont Blanc and Région Rhône Alpes, respectively. Each author participated in drafting the manuscript and revising its intellectual content. Conception and design were managed by G.J., V.H., S.P., and B.L. Data were acquired by G.J. and V.H., and G.J., V.H., and S.P. accept responsibility for the integrity of the data analyzed. We thank Marie Odet and Abigail Levet for assistance. We also thank Vanessa Loaiza for her help on a previous version of the manuscript.

### Competing interests

The authors declare no competing interests.

### References

1. Conway, A.R.A., C. Jarrold, M. Kane, *et al.* 2007. *Variation in Working Memory*. Oxford University Press.
2. Barrouillet, P., R. Lépine & V. Camos. 2008. Is the influence of working memory capacity on high level cognition mediated by complexity or resource-dependent elementary processes? *Psychon. B. Rev.* **15**: 528–534.
3. Barrouillet, P., S. Portrat & V. Camos. 2011. On the law relating processing to storage in working memory. *Psychol. Rev.* **118**: 175–192.
4. Camos, V. & S. Portrat. 2015. The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychon. B. Rev.* **22**: 1029–1034.
5. McCabe, D.P. 2008. The role of covert retrieval in working memory span tasks: evidence from delayed recall tests. *J. Mem. Lang.* **58**: 480–494.
6. Loaiza, V.M. & D.P. McCabe. 2012. Temporal-contextual processing in working memory: evidence from delayed cued recall and delayed free recall tests. *Mem. Cogn.* **40**: 191–203.

7. Loaiza, V.M. & D.P. McCabe. 2013. The influence of aging on attentional refreshing and articulatory rehearsal during working memory on later episodic memory performance. *Neuropsychol. Dev. Cogn. B Aging Neuropsychol. Cogn.* **20**: 471–493.
8. Camos, V. 2015. Storing verbal information in working memory. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* **24**: 440–445.
9. Barrouillet, P., S. Bernardin & V. Camos. 2004. Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *J. Exp. Psychol.* **133**: 83–100.
10. Barrouillet, P. & V. Camos. 2015. *Working Memory: Loss and Reconstruction*. Hove: Psychology Press.
11. Barrouillet, P., S. Bernardin, S. Portrat, *et al.* 2007. Time and cognitive load in working memory. *J. Exp. Psychol. Learn.* **33**: 570–585.
12. Cowan, N. 1999. An embedded-process model of working memory. In *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. A. Miyake & P. Shah, Eds.: 62–101. Cambridge: Cambridge University Press.
13. Cowan, N. 2005. *Working Memory Capacity*. Hove: Psychology Press.
14. Barrouillet, P., S. Portrat, E. Vergauwe, *et al.* 2011. Further evidence for temporal decay in working memory: reply to Lewandowsky and Oberauer 2009. *J. Exp. Psychol. Learn.* **37**: 1302–1317.
15. Oberauer, K. & S. Lewandowsky. 2014. Further evidence against decay in working memory. *J. Mem. Lang.* **73**: 15–30.
16. Plancher, G. & P. Barrouillet. 2013. Forgetting from working memory: does novelty encoding matter? *J. Exp. Psychol. Learn.* **39**: 110–125.
17. Schneider, W., A. Eschman & A. Zuccolotto. 2012. *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools, Inc.
18. Rouder, J.N., R.D. Morey, P.L. Speckman & J.M. Province. 2012. Default Bayes factors for ANOVA designs. *J. Math. Psychol.* **56**: 356–374.
19. Wetzels, R., R.P.P. Grasman & E.J. Wagenmakers. 2012. A default Bayesian hypothesis test for ANOVA designs. *Am. Stat.* **66**: 104–111.
20. Morey, R.D. & J.N. Rouder. 2015. BayesFactor: computation of Bayes factors for common designs. *R package version 0.9.12–2*.
21. R core team. 2017. R: a language and environment for statistical computing. R foundation of Statistical Computing, Vienna, Austria. Accessed March 18, 2018. <https://www.R-project.org>.
22. Jeffreys, H. 1961. *Theory of Probability*. 3rd ed. Oxford Classic Texts in the Physical Sciences. Oxford: Oxford Univ. Press.
23. Kass, R.E. & A.E. Raftery. 1995. Bayes factors. *J. Am. Stat. Assoc.* **90**: 773–795.
24. Unsworth, N. & R.W. Engle. 2007. The nature of individual differences in working memory capacity: active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychol. Rev.* **114**: 104.
25. Plancher, G., H. Boyer, B. Lemaire & S. Portrat. 2017. Under which conditions can older participants maintain information in working memory? *Exp. Aging Res.* **43**: 409–429.
26. Craik, F.I.M. & E. Tulving. 1975. Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *J. Exp. Psychol. Gen.* **104**: 268–294.
27. Oberauer, K. 2002. Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *J. Exp. Psychol. Learn.* **28**: 411–421.
28. Cepeda, N.J., E. Vul, D. Rohrer, *et al.* 2008. Spacing effects in learning: a temporal ridgeline of optimal retention: research article. *Psychol. Sci.* **19**: 1095–1102.
29. Souza, A.S. & K. Oberauer. 2017. Time to process information in working memory improves episodic memory. *J. Mem. Lang.* **96**: 155–167.
30. Craik, F.I.M. & R.S. Lockhart. 1972. Levels of processing: a framework for memory research. *J. Verb. Learn. Verb. Behav.* **11**: 671–684.
31. Johnson, M.K. 1992. MEM: mechanisms of recollection. *J. Cogn. Neurosci.* **4**: 268–280.
32. Johnson, M.K., K.J. Mitchell, D.L. Raye & E.J. Greene. 2004. An age-related deficit in prefrontal cortical function associated with refreshing information. *Psychol. Sci.* **15**: 127–132.
33. Johnson, M.K. *et al.* 2005. Using fMRI to investigate a component process of reflection: prefrontal correlates of refreshing a just-activated representation. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* **5**: 339–361.
34. Johnson, M.K., J.A. Reeder, C.L. Raye & K.J. Mitchell. 2002. Second thoughts versus second looks: An age-related deficit in reflectively refreshing just-activated information. *Psychol. Sci.* **13**: 64–67.
35. Bayliss, D.M., J. Bogdanovs & C. Jarrold. 2015. Consolidating working memory: distinguishing the effects of consolidation, rehearsal and attentional refreshing in a working memory span task. *J. Mem. Lang.* **81**: 34–50.
36. De Schrijver, S.D. & P. Barrouillet. 2017. Consolidation and restoration of memory traces in working memory. *Psychon. Bull. Rev.* **24**: 1651–1657.
37. Ricker, T.J. 2015. The role of short-term consolidation in memory persistence. *AIMS Neurosci.* **2**: 259–279.
38. Lemaire, B., A. Pageot, G. Plancher, *et al.* 2017. What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychon. Bull. Rev.* **24**: 1651–1657.
39. Portrat, S. & B. Lemaire. 2014. Is attentional refreshing in working memory sequential? A computational modeling approach. *Cogn. Comput.* **7**: 333–345.
40. Oberauer, K. & S. Lewandowsky. 2013. Evidence against decay in verbal working memory. *J. Exp. Psychol. Gen.* **142**: 380–411.
41. Loaiza, V.M., K.A. Duperreault, M.G. Rhodes & D.P. McCabe. 2014. Long-term semantic representations moderate the effect of attentional refreshing on episodic memory. *Psychon. B. Rev.* **22**: 274–280.
42. Uittenhove, K. & P. Barrouillet. 2016. Reconstruction in working memory [communication]. In *European Working Memory Symposium*, Liège, Belgium.
43. Rose, N.S., J. Myerson, *et al.* 2010. Similarities and differences between working memory and long-term memory: evidence from the levels-of-processing span task. *J. Exp. Psychol. Learn.* **36**: 471–483.
44. Rose, N.S., B.R. Buchsbaum & F.I.M. Craik. 2014. Short-term retention of a single word relies on retrieval from long-term memory when both rehearsal and refreshing are disrupted. *Mem. Cogn.* **42**: 689–700.

### 2.1.2. Synthèse des résultats

Conformément à la littérature et à nos hypothèses, nous avons observé un effet du CC de la tâche sur les performances de rappel immédiat. Spécifiquement, les participants ont rappelé en moyenne plus d'items à vitesse lente qu'à vitesse rapide. Cependant, contrairement à nos hypothèses, nous avons également observé un effet du nombre de traitements ainsi qu'une interaction entre le nombre de traitements et le CC sur les performances de rappel immédiat. Nous avons étudié plus précisément cet effet inattendu du nombre de traitements au regard de notre procédure incluant un rappel différé des informations. Plus spécifiquement, nous avons tiré profit de ce deuxième rappel pour estimer l'influence de la MLT sur les performances à court terme. Pour cela, nous avons séparé les items rappelés à court terme en deux catégories. La première catégorie incluait les informations rappelées uniquement à court terme (i.e., performances de *rappel immédiat conditionnel*), tandis que la seconde incluait les informations rappelées à court et à long terme (i.e., performances de *rappel différé conditionnel*). Nous avons ensuite testé l'influence du CC et du nombre de traitements sur les performances de rappel immédiat conditionnel ainsi que sur les performances de rappel différé conditionnel. Les résultats de ces nouvelles analyses ont montré que les performances de rappel immédiat conditionnel des participants étaient influencées par le CC mais pas par le nombre de traitements. En revanche, nous avons observé un effet du nombre de traitements sur les performances de rappel différé conditionnel. Ainsi, l'effet du nombre de traitements observé initialement sur les performances de rappel immédiat est attribuable à l'influence exclusive de ce facteur sur des items stabilisés sur le long terme (i.e., les items rappelés aux tests immédiats et différé).

Concernant les performances de rappel différé, en accord avec la littérature et nos hypothèses, nous avons observé un effet du CC ainsi que du nombre de traitements. Spécifiquement, les participants ont rappelé en moyenne plus d'items à vitesse lente qu'à vitesse rapide et plus d'items dans la condition 8 distracteurs que 2. Cependant, contrairement



à nos hypothèses, nous n'avons pas observé d'interaction entre ces deux facteurs. Nous avons néanmoins exploré le lien entre temps libre cumulé et performances de rappel différé plus directement par une analyse conduite *a posteriori*. Pour cela, nous avons calculé le temps total séparant l'encodage et le rappel immédiat des items. Ce temps total dépendait de la position des items dans la liste et des conditions expérimentales. A ce temps total, nous avons soustrait le temps moyen nécessaire pour lire les consonnes. Pour cela, nous avons utilisé le temps moyen enregistré dans une étude utilisant la même tâche de distraction, à savoir 500 ms (Plancher et al., 2017). Ainsi, pour les premiers items des listes dans la condition "2 distracteurs à vitesse lente", le temps total séparant l'encodage du rappel était de  $2$  (nombre de distracteurs après chaque item)  $\times$   $6$  (nombre de fois où des distracteurs apparaissaient après l'item)  $\times$   $2\ 000$  (temps de présentation des distracteurs et délai) =  $24\ 000$  ms, et le temps libre cumulé de  $24\ 000 - (2 \times 6 \times 500) = 18\ 000$  ms. Pour les deuxièmes items des listes dans la condition "8 distracteurs à vitesse rapide", le temps total séparant l'encodage du rappel était de  $8$  (nombre de distracteurs après chaque item)  $\times$   $5$  (nombre de fois où des distracteurs apparaissaient après l'item)  $\times$   $875$  (temps de présentation des distracteurs et délai) =  $35\ 000$  ms, et le temps libre cumulé de  $35\ 000 - (8 \times 5 \times 500) = 15\ 000$  ms.

Les résultats obtenus ont montré que le lien entre temps libre cumulé et performance de mémorisation à long terme ne semblait pas linéaire. En effet, nous avons observé qu'un modèle logarithmique rendait mieux compte du lien entre ces deux variables qu'un modèle linéaire. Ainsi, les résultats de ces nouvelles analyses ont montré que les performances de rappel différé étaient liées au temps libre cumulé, mais que cette relation dépendait elle-même du temps libre dont un item a déjà bénéficié. Plus précisément, la nature logarithmique de cette relation suggère qu'ajouter 2 s de temps libre aura un effet bénéfique plus important pour le rappel d'informations ayant bénéficié de 1 s de temps libre auparavant que pour des informations ayant déjà bénéficié de 2 s de temps libre. Ces résultats sont donc conformes à

notre hypothèse selon laquelle les effets de la manipulation du CC et du nombre de traitements sur les performances de mémorisation à long terme (Camos & Portrat, 2015; McCabe, 2008), sont la conséquence de la variation d'un facteur unique sous-jacent: le temps libre cumulé permettant l'utilisation du rafraîchissement attentionnel.

Au regard de ces résultats, l'hypothèse d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement pourrait être testée en investiguant l'effet du temps libre cumulé chez des participants âgés. Comme pour les études précédentes s'étant focalisées sur la modulation de l'effet du CC sur les performances de mémorisation à court terme selon le groupe d'âge, sous l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel chez les personnes, nous devrions observer une modulation de l'effet du temps libre cumulé sur les performances de mémorisation à long terme. Dans l'étude suivante, nous avons par conséquent recruté des participants âgés qui ont réalisé la même expérience. Nous avons ainsi pu contraster les performances des participants jeunes de cette étude avec les performances des participants âgés.

## ***2.2 Étude 6: effets du temps libre cumulé sur la mémorisation à long terme chez des adultes jeunes et âgés.***

Dans cette étude, nous avons recruté un échantillon de participants âgés de plus de 60 ans qui ont réalisé la même expérience que les jeunes adultes de l'Étude 5. Nous avons ainsi pu évaluer l'impact de l'âge des participants sur les différents résultats obtenus précédemment. Concernant les performances de rappel immédiat, en lien avec les résultats obtenus dans l'Étude 3, nous prédisons un effet du CC modulé par l'âge. De plus, comme pour les participants jeunes, le nombre de distracteurs ne devrait pas influencer les performances de rappel immédiat des personnes âgées. Concernant les performances de rappel différé, au regard de l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel lié à l'âge, nous prédisons

une interaction entre le groupe d'âge et (1) le CC de la tâche, (2) le nombre de distracteurs, et (3) le temps libre cumulé.

### 2.2.1. Méthode

En complément de l'échantillon de jeunes adultes préalablement recrutés, un total de trente-neuf personnes de plus de 60 ans a participé volontairement à cette étude, sans contrepartie. Aucune d'entre elles n'avaient participé aux expériences précédentes. Un participant âgé a été exclu de toute analyse du fait d'un non-respect des consignes. L'échantillon final était donc composé de 42 participants jeunes et de 38 participants de plus de 60 ans (voir Tableau 4.6). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée à la normale, et n'ont pas rapporté d'antécédents neurologiques ou psychiatriques. Tous les participants ont signé un formulaire d'information et de consentement avant de participer à l'étude.

**Table 4.6.** Informations sur les participants de l'Étude 6.

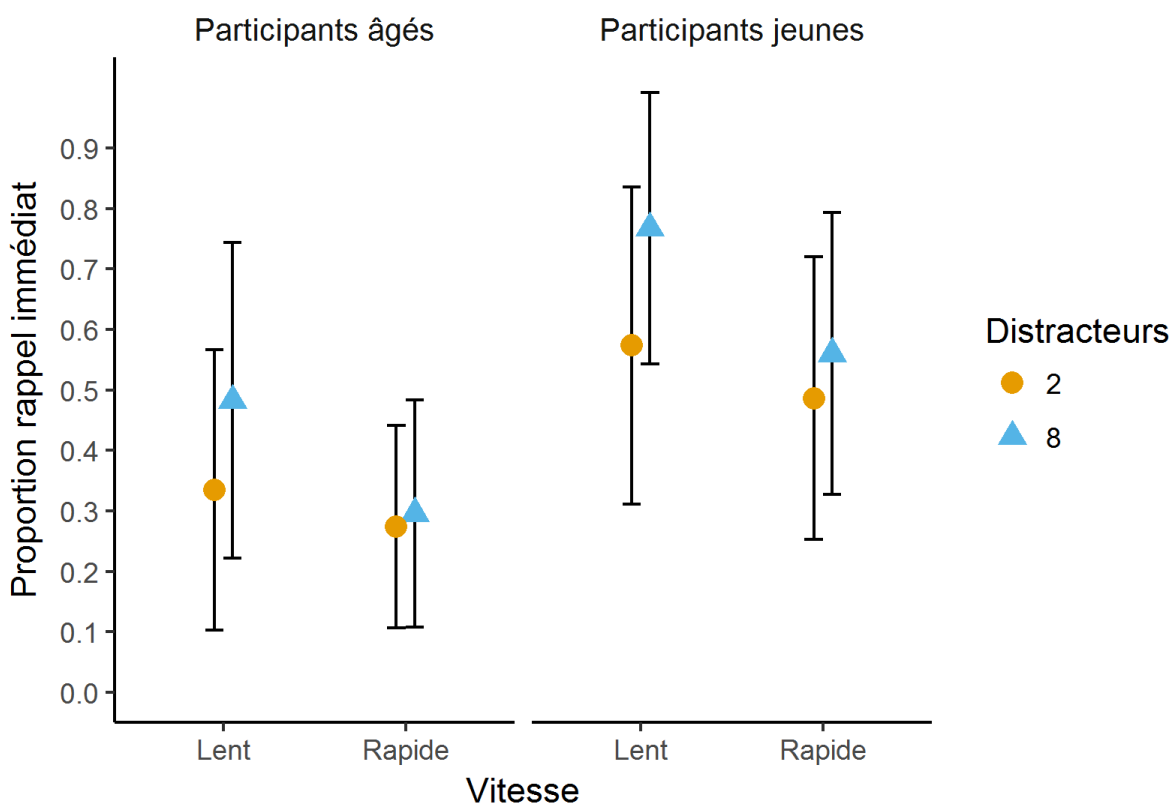
Mesure	Jeunes adultes	Personnes âgées
Echantillon ( <i>n</i> exclusions)	42 (0)	38 (1)
Moyenne d'âge (écart-type)	21.1 (3.4)	70.2 (5.5)
Sexe (H/F)	6/36	16/22
MMSE (écart-type)	-	28.6 (1.3)

*Note.* MMSE = mini mental status examination.

### 2.2.2. Résultats

Nous avons réalisé une ANOVA Bayésienne (BANOVA) sur les performances de rappel immédiat et différé des participants avec les facteurs vitesse (*V* : lent *vs.* rapide), nombre de distracteurs (*D* : 2 *vs.* 8) et âge (*Age* : jeunes *vs.* adultes âgés). Les performances moyennes de rappel immédiat sont illustrées dans la Figure 4.8. Les résultats des analyses (voir Tableau 4.7) ont révélé un effet de l'âge ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{V+D}] = 1.1e+4$ ), de la vitesse

( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+D}] = 8.1e+19$ ), et du nombre de distracteurs ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+V}] = 4.1e+13$ ), avec de moins bonnes performances chez les participants âgés ( $M = .35$ ;  $ET = .23$ ) que chez les participants jeunes ( $M = .60$ ;  $ET = .26$ ), de moins bonnes performances à vitesse rapide ( $M = .41$ ;  $ET = .24$ ) qu'à vitesse lente ( $M = .55$ ;  $ET = .29$ ), et de moins bonnes performances avec 2 distracteurs ( $M = .42$ ;  $ET = .26$ ) que 8 distracteurs ( $M = .53$ ;  $ET = .28$ ). De plus, les résultats ont révélé une interaction entre le nombre de distracteurs et la vitesse ( $BF[M_{Age+V*D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 31.2e+3$ ). Plus précisément, la différence de performance entre les conditions 8 distracteurs et 2 distracteurs est de 0.17 à vitesse lente et de 0.05 à vitesse rapide. Les résultats n'ont en revanche pas révélé d'interaction entre la vitesse et l'âge ( $BF[M_{Age*V+D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.25$ ), le nombre de distracteurs et l'âge ( $BF[M_{Age*D+V} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 1.06$ ), ou de triple interaction entre les trois facteurs ( $BF[M_{Age*V*D} \text{ vs. } M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}] = 0.21$ ).



**Figure 4.8.** Proportions de rappel immédiat moyennes (et écart-types) en fonction du nombre de distracteurs (2 vs. 8) et de la vitesse (lent vs. rapide) chez des personnes âgées (à gauche) et des jeunes adultes (à droite).

Comme dans l'Étude 5, nous nous sommes intéressés à l'effet inattendu du nombre de distracteurs sur les performances à court terme en séparant les items ayant été correctement rappelé à court terme mais pas lors du rappel différé (i.e., *rappel immédiat conditionnel*) des items ayant été stabilisés sur le long terme (i.e., *rappel différé conditionnel*). Concernant les performances de rappel immédiat conditionnel, les résultats de la BANOVA (voir Tableau 4.7) ont révélé un effet de la vitesse ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+D}] = 580$ ) avec de moins bonnes performances à vitesse rapide ( $M = .49$ ;  $ET = .12$ ) qu'à vitesse lente ( $M = .54$ ;  $ET = .14$ ). Les analyses n'ont en revanche pas révélé d'effet de l'âge ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{V+D}] = 0.22$ ) ou du nombre de distracteurs ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+V}] = 0.14$ ). De plus, les résultats n'ont pas révélé d'interaction entre la vitesse et l'âge ( $BF[M_{Age*V+D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.2$ ), le nombre de distracteurs et l'âge ( $BF[M_{Age*D+V} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.19$ ), le nombre de distracteurs et la vitesse ( $BF[M_{Age+V*D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.61$ ) ou de triple interaction entre les trois facteurs ( $BF[M_{Age*V*D} \text{ vs. } M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}] = 0.46$ ).

**Table 4.7.** Bayes factors (BF) des BANOVAs réalisées sur les performances de rappel immédiat ainsi que sur les performances de rappel immédiat conditionnel.

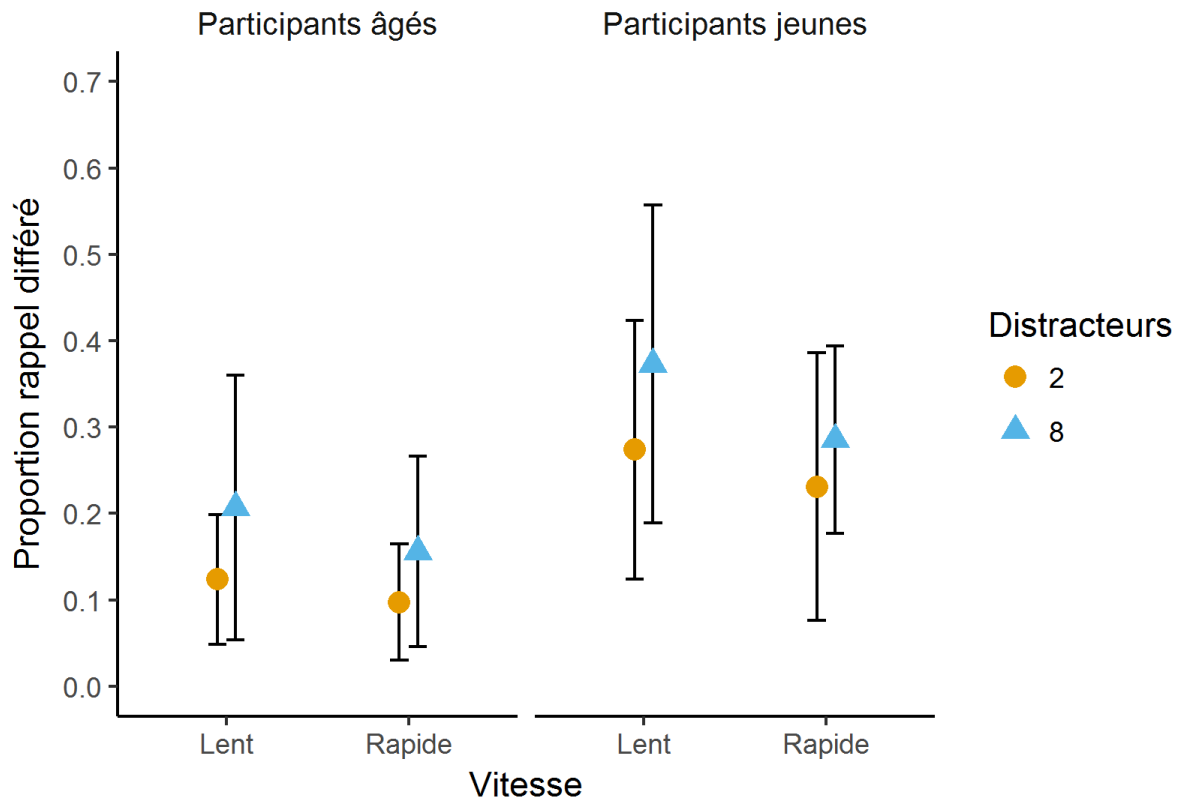
Mesure	Comparaison de modèles	BF <sub>10</sub>
<i>Rappel immédiat</i>	$M_V \text{ vs. } M_0$	$3.8 e+15$
	$M_D \text{ vs. } M_0$	$1.6 e+9$
	$M_{V+D} \text{ vs. } M_0$	$1.5 e+29$
	$M_{V*D} \text{ vs. } M_0$	$4.7 e+33$
	$M_{Age} \text{ vs. } M_0$	$1.4 e+4$
	$M_{Age+V} \text{ vs. } M_0$	$4.1 e+19$
	$M_{Age+D} \text{ vs. } M_0$	$2.1 e+13$
	$M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_0$	$1.7 e+33$
	$M_{Age+V*D} \text{ vs. } M_0$	$5.3 e+37$

	$M_{Age*V}$ vs. $M_0$	9.8 e+18
	$M_{Age*V+D}$ vs. $M_0$	4.2 e+32
	$M_{(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.4 e+37
	$M_{Age*D}$ vs. $M_0$	1.2 e+13
	$M_{Age*D+V}$ vs. $M_0$	1.8 e+33
	$M_{(Age*D)+(D*V)}$ vs. $M_0$	7.5 e+37
	$M_{(Age*D)+(Age*V)}$ vs. $M_0$	5.9 e+32
	$M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.9 e+37
	$M_{Age*D*V}$ vs. $M_0$	4.0 e+36
<i>Rappel immédiat conditionnel</i>	$M_V$ vs. $M_0$	557
	$M_D$ vs. $M_0$	0.14
	$M_{V+D}$ vs. $M_0$	78.9
	$M_{V*D}$ vs. $M_0$	45.1
	$M_{Age}$ vs. $M_0$	0.22
	$M_{Age+V}$ vs. $M_0$	121
	$M_{Age+D}$ vs. $M_0$	0.03
	$M_{Age+V+D}$ vs. $M_0$	17.4
	$M_{Age+V*D}$ vs. $M_0$	10.6
	$M_{Age*V}$ vs. $M_0$	22.4
	$M_{Age*V+D}$ vs. $M_0$	3.48
	$M_{(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	2.54
	$M_{Age*D}$ vs. $M_0$	0.01
	$M_{Age*D+V}$ vs. $M_0$	3.45
	$M_{(Age*D)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.98
	$M_{(Age*D)+(Age*V)}$ vs. $M_0$	0.69
	$M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	0.39
	$M_{Age*D*V}$ vs. $M_0$	0.18

*Note.* Tous les modèles comprennent le facteur participant;  $M_0$  correspond ainsi au modèle incluant seulement le facteur participant. Les modèles  $M_V$ ,  $M_D$  et  $M_{Age}$  comprennent également le facteur vitesse, distracteur et âge, respectivement. Pour les modèles plus complexes, le signe “+” indique une relation additive (i.e., sans interaction) entre les facteurs (e.g.,  $M_{Age+V}$  = effets de l’âge et de la vitesse, sans interaction), tandis que le

signe “\*” indique une relation multiplicative (i.e., avec interaction) entre les facteurs (e.g.,  $M_{Age*V}$  = effets de l’âge, de la vitesse, et leur interaction).

Concernant les performances de rappel différé conditionnel, les résultats de la BANOVA (voir Tableau 4.8) ont révélé un effet de l’âge ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{V+D}] = 32.4 e+5$ ), de la vitesse ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+D}] = 2716$ ), et du nombre de distracteurs ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+V}] = 10.1 e+6$ ). De plus, les résultats n’ont pas révélé d’interaction entre la vitesse et l’âge ( $BF[M_{Age*V+D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.26$ ), le nombre de distracteurs et l’âge ( $BF[M_{Age*D+V} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.21$ ), le nombre de distracteurs et la vitesse ( $BF[M_{Age+V*D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.90$ ) ou de triple interaction entre les trois facteurs ( $BF[M_{Age*V*D} \text{ vs. } M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}] = 0.34$ ). Les analyses sur les performances de rappel différé totales (Figure 4.9) ont révélé le même pattern de résultats (voir Tableau 4.8). Ainsi, les performances étaient influencées par l’âge ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{V+D}] = 50.6 e+5$ ), la vitesse ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+D}] = 1108$ ), et le nombre de distracteurs ( $BF[M_{Age+V+D} \text{ vs. } M_{Age+V}] = 51.3 e+5$ ), avec de moins bonnes performances chez les participants âgés ( $M = .15$ ;  $ET = .11$ ) que chez les participants jeunes ( $M = .29$ ;  $ET = .16$ ), de moins bonnes performances à vitesse rapide ( $M = .20$ ;  $ET = .14$ ) qu’à vitesse lente ( $M = .25$ ;  $ET = .17$ ), et de moins bonnes performances avec 2 distracteurs ( $M = .19$ ;  $ET = .14$ ) que 8 distracteurs ( $M = .26$ ;  $ET = .16$ ). De plus, les résultats n’ont pas révélé d’interaction entre la vitesse et l’âge ( $BF[M_{Age*V+D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.3$ ), le nombre de distracteurs et l’âge ( $BF[M_{Age*D+V} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.18$ ), le nombre de distracteurs et la vitesse ( $BF[M_{Age+V*D} \text{ vs. } M_{Age+V+D}] = 0.52$ ) ou de triple interaction entre les trois facteurs ( $BF[M_{Age*V*D} \text{ vs. } M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}] = 0.25$ ).



**Figure 4.9.** Proportions de rappel différé moyennes (et écart-types) en fonction du nombre de distracteurs (2 vs. 8) et de leur vitesse (lent vs. rapide) chez des personnes âgées (à gauche) et des jeunes adultes (à droite).

**Table 4.8.** Bayes factors (BF) des BANOVAs réalisées sur les performances de rappel différé ainsi que sur les performances de rappel différé conditionnel.

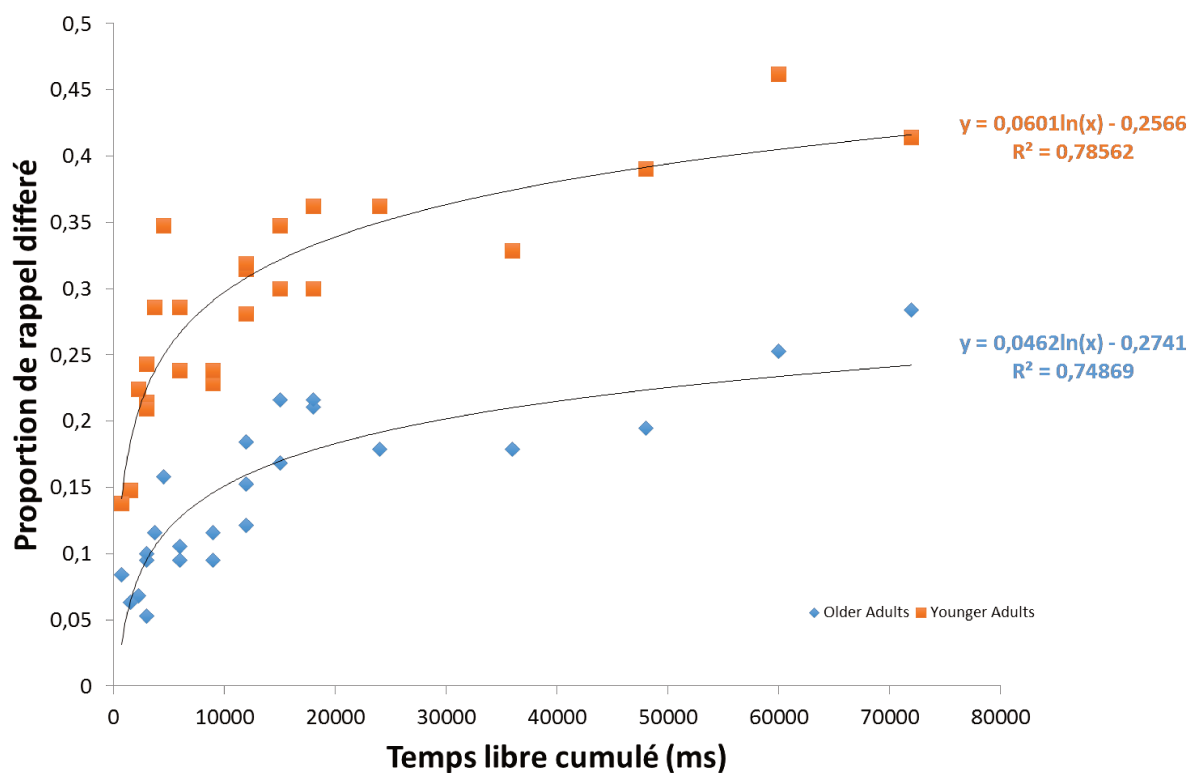
Mesure	Comparaison de modèles	BF <sub>10</sub>
<i>Rappel différé</i>	M <sub>V</sub> vs. M <sub>0</sub>	317
	M <sub>D</sub> vs. M <sub>0</sub>	14.8 e+5
	M <sub>V+D</sub> vs. M <sub>0</sub>	15.6 e+8
	M <sub>V*D</sub> vs. M <sub>0</sub>	83.9 e+7
	M <sub>Age</sub> vs. M <sub>0</sub>	46.8 e+5
	M <sub>Age+V</sub> vs. M <sub>0</sub>	15.4 e+8
	M <sub>Age+D</sub> vs. M <sub>0</sub>	7.13 e+12
	M <sub>Age+V+D</sub> vs. M <sub>0</sub>	7.9 e+15
	M <sub>Age+V*D</sub> vs. M <sub>0</sub>	4.14 e+15
	M <sub>Age*V</sub> vs. M <sub>0</sub>	42.1 e+7



	$M_{Age*V+D}$ vs. $M_0$	2.37 $e+15$
	$M_{(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.17 $e+15$
	$M_{Age*D}$ vs. $M_0$	1.22 $e+12$
	$M_{Age*D+V}$ vs. $M_0$	1.42 $e+15$
	$M_{(Age*D)+(D*V)}$ vs. $M_0$	5.77 $e+14$
	$M_{(Age*D)+(Age*V)}$ vs. $M_0$	4.11 $e+14$
	$M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.83 $e+14$
	$M_{Age*D*V}$ vs. $M_0$	4.51 $e+13$
<i>Rappel différé conditionnel</i>	$M_V$ vs. $M_0$	721
	$M_D$ vs. $M_0$	25.2 $e+5$
	$M_{V+D}$ vs. $M_0$	74.8 $e+8$
	$M_{V*D}$ vs. $M_0$	70.8 $e+8$
	$M_{Age}$ vs. $M_0$	32.3 $e+5$
	$M_{Age+V}$ vs. $M_0$	23.9 $e+8$
	$M_{Age+D}$ vs. $M_0$	8.91 $e+12$
	$M_{Age+V+D}$ vs. $M_0$	2.42 $e+16$
	$M_{Age+V*D}$ vs. $M_0$	2.19 $e+16$
	$M_{Age*V}$ vs. $M_0$	60.8 $e+7$
	$M_{Age*V+D}$ vs. $M_0$	6.32 $e+15$
	$M_{(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	5.74 $e+15$
	$M_{Age*D}$ vs. $M_0$	1.65 $e+12$
	$M_{Age*D+V}$ vs. $M_0$	5.15 $e+15$
	$M_{(Age*D)+(D*V)}$ vs. $M_0$	4.69 $e+15$
	$M_{(Age*D)+(Age*V)}$ vs. $M_0$	1.28 $e+15$
	$M_{(Age*D)+(Age*V)+(D*V)}$ vs. $M_0$	1.42 $e+15$
	$M_{Age*D*V}$ vs. $M_0$	4.88 $e+14$

*Note.* Tous les modèles comprennent le facteur participant;  $M_0$  correspond ainsi au modèle incluant seulement le facteur participant. Les modèles  $M_V$ ,  $M_D$  et  $M_{Age}$  comprennent également le facteur vitesse, distracteur et âge, respectivement. Pour les modèles plus complexes, le signe “+” indique une relation additive (i.e., sans interaction) entre les facteurs (e.g.,  $M_{Age+V}$  = effets de l’âge et de la vitesse, sans interaction), tandis que le signe “\*” indique une relation multiplicative (i.e., avec interaction) entre les facteurs (e.g.,  $M_{Age*V}$  = effets de l’âge, de la vitesse, et leur interaction).

En accord avec les analyses de l'Étude 5, nous avons exploré plus directement le lien entre le temps libre cumulé et les performances de mémorisation à long terme (voir Figure 4.11). Pour estimer le temps de lecture des participants âgés et calculer le temps libre cumulé, comme dans l'Étude 5, nous nous sommes basés sur les données de Plancher et collègues (2017). Dans leur étude, les auteurs ont observé que le temps de lecture des participants jeunes et âgés n'était pas significativement différent. Par conséquent, nous avons utilisé les mêmes estimations du temps libre cumulé selon les conditions expérimentales et les positions des items que dans la publication ci-dessus (Jarjat, Hoareau et al., 2018, Tableau 2). Dans un premier temps, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle chez les personnes âgées, comme chez les jeunes adultes, la relation entre le temps libre cumulé et les performances de mémorisation à long terme était de nature logarithmique. Pour cela, comme dans l'Étude 5, nous avons comparé un modèle de régression linéaire à un modèle de régression logarithmique. Les résultats de l'analyse ont montré que comme pour les jeunes adultes, le modèle logarithmique était meilleur que le modèle linéaire chez les personnes âgées ( $BF[M_{\log} \text{ vs. } M_{\text{lin}}] = 354$ ). Dans un second temps, nous avons comparé les performances des deux groupes d'âge. Les résultats des analyses ont révélé un effet du temps libre cumulé ( $BF[M_{A+\log FT} \text{ vs. } M_A] = 2.07 \times 10^{48}$ ), de l'âge ( $BF[M_{A+\log FT} \text{ vs. } M_{\log FT}] = 37.5 \times 10^5$ ), mais pas d'interaction entre les deux facteurs ( $BF[M_{A*\log FT} \text{ vs. } M_{A+\log FT}] = 0.48$ ).



**Figure 4.10.** Proportions de rappel différé moyennes en fonction du temps libre chez des personnes âgées et des jeunes adultes.

### 2.2.3. Discussion intermédiaire

Dans cette étude, nous avons comparé les performances d'adultes âgés à celles de jeunes adultes dans une tâche d'empan complexe incluant une procédure de rappel différé des informations. Les participants devaient mémoriser des listes de mots tout en lisant à haute voix des lettres apparaissant à l'écran. La tâche incluait un rappel immédiat des informations, à la fin de chaque essai, ainsi qu'un rappel différé global, après la présentation de tous les essais expérimentaux. En lien avec la littérature, nous avons fait varier l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel pendant les essais expérimentaux en manipulant la vitesse d'apparition et le nombre de lettres à lire à haute voix. Concernant le rappel immédiat, en lien avec la littérature, nous nous attendions, à ce que, (1) les performances des

participants jeunes soient meilleures que celles des participants âgés, (2) les performances des deux groupes d'âge ne soient pas influencées par le nombre de traitements, (3) les performances des deux groupes d'âge soient meilleures à vitesse lente que rapide et (4) que la différence de performance entre la vitesse lente et rapide soit plus importante chez les jeunes adultes que chez les adultes âgés.

Conformément à nos hypothèses et à la littérature, nous avons observé que les performances de rappel immédiat dans une tâche d'empan complexe de jeunes adultes étaient supérieures à celles d'adultes âgés. Nous avons également observé un effet du CC de la tâche, avec de meilleures performances à faible qu'à fort CC. Contrairement à nos hypothèses, et à la littérature (e.g., Barrouillet, Portrat, Vergauwe, et al., 2011), nous avons également observé un effet du nombre de distracteurs. Pour explorer cet effet inattendu, nous avons tiré profit de notre procédure pour dénouer la part des performances de rappel immédiat correspondante aux informations ayant été stabilisées sur le long terme (les items rappelés à court et à long terme) de la part correspondante aux informations ayant été maintenus à court terme uniquement. Les résultats des analyses effectuées sur ces différentes composantes permettent une interprétation simple des effets observés sur les performances de rappel immédiat des participants. D'une part, l'effet du CC sur les performances de rappel immédiat est attribuable à son influence sur le maintien d'informations à court terme (i.e., effet du CC sur le rappel immédiat conditionnel) et sur la stabilisation des informations sur le long terme (i.e., effet du CC sur le rappel différé conditionnel). Notons que ces résultats sont en accords avec les nombreuses études ayant permis d'observer la relation entre CC et performances de mémorisation à court terme (e.g., Barrouillet & Camos, 2015) et l'étude de Camos et Portrat (2015) concernant la relation entre CC et performances de mémorisation à long terme. D'autre part, l'effet du nombre de distracteurs sur les performances de rappel immédiat est quant à lui attribuable à son influence unique sur la stabilisation des informations sur le long

terme qui sont rappelées à court terme également (i.e., effet du nombre de distracteurs sur le rappel différé conditionnel mais pas sur le rappel immédiat conditionnel). Ainsi, ces résultats sont en accord avec les études ayant montré que le nombre de distracteurs n'influence pas les performances de mémorisation à court terme (e.g., Barrouillet, Portrat, Vergauwe, et al., 2011) mais influence celles à plus long terme (e.g., Loaiza & McCabe, 2013). Plus important encore, contrairement à nos prédictions et aux résultats de l'Étude 3, nous n'avons pas observé d'interaction entre le groupe d'âge et le CC de la tâche, ni sur les performances de rappel immédiat, ni sur les performances de rappel immédiat conditionnel. Ces résultats sont en revanche en accord avec d'autres études récentes ayant échouées à mettre en évidence un déficit spécifique du rafraîchissement attentionnel lié à l'âge (e.g., Loaiza & Souza, 2018; Souza, 2016). L'inconsistance des résultats concernant l'effet de l'âge sur le rafraîchissement attentionnel sera discutée plus longuement dans le Chapitre 5.

Concernant la mémorisation à long terme, nous nous attendions, à ce que, (1) les performances des participants jeunes soient meilleures que celles des participants âgés, (2) les performances des deux groupes d'âge soient influencées par le nombre de traitements, et que (3) la différence de performance entre les conditions 2 et 8 distracteurs soit plus grande chez les jeunes adultes que chez les adultes âgés, (4) que les performances des deux groupes d'âge soient influencées par le CC de la tâche, et que (5) la différence de performance entre la vitesse lente et rapide soit plus grande chez les jeunes adultes que chez les adultes âgés. De plus, au regard des résultats de l'Étude 5, nous nous attendions à mettre en évidence une relation logarithmique entre le temps libre cumulé et les performances de rappel différé chez les personnes âgées. Néanmoins, sous l'hypothèse d'un déficit lié à l'âge du rafraîchissement attentionnel, nous prédisions une modulation de la relation entre temps libre cumulé et rappel différé en fonction de l'âge.

Conformément à nos hypothèses, nous avons observé que les performances de rappel différé d'informations étudiées lors d'une tâche d'empan complexe étaient meilleures chez de jeunes adultes que chez des adultes âgés. Contrairement à nos hypothèses, nous avons cependant observé que les effets du CC et du nombre de traitements n'étaient pas influencés par le groupe d'âge des participants. Autrement dit, bien que, conformément à notre prédiction, les performances de mémorisation à long terme des deux groupes d'âge soient sensibles à la variation de deux facteurs identifiés dans la littérature, les adultes âgés semblent tirer autant profit des opportunités d'utilisation du rafraîchissement attentionnel pour stabiliser la mémorisation d'informations sur le long terme que les jeunes adultes. Les résultats des analyses portant sur le temps libre cumulé sont similaires à ce que nous venons de voir. Spécifiquement, tout comme pour les jeunes adultes, les performances de mémorisation à long terme des personnes âgées sont sensibles au temps libre cumulé, et la relation entre leurs performances et le temps libre cumulé est de nature logarithmique. De plus, les performances des personnes âgées ne sont pas moins sensibles à la variation du temps libre cumulé que les jeunes adultes.

En résumé, dans cette étude, nous n'avons pas observé de modulation liée à l'âge de l'effet des facteurs influençant les performances de mémorisation à long terme (i.e., CC, nombre de traitements et temps libre cumulé). De plus, nous n'avons pas observé de modulation avec l'âge de la relation entre performances de mémorisation à court terme et CC de la tâche. Ainsi, dans cette étude, le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel pour le maintien d'informations verbales ne semble pas modulé par l'âge que ce soit à court ou à long terme. Pris ensemble, les résultats de cette étude sont donc tous contraires à l'hypothèse d'un déficit lié à l'âge du rafraîchissement attentionnel.

### ***2.3. Rafrâichissement attentionnel et mémoire de source***

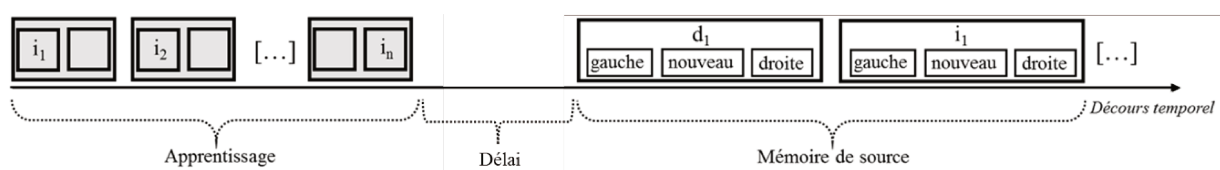
#### *2.3.1. La mémoire de source*

Jusqu'à présent, nous nous sommes essentiellement focalisés sur la distinction entre les informations maintenues à court terme (i.e., la MDT) et les informations maintenues à plus long terme (i.e., la MLT). Cependant, la mémoire est également distinguée entre les systèmes de mémoire sémantique, de mémoire épisodique et de mémoire procédurale (e.g., Endel Tulving, 1972, 1983, 1985, 2002). Par exemple, alors que la mémoire sémantique fait référence aux connaissances et faits généraux sur le monde (e.g., concepts, mots), la mémoire épisodique concerne les événements personnels, vécus dans un contexte particulier. Les représentations épisodiques sont donc des informations complexes composées de différentes caractéristiques (e.g., perceptuelles, spatiales, temporelles, sémantiques, émotionnelles) associées entre elles (e.g., Chalfonte & Johnson, 1996).

Dans un certain sens, les informations étudiées dans nos paradigmes expérimentaux étaient de nature épisodique. En effet, les items présentés aux participants n'étaient pas dépourvus d'un contexte. Par exemple, ces items ont été perçus visuellement, à un certain moment de la journée, dans un certain lieu, sur un ordinateur, à une certaine position de l'écran, etc. En demandant aux participants de rappeler à plus ou moins long terme les items précédemment vus, nous avons évalué une caractéristique des représentations maintenues en MDT (rappel immédiat) ou récupérées en MLT (rappel différé), ce que l'on nomme généralement la mémoire du contenu, ou *mémoire de l'item*. Dans ces études, nous n'avons donc pas évalué tous les autres éléments constitutifs de ces représentations épisodiques complexes, à savoir, la mémoire du contexte, ou *mémoire de source*.

L'évaluation de la mémoire de source repose sur une procédure expérimentale classiquement composée de trois phases (Figure 4.12). Dans la première, la phase d'encodage,

ou phase d'apprentissage, une liste d'items associés à différentes sources est présentée au participant. Par exemple, des items peuvent être présentés par une voix de femme et d'autres par une voix d'homme, ou, des items peuvent être présentés à droite d'un écran et d'autres à gauche. Après un certain temps, qui constitue la deuxième phase, a lieu la troisième phase, qui correspond à la tâche de mémoire de source *per se*. Les items appris sont présentés, mélangés à des items nouveaux. La tâche du participant est d'indiquer pour chaque item s'il est un item nouveau ou ancien et, dans ce dernier cas de quelle source il est issu (e.g., item présenté à droite ou à gauche). Mis à part cette structure globale, les tâches de mémoire de source utilisées dans la littérature varient sensiblement : la phase 2 (délai) peut être plus ou moins longue, les participants peuvent être informés ou non qu'ils doivent se souvenir des items et de leur source, les participants peuvent réaliser une tâche distractive pendant le délai, etc.



**Figure 4.11.** Illustration de la procédure d'une tâche de mémoire de source. Lors de la phase d'apprentissage, une liste d'items ( $i_1$ ,  $i_2$ ) provenant de différentes sources (droite vs. gauche) est présentée aux participants. Après un délai, les participants réalisent la tâche de mémoire de source qui consiste à présenter aléatoirement aux participants des items vus précédemment ( $i_1$ ) ou non ( $d_1$ ). Les participants doivent juger si les items sont nouveaux, issus de la source A (e.g., droite), ou issus de la source B (e.g., gauche).

Dans ces tâches, de nombreuses études ont mis en évidence que les performances des personnes âgées sont particulièrement réduites lorsque la tâche inclut la mémorisation des associations entre item et source/contexte, comparé aux tâches incluant seulement le rappel des items eux-mêmes (e.g., Mitchell & Johnson, 2009; Old & Naveh-Benjamin, 2008; Spencer & Raz, 1995, pour des revues). Rappelons que la réussite à ces tâches nécessite que les items soient correctement associés à leur source. Ainsi, comme le proposent différents



chercheurs (e.g., Chalfonte & Johnson, 1996; Mitchell & Johnson, 2009; Mitchell, Johnson, Raye, Mather, & D'Esposito, 2000; Naveh-Benjamin, 2000), le déficit de mémoire de source observé chez les personnes âgées pourrait être la conséquence de leur difficulté à associer ensembles les différentes caractéristiques formant une représentation épisodique.

Selon certains chercheurs (Chalfonte & Johnson, 1996; M. K. Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & Souza, 2018; Mitchell et al., 2000; Souza & Oberauer, 2017a; Souza et al., 2015), le rafraîchissement attentionnel permettrait, en plus d'une prolongation de l'activation des représentations en MDT, de favoriser l'association des différents éléments constituant ces représentations. Ainsi, Johnson et collaborateurs (Chalfonte & Johnson, 1996; M. K. Johnson et al., 2002; Mitchell et al., 2000) ont proposé qu'un déficit de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées contribuerait à leur déficit en mémoire de source. Pour étudier l'effet du rafraîchissement attentionnel sur la mémoire de source chez des adultes jeunes et âgés, et ainsi tester l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement chez les personnes âgées qui médierait la dégradation de leur mémoire de source, il est néanmoins important de tenir compte de la littérature suggérant différents effets de l'âge selon les sources considérées. En effet, certains travaux ont montré que les personnes âgées présentaient un déficit de mémoire de source moins important, ou pas de déficit lorsque l'association entre les items et leur source impliquait des liens sémantiques (Mohanty & Naveh-Benjamin, 2018; Mohanty, Naveh-Benjamin, & Ratneshwar, 2016; Naveh-Benjamin, 2000). Par exemple, Naveh-Benjamin (2000, Expérience 4) a comparé les performances de mémorisation de paires de mots sémantiquement reliées et non reliées chez de jeunes adultes et des adultes âgés dans des tâches de rappel libre, de rappel indicé et de reconnaissance. Les résultats ont montré que pour les paires non liées, les performances des jeunes adultes étaient meilleures que celles des adultes âgés, dans chaque tâche de mémoire. Au contraire, pour les paires reliées sémantiquement, les performances des deux groupes d'âge dans ces mêmes

tâches n'étaient pas significativement différentes. Ainsi, ces résultats suggèrent que, pour les personnes âgées, l'association d'éléments sémantiques est peu dégradée en comparaison de l'association d'éléments non sémantiques. Le rafraîchissement attentionnel étant supposé favoriser l'association de différents éléments dans une représentation (e.g., Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & Souza, 2018; Souza & Oberauer, 2017a; Souza et al., 2015), et ce mécanisme étant probablement altéré dans le vieillissement (e.g., Jarjat, Portrat, et al., 2018; M. K. Johnson, Mitchell, Raye, & Greene, 2004; M. K. Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015), cet ensemble d'études semble donc suggérer que le rafraîchissement attentionnel agit spécifiquement sur l'association d'éléments qui dépendent peu, ou pas, de la mémoire sémantique.

Cette hypothèse semble être corroborée par les résultats de l'étude de Loaiza et collaborateurs (2015). Dans cette étude, des participants jeunes et âgés ont réalisé une tâche d'empan complexe manipulant l'opportunité d'utilisation du rafraîchissement attentionnel sur trois types d'items à mémoriser : des mots neutres (connus par les deux groupes d'âges), des mots datés (connus principalement par les personnes âgées) et des mots inconnus par les deux groupes d'âge. La procédure expérimentale incluait un rappel immédiat ainsi qu'un rappel différé des informations (procédure semblable à celle de nos Études 5 et 6). Conformément à l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, Loaiza et collaborateurs (2015) ont observé que les performances de rappel différé des mots neutres étaient moins sensibles à l'augmentation des opportunités d'utilisation du rafraîchissement attentionnel chez les participants âgés comparé aux participants jeunes. De plus, pour les mots datés, les performances des participants n'étaient pas significativement influencées par l'augmentation des opportunités d'utilisation du rafraîchissement attentionnel. Ces résultats suggèrent donc que le rafraîchissement attentionnel agit spécifiquement sur l'association d'éléments qui dépendent peu de la mémoire sémantique (voir également Loaiza & Camos,

2018). Par extension, l'altération de ce mécanisme avec l'âge semble pouvoir être observé sur des associations d'éléments relativement indépendants de la mémoire sémantique, et plus difficilement pour des éléments qui en dépendent.

Toutefois, les résultats de l'étude de Loaiza et collègues (2015) ne sont pas univoques. Premièrement, la tâche utilisée par les auteurs ne mesurait pas directement l'utilisation du rafraîchissement attentionnel, de sorte que l'effet des « opportunités d'utilisation du rafraîchissement attentionnel » pourrait représenter autre chose que ce qu'il était censée mesurer. Deuxièmement, la tâche ne mesurait pas directement la mémoire de source, alors qu'elle semble être au cœur de la compréhension du vieillissement de la mémoire épisodique. Au vu de l'importance de comprendre la nature de ce déclin, nous avons donc souhaité tester de manière plus approfondie l'hypothèse de l'altération du rafraîchissement attentionnel comme facteur explicatif du déficit particulier de mémoire de source chez les personnes âgées.

### *2.3.2. Étude 7: effets du rafraîchissement attentionnel sur la mémoire de source chez des adultes jeunes et âgés.*

Dans cette étude, de jeunes adultes et des adultes âgés ont réalisé une tâche de mémoire de source composée de trois phases. Dans la première phase, les participants devaient répondre à une activité de jugement sémantique. Spécifiquement, des paires de mots sémantiquement reliés ou non reliés étaient présentées aux participants. Après la présentation de chaque paire, les participants devaient utiliser soit le mécanisme de répétition subvocale, soit le mécanisme de rafraîchissement attentionnel pour maintenir l'un des deux mots. Dans la condition de répétition, un des mots de la paire était affiché à nouveau à l'écran et les participants avaient pour consigne de le lire à haute voix. Dans la condition de rafraîchissement attentionnel, un

indice visuel apparaissait à l'une des positions des mots de la paire, indiquant aux participants de dire à voix haute le mot précédemment présent à cette position. Après cela, les participants devaient juger de la relation sémantique de la paire de mot présentée précédemment (reliée *vs.* non-reliée) en appuyant sur la touche du clavier correspondante. Les participants réalisaient 64 essais de l'activité de jugement sémantique avant de passer à la deuxième phase de la tâche. Dans la deuxième phase, les participants devaient compléter des additions pendant deux minutes (e.g.,  $32 + 11 = ?$ ). Enfin, dans la troisième phase, les participants réalisaient le test de mémoire de source. Plus précisément, 124 mots étaient présentés successivement aux participants. La moitié des mots présentés était des mots que les participants avaient précédemment étudiés lors de la tâche de jugement sémantique (i.e., mots anciens), tandis que l'autre moitié était des mots qu'ils n'avaient pas étudiés (i.e., mots nouveaux). Les participants avaient pour consignes d'indiquer pour chaque mot s'il était nouveau ou ancien. De plus, pour les mots jugés comme anciens, les participants devaient indiquer la source de l'item. Pour cela, les participants devaient indiquer si le mot avait été étudié dans une paire reliée ou non reliée sémantiquement et si le mot avait été présenté à droite ou à gauche de l'écran.

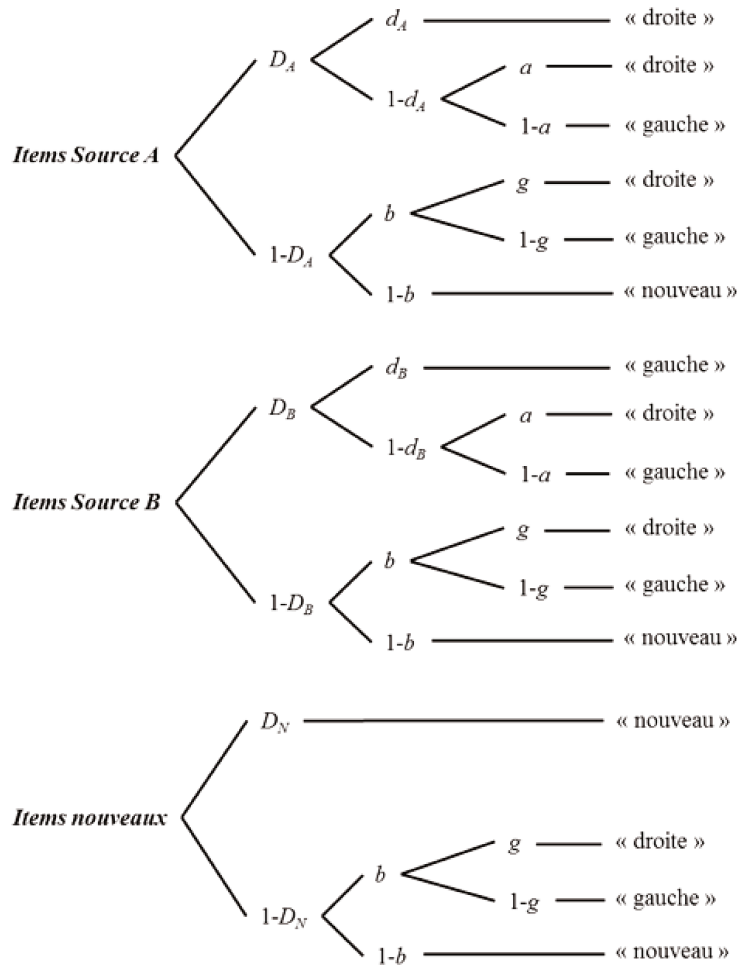
En résumé, cette étude manipulait l'âge des participants (jeunes *vs.* âgés), le mécanisme de maintien utilisé (répétition subvocale *vs.* rafraîchissement attentionnel), un élément sémantique associé aux items (issu d'une paire relié *vs.* non-relié sémantiquement) et un élément non-sémantique associé aux items (présenté à droite *vs.* à gauche de l'écran). Nos questions de recherche portaient principalement sur l'effet du mécanisme de rafraîchissement attentionnel sur la création d'associations entre les items et les éléments sémantiques et non-sémantiques du contexte. Plus précisément, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel favorise spécifiquement les associations entre informations et éléments non-sémantiques du contexte. Dans ce cadre, nous prédisons que l'utilisation du

rafraîchissement attentionnel comparé à la répétition devrait avoir un effet bénéfique sur le rappel des éléments non-sémantiques associés aux informations étudiées, mais pas sur le rappel des éléments sémantiques. De plus, sous l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel lié à l'âge, l'effet bénéfique de ce mécanisme sur le rappel des éléments non-sémantiques devrait être moins marqué chez les participants âgés comparé aux participants jeunes<sup>13</sup>.

Pour tester ces hypothèses, nous avons modélisé les performances de mémorisation des jeunes adultes et des personnes âgées au moyen d'un modèle multinomial (i.e., *Multinomial Processing Tree model* ou *MPT model*, Batchelder & Riefer, 1999). Les modèles multinomiaux sont des modèles statistiques qui permettent de mesurer les processus cognitifs qui sous-tendent les performances observées dans une tâche donnée. Ces modèles supposent que la réalisation de la tâche en question repose sur l'utilisation successive de processus cognitifs. Les modèles multinomiaux sont donc représentés par une structure arborescente, dans laquelle chaque branche représente une séquence de processus cognitifs qui aboutit à une certaine réponse. Ces processus sont représentés dans le modèle sous la forme de paramètres, lesquels sont estimés, sous forme de probabilités, à partir des données recueillies dans l'expérience. Afin de faciliter la compréhension du modèle utilisé dans notre étude, nous allons détailler dans un premier temps un modèle multinomial simple, issu de la situation expérimentale illustrée précédemment (Figure 4.12). Dans cette situation, une dimension à deux sources était illustrée. Spécifiquement, des items étaient présentés à droite (Source A) ou à gauche (Source B) de l'écran. La Figure 4.13 correspond au modèle multinomial qui illustre les différents processus conduisant aux réponses possibles au test de mémoire de source dans cette situation.

---

<sup>13</sup> Comme précisé dans l'article ci-dessous, cette étude - incluant la méthodologie utilisée, les tests effectués et les prédictions expérimentales - a été pré-enregistrée sur l'Open Science Framework.

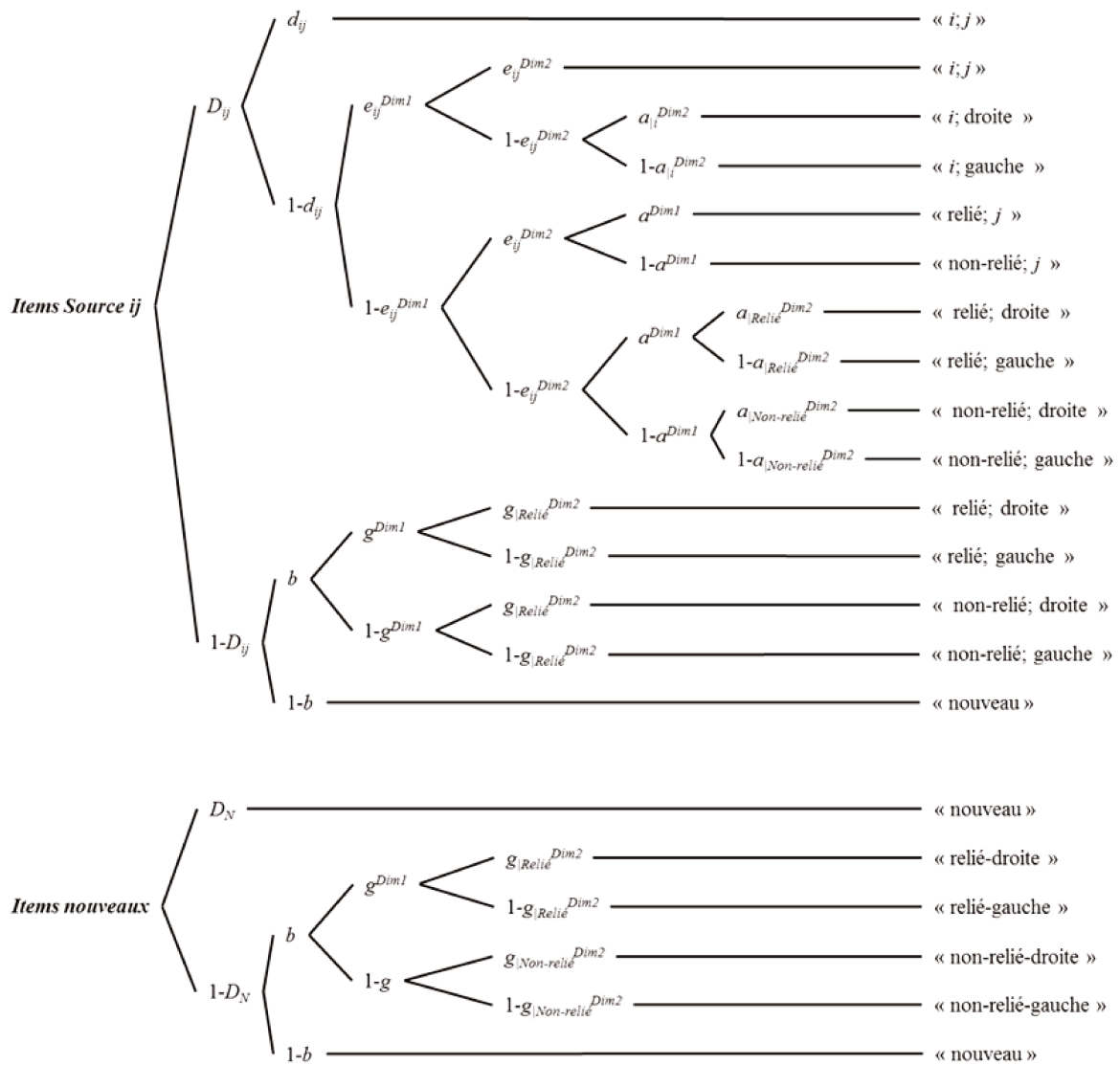


**Figure 4.12.** Représentation du modèle multinomial construit à partir de la situation expérimentale décrite dans la Figure 4.11. Pour chaque type d’item présenté lors de la phase de mémoire de source (item issu de la Source A, B, ou item nouveau), différents processus (e.g.,  $D_A$ ,  $d_A$ ) peuvent être mis en jeu pour répondre. Pour une description détaillée des processus, voir le paragraphe ci-dessous.

Lorsqu’un item est présenté lors de la phase test (issu de la Source A, B, ou nouveau), le premier processus mis en jeu est un processus de reconnaissance/détection de l’item. D’une part, l’item peut être reconnu comme étant un item déjà vu, ou comme un item nouveau, selon une certaine probabilité (paramètres  $D_A$ ,  $D_B$ ,  $D_N$ ). Si l’item est correctement reconnu comme un item nouveau, la réponse choisie sera donc “nouveau”. Si l’item correctement reconnu était un item issu de la source A ou B, un deuxième processus, la récupération de la source, sera mis en jeu. La source spécifiquement associée à l’item peut être récupérée selon une certaine probabilité (paramètres  $d_A$  et  $d_B$ ). Ici, l’enchaînement des processus de détection ( $D_A$  ou  $D_B$ ), et

de récupération de la source ( $d_A$  ou  $d_B$ ) conduit donc à la réponse correcte (“droite” ou “gauche”, respectivement). Le processus de récupération de la source peut également échouer, selon les probabilités complémentaires  $(1 - d_A)$  et  $(1 - d_B)$ . Dans ce cas, les participants devront estimer la réponse, soit “droite” (paramètre  $a$ ) soit “gauche”  $(1 - a)$ . D’autre part, les items présentés peuvent ne pas être reconnus comme étant un item déjà vu, ou comme un item nouveau, selon les probabilités complémentaires  $(1 - D_A)$ ,  $(1 - D_B)$  et  $(1 - D_N)$ . Dans ce cas, les participants devront estimer si l’item est ancien (paramètre  $b$ ) ou nouveau  $(1 - b)$ . Si l’item est estimé ancien ( $b$ ), les participants devront également estimer la réponse concernant la source, “droite” (paramètre  $g$ ) ou “gauche”  $(1 - g)$ .

Au regard de nos questions de recherche, la situation expérimentale que nous avons construit incluait deux dimensions, chacune comportant deux sources. La première dimension, nommée  $i$ , correspond à l’élément sémantique associé aux items (issu d’une paire reliée vs. non-reliée sémantiquement), tandis que la deuxième dimension, nommée  $j$ , correspond à l’élément non-sémantique associé aux items (présenté à droite vs. à gauche de l’écran). Ainsi, le modèle multinomial que nous avons utilisé était également plus complexe que précédemment (Figure 4.14). Ce dernier correspond au modèle pour mémoire de source multidimensionnelle conjointe (*MPT model for multidimensional joint source memory*), développé par Meiser et Bröder (2002; Meiser, 2014).



**Figure 4.13.** Représentation du modèle multinomial utilisé dans l'Étude 7. Parmi les items présentés lors de la phase de mémoire de source, certains sont nouveaux (*items nouveaux*) et d'autres ont été présentés auparavant (*items source ij*). La dimension  $i$  correspond au contexte sémantique (relié vs. non-relié) et la dimension  $j$  au contexte non-sémantique (droite vs. gauche). Les items source  $ij$  peuvent donc être de quatre types, issu du croisement des deux modalités de ces deux dimensions. Pour chaque item présenté, différents processus (e.g.,  $D_{ij}$ ,  $d_{ij}$ ) peuvent être mis en jeu pour répondre. Pour une description détaillée des processus, voir le paragraphe ci-dessous.

Dans cette situation, lorsqu'un item est présenté lors de la phase test (issu de la source multidimensionnelle  $ij$ , ou nouveau), le processus de reconnaissance/détection de l'item est également mis en jeu. Spécifiquement, les participants peuvent reconnaître cet item ( $D_{ij}$  ou  $D_N$ ) ou ne pas le reconnaître ( $1 - D_{ij}$  ou  $1 - D_N$ ). Si l'item correctement reconnu était un item nouveau, la réponse choisie sera donc "nouveau". Si l'item correctement reconnu était un item



étudié, les processus de récupération de la source seront mis en jeu. Les participants peuvent ainsi récupérer les éléments de la source  $ij$  (e.g., un item étudié dans une paire sémantiquement reliée, source  $i$ , et localisé à gauche de l'écran, source  $j$ ) de manière conjointe ( $d_{ij}$ ). Si ce processus échoue ( $1 - d_{ij}$ ), les participants peuvent néanmoins récupérer ces éléments de façon indépendante, par un processus de récupération spécifique à la dimension sémantique ( $e_{ij}^{Dim1}$ ) d'une part, et par un processus de récupération spécifique à la dimension non-sémantique ( $e_{ij}^{Dim2}$ ) d'autre part. Un, ou ces deux processus de récupération indépendants de la source peuvent également échouer, selon les probabilités complémentaires ( $1 - e_{ij}^{Dim1}$ ) et ( $1 - e_{ij}^{Dim2}$ ). Dans ce cas, les participants devront estimer les éléments de la source. Ces processus d'estimations sont reflétés par les paramètres  $a^{Dim1}$ ,  $a_i^{Dim2}$ ,  $a_{|Relié}^{Dim2}$  et  $a_{|Non-relié}^{Dim2}$ . Si l'item présenté n'est pas reconnu ( $1 - D_{ij}$  ou  $1 - D_N$ ), les participants devront estimer si l'item est ancien (paramètre  $b$ ) ou nouveau ( $1 - b$ ). Si l'item est estimé ancien ( $b$ ), les participants devront également estimer la réponse concernant les éléments de la source, "relié" (paramètre  $g^{Dim1}$ ) ou "non-relié" ( $1 - g^{Dim1}$ ) et "droite" (paramètres  $g_{|Relié}^{Dim2}$  et  $g_{|Non-relié}^{Dim2}$ ) ou "gauche" ( $1 - g_{|Relié}^{Dim2}$  et  $1 - g_{|Non-relié}^{Dim2}$ ).

Dans cette étude, nos prédictions principales portaient sur les paramètres estimant la récupération des éléments du contexte ( $d_{ij}$ ,  $e_{ij}^{Dim1}$  et  $e_{ij}^{Dim2}$ ). Plus précisément, sous l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel favorise spécifiquement les associations entre informations et éléments non-sémantiques du contexte, nous prédisons que le paramètre  $e^{Dim2}$  sera supérieur dans la condition d'utilisation du rafraîchissement attentionnel comparé à la condition d'utilisation de la répétition. De plus, le bénéfice du rafraîchissement attentionnel sur l'association d'éléments non-sémantiques devrait aussi affecter la récupération conjointe des éléments de la source. Nous prédisons donc que le paramètre  $d_{ij}$  sera également supérieur lorsque le rafraîchissement attentionnel est utilisé. En lien avec l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, nous

prédisons également que la différence des paramètres  $e^{Dim2}$  et  $d_{ij}$  selon le mécanisme de maintien utilisé devrait être plus élevée pour les jeunes adultes que pour les adultes âgés. Enfin, pour les deux groupes d'âge, nous prédisons que le paramètre  $e_{ij}^{Dim1}$  ne sera pas affecté par le mécanisme de maintien utilisé. Les résultats de cette étude sont présentés dans l'article ci-dessous (Jarjat, Loaiza, Ward, Hot & Portrat, soumis).



## Refreshing in Working Memory and Age-Related Differences in Episodic Memory

Gabriel Jarjat

Vanessa M. Loaiza

Geoff Ward

Pascal Hot

Sophie Portrat

Word count: 7433/8000 (excluding references, tables, and figures)

### Author Note

Gabriel Jarjat, Department of Psychology, Université Savoie Mont Blanc. Vanessa M. Loaiza, Department of Psychology, University of Essex. Geoff Ward, Department of Psychology, University of Essex. Pascal Hot, Department of Psychology, Savoie Mont Blanc. Sophie Portrat, Department of Psychology, Université Grenoble Alpes.

Correspondence concerning this article should be addressed to Gabriel Jarjat, Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, CNRS UMR 5105 Université Pierre Mendès-France, Bâtiment Sciences de l'Homme et Mathématiques, CS40700 – 38058 Grenoble, France. [gabriel.jarjat@univ-smb.fr](mailto:gabriel.jarjat@univ-smb.fr).

This work was supported in part by an Experimental Psychology Society (EPS) grant to Gabriel Jarjat.

We acknowledge Hiu “Lily” Cheung and Nathanael Knight for their assistance with data collection.

The pre-registration, materials, data, and analysis scripts for the experiment are available at the Open Science Framework (OSF): [\[view only link here\]](#)

Abstract

Word count: 235/250

Refreshing, or the act of briefly foregrounding recently presented but now perceptually absent representations, has been identified as a possible source of age differences in working memory and episodic memory alike. The current research investigated whether the refreshing deficit specifically contributes to the well-known age-related deficit for retrieving episodic associations (e.g., the on-screen locations of arbitrary word pairs, pink – cop), but has no impact on existing semantic associations (e.g., determining the relatedness of word pairs, pink – blue). Healthy younger and older adults judged the relatedness of presented word pairs (e.g., pink – blue) after repeating or refreshing one of the words. Thereafter, a source-monitoring task required participants to make a source judgment for each item recognized as old regarding their original location on the screen and whether they came from a related pair. The data were analyzed using a hierarchical Bayesian implementation of a multinomial model of multidimensional source memory. The results demonstrated no evidence for a refreshing benefit for either the episodic/non-semantic or semantic source memory parameters in either age group. Most interestingly, there was evidence for a null age difference in source memory for semantic associations, in stark contrast to the typical age deficit in source memory for episodic associations. Thus, rather than a refreshing deficit, the study suggests the nature of the association is most important to episodic memory performance in older age, such that recollective experience is unimpaired for semantically meaningful information.

*Keywords:* attention, refreshing, working memory, episodic memory, semantic memory

A substantial literature suggests that memory certainly changes with age (Denise C. Park et al., 1996; Verhaeghen & Salthouse, 1997). However, it is also clear that aging does not affect all aspects of memory to the same extent. For instance, whereas long-term *semantic memory* (SM) – general knowledge about the world (e.g., facts, concepts) – seems to be preserved, or even improves, with age (e.g., Park et al., 2002; Verhaeghen, 2003), age-related decline in long-term *episodic memory* (EM) – memory that involves personally experienced events – is typically reported in the literature (e.g., Nilsson, 2003; see, Zacks, Hasher, & Li, 2000, for a review).

One important difference between SM and EM is that retrieval from SM does not necessarily require specific details or contextual information from when the event occurred, whereas retrieval from EM is frequently assumed to be driven by cues from the original event (Glenberg & Swanson, 1986; Howard & Kahana, 2002; M. K. Johnson, Hashtroudi, & Lindsay, 1993; Endel Tulving, 1985, 2002). For instance, remembering that last Saturday, one's sister had a graduation party at her house for finishing her Math degree comprises rich temporal- and source-specific contextual details, whereas recalling Pythagoras' theorem does not require such details to be retrieved. Numerous studies have shown that healthy aging is associated with a disproportionate decline for retrieving specific details of an experienced event (henceforth, *source memory*) relative to simple recognition of the event (henceforth, *item memory*; e.g., Mitchell & Johnson, 2009; Old & Naveh-Benjamin, 2008; Spencer & Raz, 1995, for reviews). For instance, older adults have been found to perform more poorly than their younger counterparts when determining whether facts were learned during an experiment or not (McIntyre & Craik, 1987), whether actions have been performed, imagined, or watched (G. Cohen & Faulkner, 1989), or whether words have been thought or said out loud (Hashtroudi, Johnson, & Chrosniak, 1989). Thus, the EM decline that occurs with normal aging predominantly occurs for retrieval of information that is accompanied by the

specific, contextual details associated to an event that allows for recollective experience, whereas other forms of memory are much more intact. The cause of this asymmetrical decline for source memory has been a priority for the field of cognitive aging.

Several theories have been advanced to account for this age-related source memory deficit (Jacoby, 1999; Mitchell & Johnson, 2009; Naveh-Benjamin, 2000). For example, according to the source monitoring framework (Johnson et al., 1993; Mitchell & Johnson, 2009), source memory arises from a combination of perceptual, reflective, and attributional decision processes that are associated with brain regions that undergo decline with normal and pathological aging. Moreover, many researchers recognize that, by definition, episodic representations are complex and multi-faceted such that they comprise several units or features of information associated to each other (e.g., Chalfonte & Johnson, 1996). Accordingly, retrieval failures during a source memory task (e.g., retrieving words according to their original presented location) may arise from a deficit for (1) the individual units of information that constitute an episode (e.g., the word and/or the location), and/or (2) their specific association/binding (e.g., the specific association of the word in a particular location). Older adults' deficit in such tasks could therefore be due to an impairment in one or both of these specific memory processes. In line with the source memory deficit, Johnson and colleagues (Chalfonte & Johnson, 1996; Mitchell, Johnson, Raye, Mather, & D'Esposito, 2000) have observed that older adults were especially impaired when required to remember associations of information (e.g., objects appearing in different colors or locations), whereas memory for the individual features themselves was not deficient.

Importantly, Johnson and colleagues first proposed that the source memory deficit could be due to an age-related impairment in *refreshing* (Chalfonte & Johnson, 1996; Johnson, Reeder, Raye, & Mitchell, 2002; Mitchell et al., 2000). Refreshing is considered a domain-general mechanism that operates by reflectively directing attention to just-recently

activated but no longer perceptually-available representations in working memory (WM; Johnson, 1992; see Camos et al., 2018 for a review). Accordingly, refreshing is thought to prolong the activation of information so that it may be briefly maintained and manipulated in WM. For Johnson and colleagues, among other researchers (Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & Souza, 2018; Souza & Oberauer, 2017; Souza, Rerko, & Oberauer, 2015), the act of refreshing also serves to reinforce bindings between memoranda in WM and its associated source context. Thus, for the source monitoring framework, refreshing is an important reflective component that is deficient in older age and consequently contributes to the source memory deficit due to its importance for reinforcing content-context bindings in WM. Not only does the hypothesis of an age-related refreshing deficit serve as an account of the source memory deficit in older age, but it also provides a means of understanding the relationship between WM and EM across the adult lifespan more generally. Indeed, WM capacity is often demonstrated to account for age-related variability in EM (e.g., McCabe, Roediger, McDaniel, Balota, & Hambrick, 2010; Denise C. Park et al., 1996; Verhaeghen & Salthouse, 1997). Thus, an age deficit in the ability to use reflective attention to refresh information in WM has been proposed to contribute to the age-related source memory deficit.

In order for refreshing to be an underlying cause of the age-related source memory deficit, there should be evidence that refreshing is deficient in older age. That is, refreshing should be either less beneficial or not beneficial at all for older adults' memory performance compared to that of younger adults. Thus far, the evidence for such a refreshing deficit is mixed. Some work has suggested that either instructions to refresh or spontaneous opportunities to refresh memoranda are less advantageous for older adults' retrieval from WM (Duarte et al., 2013; Jarjat, Portrat, & Hot., 2018; Newsome et al., 2015; Yi & Friedman, 2014) or EM (Johnson, Mitchell, Raye, & Greene, 2004; Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza, Rhodes, & Anglin, 2015). However, other work has failed to find



evidence for a refreshing deficit, either because refreshing was found to benefit older and younger adults' performance similarly (Baumans, Adam, & Seron., 2012; Loaiza & Souza, 2018; Souza, 2016; Strunk, Morgan, Reaves, Verhaeghen, & Duarte, 2018) or because there was no evidence of a refreshing benefit for either age group (Bartsch, Loaiza, Jäncke, Oberauer, & Lewis-Peacock, 2018). Given the theoretical importance of refreshing for the age-related source memory deficit and for models of WM more generally, more investigation is warranted in order to identify the true contribution of refreshing deficits for age-related differences in memory performance.

One method to investigate the potential impact of refreshing for the age-related deficit in source memory is to consider memory for different sources. That is, age differences may not be consistent across memory for all types of sources, and accordingly refreshing may not be relevant for memory for all types of sources. Indeed, some work has indicated that older adults show a smaller or null source memory deficit for meaningfully related pairs of information (Mohanty & Naveh-Benjamin, 2018; Mohanty, Naveh-Benjamin, & Ratneshwar, 2016; Naveh-Benjamin, 2000). For example, Naveh-Benjamin (2000, Experiment 4) compared younger and older adults' retention of semantically related and unrelated pairs of words in three memory tasks: free recall, cued recall, and recognition. Results indicated that younger adults outperformed older adults in each memory task for the unrelated pairs, but there were no differences between the groups when related pairs were used in any of the memory tasks. Furthermore, other work indicates that relatively arbitrary perceptual features (e.g., font size or position of studied words on the screen) are less likely to contribute to older adults' recollective experience compared to younger adults (Boywitt, Kuhlmann, & Meiser, 2012; Kuhlmann & Boywitt, 2016). This indicates that the aforementioned performance advantage in SM in older age may serve to buffer older adults' relatively deficient source memory, whereas they are much more disadvantaged for less meaningful or arbitrary source

information compared to younger adults. Accordingly, any age-related impairment in the ability to refresh information may be exclusive to information that is less semantically meaningful and more arbitrary. In other words, the more that older adults can rely on their relatively greater SM, the less the purported refreshing deficit should matter for their source memory. This implies that refreshing may be most important for more novel content-context bindings that do not already have a strong representation in SM.

Thus far, there is only one study to our knowledge that has addressed this possibility. Loaiza and colleagues (2015) had younger and older adults complete a WM task that was designed to vary the number of opportunities to refresh three different types of memoranda: neutral words (i.e., equally known to both age groups), dated words (i.e., better known to older adults), or unknown words (i.e., unknown to both age groups). Participants recalled the items immediately (WM) and were tested for the same items after a delay (EM). The results indicated that refreshing opportunities were more strongly correlated with delayed recall of the neutral memoranda for younger adults than older adults, in line with the refreshing deficit hypothesis. However, in both immediate and delayed recall, older adults outperformed their younger counterparts for dated memoranda, and their performance advantage was uncorrelated with refreshing opportunities. In line with the literature (e.g., Mohanty et al., 2016; Naveh-Benjamin, 2000; Park, Smith, Morrell, Puglisi, & Dudley, 1990), these results suggest that older adults' EM can be improved by relying on support of their preserved SM. The results further comport with the aforementioned possibility that the age-deficit in refreshing is specific to novel associations that are independent of existing SM (see also Loaiza & Camos, 2018). While the results support the notion that a refreshing deficit may dissociate between semantic and non-semantic source memory, they are far from unequivocal. First, the design of the task did not directly measure refreshing, and thus the purported effect of “refreshing opportunities” may represent something other than what it was intended to

measure. Second, the task did not directly measure associative or source memory, which as previously discussed, is chief among the areas of decline in older age. Given the importance of understanding the nature of age-related memory decline, much more research is warranted to examine the underlying causes of the particular deficit in recollective experience in older age.

### **Present study and modeling framework**

In the present study, we were primarily interested to investigate whether there is evidence that refreshing specifically promotes non-semantic source memory, and if so, whether older adults would benefit from it to a similar extent than younger adults. For this purpose, groups of younger and older adults had to perform a two-dimension source memory task (Meiser & Bröder, 2002), one dimension involving associations that draw upon existing SM (henceforth, *semantic source memory*) and the other dimension involving associations for which existing SM has no relevance (henceforth, *non-semantic source memory*). More precisely, participants were presented pairs of words that were either semantically related (e.g., *pink – blue*) or unrelated (e.g., *pink – cop*). Participants were next prompted either to refresh or to repeat one word of each pair. During the retrieval phase of the task, participants had to distinguish words they had previously studied (*targets*) from new words (*lures*). For items detected as old, participants were further required to determine (1) whether the word had been displayed on the left- or right-hand side of the screen during the learning phase (i.e., non-semantic source memory) and (2) whether the word came from a related or unrelated pair (i.e., semantic source memory).

To analyze the results, we used a multinomial processing tree (MPT) model for multidimensional joint source memory (Meiser, 2014; Meiser & Bröder, 2002). MPT models are a class of measurement models that aim to explain observable categorical data (such as frequency of responses during a source recognition task) in terms of underlying latent

cognitive states (Batchelder & Riefer, 1999; Erdfelder et al., 2009). Accordingly, our paradigm allowed us to contrast the effect of refreshing versus repetition in both age groups with regard to the underlying parameters of item and source memory. Figure 1 illustrates the model as a processing-tree diagram, which reflects the parameters for item memory, source memory, and guessing processes that lead to an observed response (see right-hand side of Figure 1) from targets with dimensions  $i$  (relatedness of the pair),  $i \in \{\text{related, unrelated}\}$ , and  $j$  (location on the screen),  $j \in \{\text{left, right}\}$ , or from lures. Parameter  $D_{ij}$  denotes the probability of recognizing a target from source  $ij$  (e.g., a word from a related pair presented on the left) as old and parameter  $D_{New}$  denotes the probability of identifying a lure as new. Conversely, participants may not recognize an old or new item as old or new with the complementary probabilities ( $1 - D_{ij}$  and  $1 - D_{New}$ , respectively). Given an old item was correctly identified as old ( $D_{ij}$ ), participants retrieve the correct source combination  $i,j$  (relatedness of the pair and location on the screen) in a bound fashion with probability  $d_{ij}$ . If participants cannot retrieve the correct source combination  $i,j$  in this bound fashion ( $1 - d_{ij}$ ), they may still retrieve each source dimension independently with probabilities  $e_{ij}^{Dim1}$  (relatedness of the pair) and  $e_{ij}^{Dim2}$  (location on the screen). Participants may also recognize targets but not recollect any source information. In this case, they may nevertheless respond correctly to the source-memory task based on lucky guesses or guess incorrectly. Such guesses are reflected by parameters  $a^{Dim1}$ ,  $a_i^{Dim2}$ ,  $a_A^{Dim2}$  and  $a_B^{Dim2}$ . If an item is not recognized as old or new ( $1 - D_{ij}$  or  $1 - D_{New}$ , respectively), participants may guess that this unrecognized item is old with probability  $b$ . Thereafter, participants assign items to relatedness and location sources with the guessing probabilities  $g^{Dim1}$ ,  $g_A^{Dim2}$ ,  $g_B^{Dim2}$ .

The comparison of parameters  $d_{ij}$ ,  $e_{ij}^{Dim1}$  and  $e_{ij}^{Dim2}$  was of most interest to our research questions because, as explained previously, they represent measures of joint source memory, semantic source memory, and non-semantic source memory. Although we focus on these

predictions here for the sake of brevity, note that the full list of research questions and their respective predictions can be found on the Open Science Framework (OSF). If refreshing specifically promotes non-semantic source memory (in our study, the original location of the repeated/refreshed word on the screen), then non-semantic source memory ( $e_{ij}^{Dim2}$ ) should be greater in the refresh condition than in the repeat condition. However, if older adults have a refreshing deficit, then the advantage of refreshing for non-semantic source memory ( $e_{ij}^{Dim2}$ ) should be more specific to younger adults. In addition, the effect of refreshing may also benefit the bound recollection of the two sources, in which case this predicted pattern for non-semantic source memory ( $e_{ij}^{Dim2}$ ) should likewise be evident for joint source memory ( $d_{ij}$ ). That is, joint source memory ( $d_{ij}$ ) should be greater in the refresh condition compared to the repeat condition for younger adults, whereas an age-related impairment of refreshing should reduce or nullify this advantage for older adults. Finally, we predicted that refreshing should not affect semantic source memory (in our study, the original relatedness of the studied pairs). Thus, there should be no reliable differences of parameter  $e_{ij}^{Dim1}$  between the refresh and repeat condition for either age group.

## Method

### Participants and Design

A total of 33 younger adults and 38 older adults participated in the study in exchange for £9. Younger adults were recruited from the university's subject pool. Older participants were recruited from a pool of healthy community-dwelling adults and were screened to rule out dementia by means of the Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, Folstein, & McHugh, 1975). Three younger adults were excluded due to reporting being a non-native English speaker ( $n = 1$ ) or currently taking medication for neurological disorders ( $n = 2$ ); eight older adults were excluded for low MMSE ( $n = 1$ ), neurological disorder medication ( $n = 1$ ), computer malfunction ( $n = 3$ ), or failure to achieve 80% accuracy during the relatedness

task ( $n = 3$ ). As planned in the preregistration of the study, the final sample of participants included 30 participants in each age group. Table 1 presents the sample characteristics. All participants were native English speakers, had normal or corrected-to-normal vision, did not self-report a medical history of memory or cognitive impairments, and provided written informed consent before taking part in the study. The study was approved by the Department of Psychology Ethics Committee at the University of Essex.

The experiment manipulated Age (younger, older adults; between subjects), Instruction (refresh, repeat words; within-subjects), Relatedness (related, unrelated pairs of words; within-subjects) and Location (words displayed on right, left part of the screen; within-subjects), thus resulting in a mixed factorial design.

### **Materials and Procedure**

The materials and experiment scripts can be found on the OSF. Stimuli consisted of 380 pairs of concrete singular English nouns taken from the Nelson free association norms (Nelson, McEvoy, & Schreiber, 1998). Each pair was composed of two semantically related words (forward associative strength:  $M = 0.18$ ,  $SD = 0.07$ , range = 0.101 – 0.399; letters:  $M = 5.49$ ,  $SD = 1.69$ , range = 2 – 10; frequency in the English language (log HAL):  $M = 9.23$ ,  $SD = 1.63$ , range = 3.09 – 13.58). For each pair, one word was taken and associated to a word from another pair in order to create an unrelated option. Thus, there was a pool of 380 triplets of words, each composed of two semantically related words and a third word unrelated to the other two. For each participant, 128-word triplets were randomly selected from the pool to be presented during the relatedness judgment task: half of the words composed the related word pairs and half composed the unrelated word pairs, with the constraint that all words composing the pairs were unique (i.e., a word could not appear in both a related and unrelated pair). Words serving as the new distracters during the recognition test were drawn from the remaining unique words.

The experiment took place in a quiet room with a trained experimenter present in order to individually test the participants, monitor their performance, and ensure comprehension and compliance with instructions. The experiment was programmed using Matlab with the Psychtoolbox extensions (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007). The instructions for each phase were displayed on the computer, with the experimenter clarifying any of the participants' questions.

The first phase consisted of two blocks of the relatedness judgment task, each comprising 64 trials, with each block followed by a source recognition task (see Figure 2). Two practice trials of the relatedness judgment task preceded each block and were repeated until the experimenter and participants felt that the requirements of the task were fully understood. During the relatedness judgment task, each trial began with two horizontally presented empty frames displayed for 1000 ms to alert the participants to the beginning of the trial. Next, two words appeared in the respective frames for 2250 ms, and then disappeared for a 500 ms interstimulus interval (ISI). Half of the pairs were related (e.g., *duck – bird*) and the other half were unrelated (e.g., *trust – chemistry*), and the order of presentation of the related/unrelated pairs was random. Then, participants were prompted for 1500 ms (500 ms ISI) to either refresh or repeat one of the two words. In the refresh condition, an asterisk appeared in one of the frames, indicating the word that was in that frame should be refreshed aloud. In the repeat condition, one of the words from the pair appeared again in the same frame that it had been displayed before, and participants were instructed to read it aloud. The participants' vocal responses were recorded. Next, the contour of the boxes turned blue, indicating that participants had to judge whether the words of the pair they had seen were related or unrelated by pressing the left or right arrow key, respectively. Participants were given a maximum of 10 s to respond, and the accuracy and response times (RTs) of their decisions were recorded. After participants had given their response or when the time limit

was reached, the frames disappeared, and the trial ended, with an interval of 2 s before a new trial.

For each instruction condition (i.e., repeat or refresh), half of the words were presented in related pairs and the other half were presented in unrelated pairs. Furthermore, half of the repeated/refreshed words were originally presented in the left frame and half in the right frame. This resulted in a fully balanced design, such that across the two blocks, there was an even representation of words in each of the design cells that fully crossed the instruction, the pair relatedness, and the location of the repeated/refreshed words. Each of these factors was implemented randomly across the blocks.

A distraction-filled retention interval of 2 min followed each block of the relatedness judgment task, such that participants completed as many simple addition problems (e.g.,  $32 + 11 = ?$ ) as possible. Each problem was displayed until participants entered the response by using the keyboard. Afterward, participants received instructions for the source recognition test. Each block of the test comprised 128 randomly presented words: half were originally repeated/refreshed during the previous block (targets) and half were entirely new words to the experiment (distracters). Non-repeated/refreshed words were not tested. Each word was presented at the center of the screen, with the words “Old” and “New” displayed in two respective frames underneath the tested word. For each word, participants had to judge whether it was a target or a distractor by using the mouse to click “Old” or “New”, respectively, with no time limit to respond. If participants decided that the test word was a distractor, another test word to be judged appeared after a 500 ms ISI. If the test word was judged to be a target, participants were further required to recall its original source details from when it was presented during the relatedness judgment task. More precisely, participants indicated whether the word came from a related or unrelated pair and whether it was displayed on the left or right side of the screen. These options were presented as a series of



four horizontally presented frames on the screen with each possible combination presented within each (i.e., left-related, left-unrelated, right-related, right-unrelated), and participants used the mouse to click on the relevant frame.

Finally, participants were asked to fill in a demographics questionnaire and a computerized vocabulary test (Shipley, Gruber, Martin, & Klein, 2009). Additionally, older adults completed the MMSE. At the conclusion of the study, participants were offered the opportunity to view their overall performance during the source recognition test and the vocabulary test. Finally, all participants were fully debriefed and compensated.

### **Data analysis**

All analyses were conducted with R in RStudio (RStudio Team, 2016). Separate 2 (Age: young vs older adults) x 2 (Instruction: refresh vs repeat) x 2 (Relatedness: related vs unrelated pairs) x 2 (Location: left vs right) Bayesian analyses of variance (BANOVA, Rouder, Morey, Speckman, & Province, 2012) were conducted for speech RTs, response accuracy and RTs during the relatedness judgment task, using the BayesFactor package (Morey, Rouder, & Jamil, 2015) with the default settings. For the sake of brevity, we report on the best models only; however, all analysis scripts and data can be found on the OSF for the interested reader. BANOVA computes the strength of evidence in the data for different models which include a combination of main effects and interaction compared with a null model ( $M_{Null}$ ) that includes only a random effect of the participant. The ratio of evidence of comparing one model (e.g., a model assuming a main effect of age,  $M_A$ ) and another (e.g., the null model,  $M_{Null}$ ) is referred to as the Bayes factor (BF). Thus, one can compare the relative strength of evidence for one model in comparison to another one in order to draw inferences about effects and interactions of different factors. BFs of greater than 10 and 100 are respectively considered strong and decisive evidence for the tested model, whereas BFs between 1 to 3 are considered ambiguous evidence for the tested model.

All MPT model-based analyses were conducted using the R package TreeBUGS (Heck, Arnold, & Arnold, 2018). To ensure identifiability of the model, some parameters were constrained to be identical (Meiser, 2014). More specifically, detection parameters  $D_{ij}$  were set to be equal across both locations. Assuming that the detection of a lure is determined by the lower boundary of target detection, we constrained  $D_{New}$  to be equal to the probability of detecting a target studied from an unrelated pair that was repeated. In addition, guessing parameters were equated between recognized and unrecognized targets. Finally, we imposed equality constraints on the source memory parameters  $d_{ij}$ ,  $e_{ij}^{Dim1}$ , and  $e_{ij}^{Dim2}$  across source combinations. We used four MCMC chains with 60,000 iterations each, of which the 10,000 first samples were excluded as warmup. The remaining 50,000 posterior samples were thinned by a factor of 10.

## Results

### Relatedness judgment task

**Speech response time.** The BANOVA performed on mean log-transformed speech RTs showed that the best model included main effects of Age and Instruction ( $\text{BF}[M_{A+I} \text{ vs. } M_{Null}] = 19.7 \text{ e}+6$ ). As Wetzels and colleagues (2012) suggested, to test for a main effect of Age, we used the ratio of BFs between the model that includes both factors without interaction against the null model ( $M_{A+I}/M_{Null}$ ) and the model that includes only the Instruction factor against the null model ( $M_I/M_{Null}$ ); that is,  $\text{BF}[(M_{A+I}/M_{Null})/(M_I/M_{Null})]$ . We followed the same logic to test for a main effect of Instruction (i.e.,  $\text{BF}[(M_{A+I}/M_{Null})/(M_A/M_{Null})]$ ) and to test for an interaction effect (i.e.,  $\text{BF}[(M_{A*I}/M_{Null})/(M_{A+I}/M_{Null})]$ ). There was strong evidence that older adults were slower ( $M = 1.06 \text{ s}$ ;  $SD = 0.16$ ) than their younger counterparts ( $M = 0.80 \text{ s}$ ;  $SD = 0.13$ ;  $\text{BF}[M_{A+I} \text{ vs. } M_I] = 27.8 \text{ e}+5$ ). There was also moderate evidence that participants were slower to repeat ( $M = 0.94 \text{ s}$ ;  $SD = 0.21$ ) than to refresh words ( $M = 0.92 \text{ s}$ ;  $SD = 0.18$ ;  $\text{BF}[M_{A+I} \text{ vs. } M_A] = 7.23$ ). Contrary

to our hypothesis and previous work (e.g., Johnson et al., 2002), there was no evidence in favor of the interaction between age and instruction ( $BF[M_{A*I} \text{ vs. } M_{A+I}] = 0.24$ ). The measured mean speech RT is shown in Figure 3 as a function of Age, Relatedness and Instruction.

**Judgment accuracy.** The BANOVA performed on mean relatedness judgment accuracy showed that the best model included the main effects of Age and Relatedness ( $BF[M_{A+R} \text{ vs. } M_{Null}] = 52.6$ ). There was ambiguous evidence in the data ( $BF[M_{A+R} \text{ vs. } M_R] = 1.64$ ) that older adults ( $M = 0.93$ ;  $SD = 0.07$ ) outperformed younger adults ( $M = 0.91$ ;  $SD = 0.09$ ). However, there was strong evidence ( $BF[M_{A+R} \text{ vs. } M_A] = 31.9$ ) that accuracy was better when pairs were unrelated ( $M = 0.93$ ;  $SD = 0.08$ ) than related ( $M = 0.91$ ;  $SD = 0.09$ ). The measured mean relatedness judgment accuracy is shown in Figure 4 as a function of Age, Relatedness and Instruction.

**Judgment reaction time.** The BANOVA performed on mean log-transformed RTs showed that the best model included the main effect of Age ( $BF[M_A \text{ vs. } M_{Null}] = 21.4 \text{ e}+3$ ). There was strong evidence in the data that older adults ( $M = 0.89 \text{ s}$ ;  $SD = 0.31$ ) were slower to respond than younger adults ( $M = 0.58 \text{ s}$ ;  $SD = 0.22$ ).

### Source recognition memory test

**Overall observed performance.** The standard descriptive measures of recognition performance can be found in Table 2.

**Model-based analyses.** Results of the asymptotic  $\chi^2$  test, implemented in the R package TreeBUGS (Heck et al., 2018), revealed that there was substantial heterogeneity among younger adults ( $\chi^2(1044) = 2097.17$ ,  $p = 4.73 \text{ e-}73$ ) as well as older adults ( $\chi^2(1044) = 1990.96$ ,  $p = 1 \text{ e-}61$ ). Thus, we fitted a Bayesian hierarchical latent-trait MPT model (Klauer, 2010) for each age group, instead of fitting a standard MPT model to aggregated data. All estimated parameters had a Gelman-Rubin statistic close to one ( $R^2 < 1.05$ ), indicating that the model had converged. In addition, as shown in Figure 5, the model fitted the pattern of data

for each group reasonably well. To infer differences between experimental conditions, we inspected the 95% Bayesian-credible interval (CI) of the sampled parameter differences between conditions. More precisely, a 95% CI that does not contain 0 would suggest a difference between conditions for the corresponding parameter estimates<sup>14</sup>.

We first report on the item memory parameter ( $D_{ij}$ ). The 95% CI of the estimated mean difference between refreshed and repeated conditions contained 0 for both age groups and for targets from both semantically related and unrelated pairs (see Table 3). These results suggest a lack of refreshing effect. Conversely, the 95% CI of the estimated mean difference between the related and unrelated conditions excluded 0, regardless of age or whether the target was refreshed or repeated. Thus, both younger and older adults were more likely to detect a target that was studied in a related pair than an unrelated pair. Finally, regarding age differences on item memory, the 95% CI of the estimated mean difference between younger and older adults did not contain 0 in the Related-Repeat and Unrelated-Repeat conditions, but included 0 in the Related and Unrelated-Refresh conditions. Younger adults thus had a credibly higher probability of recognizing the targets that were repeated compared to older adults.

We also considered source memory, in particular, the joint recollection of semantic (i.e., the relatedness of the pair) and non-semantic (i.e., the location of the target) source-specific information (parameter  $d_{ij}$ ). For both age groups the 95% CI of the estimated mean difference between the refreshed and repeated conditions contained 0 (see Table 4). This suggests that refreshing did not benefit the joint source memory for either age group.

---

<sup>14</sup> In the pre-registration of this study, we planned to inspect the 95% CI of the posterior mean group-level estimates and to base our inference on the presence of an overlap of the CI. However, other recent studies using MPT modelling approach used the 95% CI of the mean difference (e.g., Filevich, Horn, & Kühn, 2017; Schaper, Kuhlmann, & Bayen, 2018). Thus, we choose to use the same hypothesis testing method than in the current literature. It should be noted that these two different methods led to the same conclusions except in three occasions. More precisely, for the parameter  $D_{ij}$  in the Related-Repeat condition and parameter  $e_{ij}^{Dim2}$  in the Repeat and Refresh conditions, there was an overlap between the 95% CI of the posterior mean group-level estimates between younger and older adults, suggesting no age difference, although the 95% CI of the estimated mean difference between both age groups excluded 0, suggesting an age difference.

Interestingly, there was also no credible age differences in the parameter for either the repeat or refresh conditions, as the respective 95% CI of the estimated mean difference between the younger and older adults both contained 0.

Finally, we also considered source memory as the specific recollection of the semantic information (i.e., relatedness,  $e_{ij}^{Dim1}$ ) and of the non-semantic information (i.e., location,  $e_{ij}^{Dim2}$ ). First, for semantic source memory ( $e_{ij}^{Dim1}$ ), inspection of the 95% CI of the estimated mean difference revealed the same pattern as reported previously for the joint source memory parameter ( $d_{ij}$ ). More precisely, there were no credible differences between the repeat and refresh conditions for either age group. There was also no credible difference between younger and older adults for either repeat and refresh conditions, suggesting that their semantic source memory was essentially equivalent. Finally, for non-semantic source memory ( $e_{ij}^{Dim2}$ ), the 95% CI of the estimated mean difference between the repeat and refresh conditions included 0 for both age groups. Thus, as was the case for joint source memory ( $d_{ij}$ ), there was no evidence for a refreshing benefit in either age group. For both the repeat and refresh conditions, the 95% CI of the estimated mean difference between younger and older adults did not include 0. Thus, younger adults had a credibly higher probability of recollecting the location of the targets than older adults, regardless of whether the targets were previously repeated or refreshed.

### Discussion

The present study investigated whether age differences in refreshing, or the act of reflectively directing attention to information in WM (Johnson, 1992; Camos et al., 2018 for a review), contribute to the well-documented age-related deficit in source memory (Mitchell & Johnson, 2009; Naveh-Benjamin, 2000), especially for novel content-context bindings that have no existing representation in SM. The premise for such an important role of refreshing originates from theoretical proposals that refreshing promotes content-context bindings

(Loaiza & McCabe, 2012; Mitchell et al., 2000; Souza et al., 2015), but may have little impact on extant SM representations (Loaiza & Camos, 2018; Loaiza et al., 2015). Given work suggesting an age-related deficit in refreshing (Duarte et al., 2013; Jarjat et al., 2018; Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Yi & Friedman, 2014) but preserved retention of semantically meaningful information (Mohanty et al., 2016; Naveh-Benjamin, 2000), this study has attempted to make the connection between refreshing and different types of source monitoring more explicit than has been considered in past work. As such, the study represents an important step in delineating the impact of aging and refreshing for different types of source memory.

The current study provides two novel results on this important issue: (1) there was no evidence that a refreshing deficit in older age contributes to age-related impairments in retaining non-semantic source information, and (2) a strong asymmetry in the effects of age for different types of source information: unlike the typical profound deficits for non-semantic source memory, older adults are just as capable as younger adults to retrieve semantically meaningful source information. We discuss each of these findings in the next respective sections.

### **Refreshing and Source Memory in Older Age**

In contrast to the refreshing deficit hypothesis and our primary predictions, our results suggested that refreshing does not impact joint or non-semantic source memory for either age group. In a source memory task that crossed semantic (i.e., relatedness) and non-semantic (i.e., location) dimensions, we found that there was no specific benefit of refreshing over repeating memoranda for non-semantic or joint source memory in either younger or older adults. Older adults were also not slower to refresh memoranda aloud compared to younger adults, as has been suggested in prior work (e.g., Johnson et al., 2002). These results contrast with previous work supporting the notion that a refreshing deficit in older age contributes to

age-related impairments in source memory (Mitchell et al., 2000) and the notion that this refreshing deficit may dissociate between semantic and non-semantic source memory (Loaiza et al., 2015). The results are more in line with recent work suggesting that older adults may not have a refreshing deficit (e.g., Loaiza & Souza, 2018; Souza, 2016), and indeed, that refreshing may not contribute at all to memory performance for either age group (Bartsch et al., 2018).

How can these findings be reconciled with the existing studies suggesting an age-related refreshing deficit for episodic memory more generally (Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015)? One possibility is the way in which the current study implemented the refreshing manipulation. Although the current paradigm was modeled after the studies that directly instruct participants to refresh memoranda (e.g., Johnson et al., 2004, 2002), it is possible that only refreshing one item at a time confers a performance advantage over repeating whereas no such advantages are evident when refreshing one of two or more memoranda (Grillon, Johnson, Krebs, & Huron, 2008). Although it is not immediately clear why this should be the case, the current study is similar in procedure to Bartsch and colleagues (2018) in the sense that participants refreshed or repeated a subset of the presented memoranda. As was the case here, Bartsch and colleagues (2018) did not show an advantage of refreshing over repeating to memory performance for either younger or older adults. Furthermore, in the current study, participants were required to make a judgment about the pair relatedness after the memoranda had already disappeared from the screen. Thus, it may be that refreshing the memoranda was required to make the judgment, thus diluting the effect of the initial instruction before the judgment to repeat or refresh the memoranda.

Perhaps the most theoretically meaningful possibility is the recent notion that different subcomponents of refreshing may be relatively more or less impaired in older age (Loaiza & Souza, 2018, in press). Specifically, recent work has investigated whether a deficit in

attentional focusing is evident in older age, such that older adults may be less capable than younger adults to use retro-cues that direct attention to to-be-tested memoranda after they are no longer perceptually available (e.g., Gilchrist, Duarte, & Verhaeghen, 2016; Loaiza & Souza, 2018; Souza, 2016; Strunk et al., 2018). A smaller or null advantage of retro-cues to performance in older age than is typical in younger adults would be congruent with the refreshing deficit hypothesis suggesting that older adults are less efficient to focus their attention on recently presented information. In their recent studies, Loaiza and Souza (2018, in press) investigated whether any such refreshing deficit could manifest beyond a relative inability to focus attention to include further subcomponents of refreshing, such as switching attention between active memoranda (Loaiza and Souza, 2018) and preserving the benefits of focused attention even after distraction (Loaiza and Souza, in press). The results of these studies suggested that older adults show a similar retro-cue benefit to younger adults when the task requires simply focusing attention and switching attention to other relevant memoranda, whereas the retro-cue benefit is disproportionately susceptible to distractor interference in older age. This indicates that specific subcomponents of refreshing (i.e., preserving the benefits of refreshing against distraction) are deficient, whereas other subcomponents (i.e., focusing and switching attention) are relatively intact in older age. Such findings are relevant here because the refreshing manipulation in the current study only required younger and older adults to focus their attention, and thus it is possible that no refreshing deficit was evident given that this particular subcomponent of refreshing may be relatively intact in older age. Future work could explore whether a parallel finding is evident in this paradigm.

So far, these enumerated possibilities for the lack of refreshing effect in the current study center on the manipulation of refreshing itself. Still another possibility is that the nature of the non-semantic source information, i.e., the original location of the memoranda on the screen, reduced the possibility to observe an impact of refreshing. Previous work has



suggested that non-semantic sources such as the location of the memoranda or the list in which they are presented are rather immutable during encoding (Malmberg & Shiffrin, 2005). According to the one-shot context hypothesis (Malmberg & Shiffrin, 2005), there is a relatively fixed amount of context/source storage that is not very susceptible to factors that might otherwise strengthen memory representations, such as a deep level of processing, increased encoding time or, perhaps in this current case, instructions to refresh information. Thus, it could be the case that merely refreshing memoranda may not result in a dramatic change in non-semantic source memory simply because such information is encoded in a relatively fixed way.

In summary, the null age deficit of refreshing and null impact of refreshing on any type of source memory, but especially non-semantic source memory, conflicted with our predictions and the refreshing deficit hypothesis more generally. Notwithstanding, there are potential alternative explanations that must be explored in future research in order to reinforce these findings. The most theoretically significant include whether the results are similar in conditions wherein participants must retain the effects of refreshing after their attention has become distracted (Loaiza & Souza, in press) and whether refreshing may impact other non-semantic source information other than spatial-temporal contexts (Malmberg & Shiffrin, 2005).

### **An Age Dissociation of Semantic and Non-Semantic Source Memory**

A striking finding from the present study is that of the strong asymmetry in terms of how age impacted the retention of different source information, irrespective of the null impact of refreshing discussed previously. Whereas there was evidence for an age difference in source memory for non-semantic information (i.e., the original locations of the memoranda), we found no evidence for age difference in source memory for semantic information (i.e., the relatedness of the memoranda). This finding suggests that the nature of the association is of

most importance to EM performance in older age, such that recollective experience is unimpaired for semantically meaningful information.

This finding is in line with other studies showing that age differences are reduced when source memory relies on established prior knowledge and meaningful information (e.g., Castel, 2005; Mohanty et al., 2016; Naveh-Benjamin, 2000). The current study extends this existing literature by suggesting that age differences in source memory depend on the type of source information tested. For instance, memory for emotional source information seems to be unaffected by age (May, Rahhal, Berry, & Leighton, 2005; Rahhal, May, & Hasher, 2002; see Kensinger, 2009, for a review;). In two experiments, May and colleagues (2005) found that younger adults outperformed older adults when recollecting non-emotional episodic association (e.g., locations, colors of items) but that age differences were eliminated if the source information included emotional information (safety of items). Similar to this study, Srokova and Loaiza (2018) demonstrated that adapting the semantic meaningfulness of presented word pairs based on participants' ongoing performance improved the retention of the bindings between the pairs to such an extent that older adults' performance matched that of younger adults. Critically, older adults required a greater proportion of the pairs to be semantically related in order to achieve matched binding memory to younger adults, thus emphasizing the notion that older adults are especially sensitive to semantically meaningful information that is rooted in their prior knowledge (Umanath & Marsh, 2014).

Interestingly, there was also no age difference in the joint source memory parameters. It should be noted, however, that the posterior-mean estimates for all the joint source memory parameters were very low overall, and thus it is possible that any potential age deficits or indeed impact of refreshing are obfuscated by floor-level estimates. Thus, we refrain from interpreting the findings regarding joint source memory, as it appears that independent source memory was much more likely overall in the current study.

In summary, the second critical finding of the current study paints a very different picture than what is otherwise typical of aging and source memory studies. Unlike the commonly demonstrated profound deficit for non-semantic source information, source memory for semantically meaningful information, such as the relatedness of the original pair, appears to be much more intact in normal aging.

### **Item Memory in Older Age**

Although the main predictions and findings of interest concerned the impact of age and refreshing on semantic and non-semantic source information, we also had several pre-registered predictions regarding item memory. First, we expected that the effect of refreshing should be exclusive to non-semantic source memory in younger adults, and thus refreshing should not affect item memory for either age group. On the other hand, we did expect semantic relatedness to promote item memory similarly in both age groups and regardless of refreshing. The results confirmed these predictions regarding item memory: item memory was relatively similar regardless of refreshing or repeating the memoranda, and was indeed similar even between age groups except in the unrelated-repeat condition. This finding supports previous work suggesting that the most profound age deficits in EM are typically more specific to source memory than item memory (e.g., Spencer and Raz, 1995; Old & Naveh-Benjamin, 2008). It is sometimes the case that, when applying MPT models as here, item memory parameters are lower in older than younger adults (Boywitt et al., 2012; Kuhlmann & Boywitt, 2016). However, in this study, item memory deficits were much less evident, which is generally in line with the age dissociation of item and source memory. The fact that item memory was greater for semantically related compared to unrelated information overall is also line with typical findings that meaningfulness improves encoding of information regardless of age (e.g., Mohanty et al., 2016).

### **Conclusions**

In summary, the current study provides novel evidence that age differences in item and source memory were much smaller, even null, when the memoranda were semantically meaningful, and regardless of whether they were refreshed in WM or not. Although the results contradict the refreshing deficit hypothesis, they provide insight into understanding the nature of age-related deficits in source memory, such that novel, episodic-based associations that have no basis in existing SM are likely to exhibit typical deficits, whereas associations that are strongly represented in SM do not indicate any such decline. Such findings imply that, rather than any deficit to refresh memoranda in WM, older adults' EM performance is increasingly sensitive to the scaffolding their relatively superior SM can provide.

Table 1. Sample characteristics.

Measure	Younger Adults	Older Adults	Age Comparison
Final <i>N</i> ( <i>n</i> exclusions)	30 (3)	30 (8)	-
Age in years – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	20.40 (3.09)	68.47 (5.15)	-
Sex (male/female)	9/21	9/21	BF <sub>10</sub> = 0.29
MMSE – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	-	29.10 (1.08)	-
Years of education – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	15.12 (2.14)	14.83 (3.89)	BF <sub>10</sub> = 0.22
Shipley vocabulary (proportion correct) – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	0.75 (0.09)	0.90 (0.06)	BF <sub>10</sub> = 1.40e+16
Number of medications – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	0.47 (0.81)	1.83 (2.21)	BF <sub>10</sub> = 2204
Rated current health (1 - 5, 1 = very good) – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	1.83 (0.74)	1.83 (0.74)	BF <sub>10</sub> = 0.08
Rated general health (1 - 5, 1 = very good) – <i>M</i> ( <i>SD</i> )	1.80 (0.66)	1.83 (0.69)	BF <sub>10</sub> = 0.05
Rated restrictions of health (1 - 4, 1 = no restrictions)	1.30 (0.53)	1.47 (0.81)	BF <sub>10</sub> = 0.05

Note. MMSE = mini mental status examination; BF = Bayes factor.

*Table 2.* Mean proportion of targets (Hits) and distractors (False alarms) judged as old for both age groups. Standard deviations are in parentheses.

Measure	Younger Adults	Older Adults
<b>Hits</b>		
Refresh	0.78 (0.05)	0.70 (0.06)
Repeat	0.78 (0.05)	0.66 (0.06)
<b>False alarms</b>	0.04 (0.05)	0.05 (0.06)

Table 3. Posterior-mean estimates for item memory parameter ( $D_{ij}$ ) and 95% Bayesian credible intervals as a function of age group and experimental conditions.

Condition	Age group				Age effect	
	Younger adults		Older adults		Mean	95%CI
	Mean	95%CI	Mean	95%CI		
Related-Repeat	.84	[.79, .88]	.75	[.68, .81]	-.09	[-.17, -.01]
Related-Refresh	.85	[.81, .89]	.79	[.73, .85]	-.05	[-.13, .02]
<i>Refreshing effect</i>	.01	[-.03, .06]	.04	[-.02, .10]		
Unrelated-Repeat	.69	[.63, .75]	.51	[.42, .59]	-.18	[-.29, -.08]
Unrelated-Refresh	.65	[.56, .73]	.54	[.46, .62]	-.11	[-.22, .01]
<i>Refreshing effect</i>	-.04	[-.12, .03]	.03	[-.04, .10]		
<i>Relatedness effect - Repeat</i>	.15	[.09, .21]	.24	[.18, .31]		
<i>Relatedness effect - Refresh</i>	.20	[.13, .28]	.25	[.19, .32]		

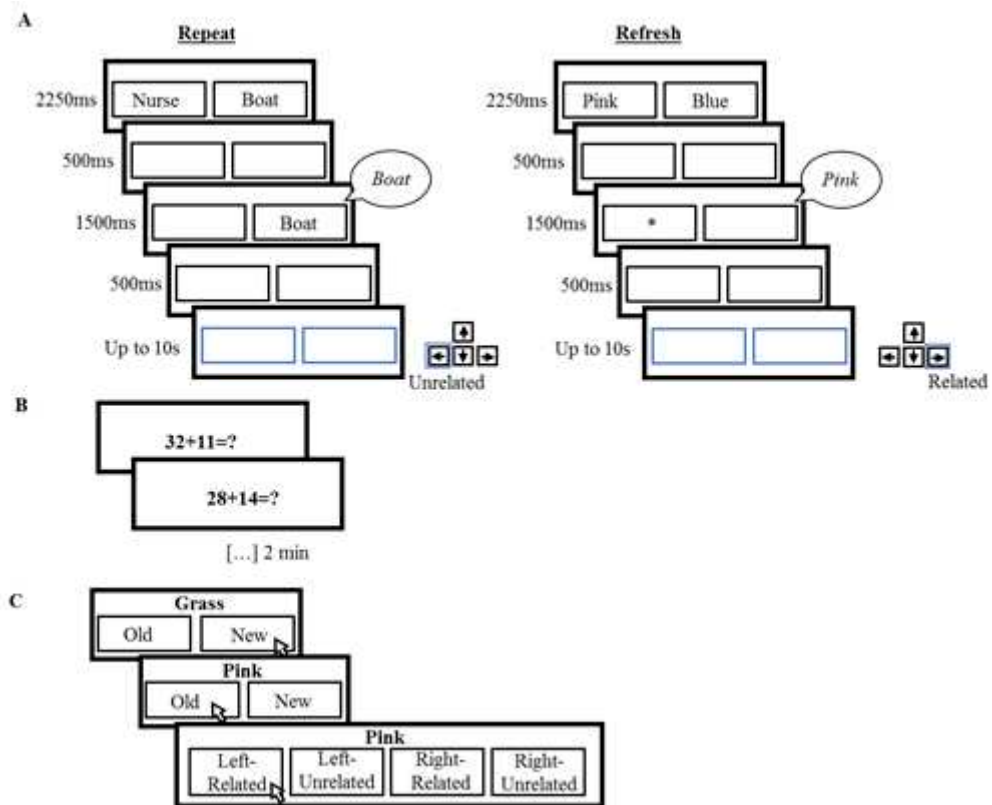
Table 4. Posterior-mean estimates for source recollection parameters ( $d_{ij}$ ,  $e_{ij}^{Dim1}$ ,  $e_{ij}^{Dim2}$ ) and 95% Bayesian credible intervals as a function of experimental conditions.

Condition	Age group				Age effect	
	Younger adults		Older adults		Mean	95%CI
	Mean	95%CI	Mean	95%CI		
<i><math>d_{ij}</math></i>						
Repeat	.21	[.03, .39]	.05	[.01, .14]	-.16	[-.35, .04]
Refresh	.09	[.01, .26]	.05	[.01, .16]	-.04	[-.23, .11]
<i>Refreshing effect</i>	-.12	[-.33, .13]	<.01	[-.11, .13]		
<i><math>e_{ij}^{Dim1}</math></i>						
Repeat	.69	[.59, .78]	.67	[.59, .74]	-.02	[-.14, .10]
Refresh	.75	[.68, .80]	.67	[.59, .74]	-.08	[-.17, .02]
<i>Refreshing effect</i>	.06	[-.05, .18]	<.01	[-.09, .10]		
<i><math>e_{ij}^{Dim2}</math></i>						
Repeat	.41	[.21, .58]	.09	[.01, .22]	-.32	[-.52, -.09]
Refresh	.55	[.39, .67]	.24	[.06, .39]	-.31	[-.52, -.11]
<i>Refreshing effect</i>	.14	[-.06, .35]	.15	[-.05, .32]		





B "Unrelated". Attribute  $j \hat{I}(X; Y)$  on the second dimension (Location), X denoting "Right" and Y "Left".  $D_{ij}$  = probability of recognizing studied items from the sources  $i$  and  $j$ ;  $D_{New}$  = probability of recognizing distractor items as new;  $d_{ij}$  = probability of joint retrieval of source  $i$  and source  $j$ ;  $e_{ij}^{Dim1}$  = probability of independent retrieval of source  $i$ ;  $e_{ij}^{Dim2}$  = probability of independent retrieval of source  $j$ ;  $a^{Dim1}$  = probability of guessing "A" on the first dimension for recognized studied items;  $a_{|A}^{Dim2}$ ,  $a_{|B}^{Dim2}$  = probability of guessing "X" on the second dimension for recognized studied items assigned to A or B, respectively;  $b$  = probability of guessing "old";  $g^{Dim1}$  = probability of guessing "A" on the first dimension for unrecognized studied or distractor items;  $g_{|A}^{Dim2}$ ,  $g_{|B}^{Dim2}$  = probability of guessing "X" on the second dimension for unrecognized studied or distractor items assigned to A or B, respectively.



*Figure 2.* Illustration of the source memory task. Panel A illustrates one trial of the relatedness judgement task in each of the instruction condition (repeat, refresh). Panel B illustrates the distracting task that followed each block of trials of the relatedness judgement task. Finally, panel C illustrates the source memory task.

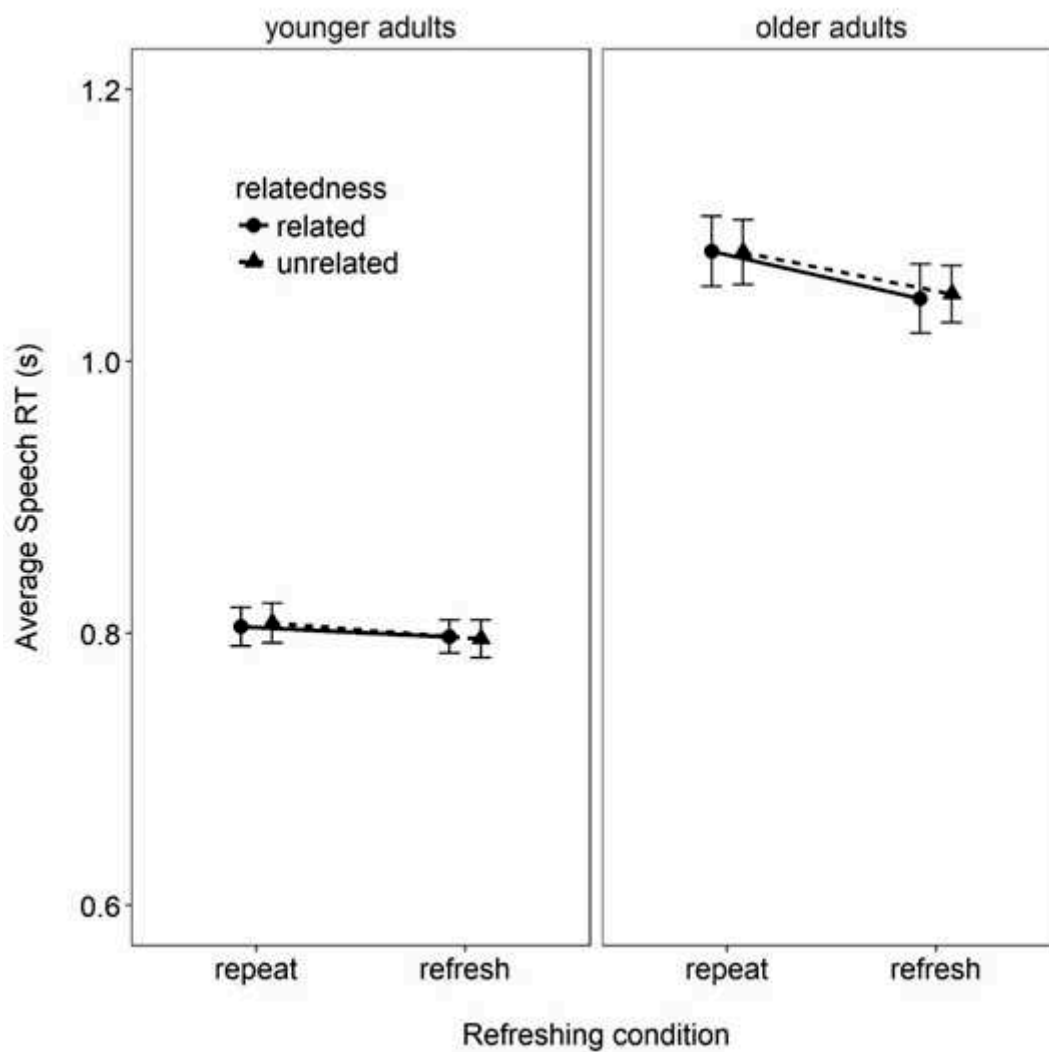


Figure 3. Measured mean speech reaction times in the relatedness judgement task as a function of Age, Relatedness and Instruction.

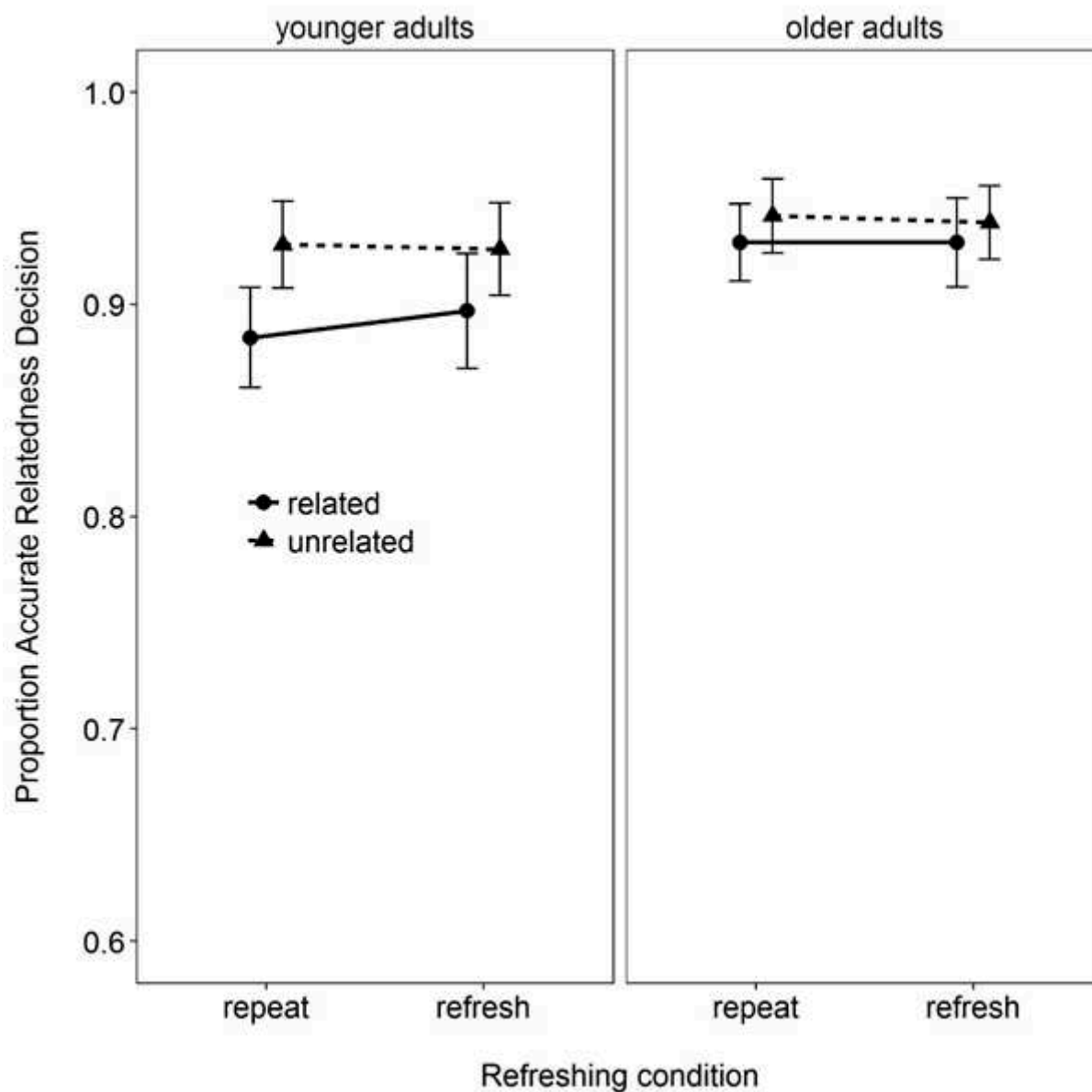


Figure 4. Measured mean relatedness judgment accuracy as a function of Age, Relatedness and Instruction.

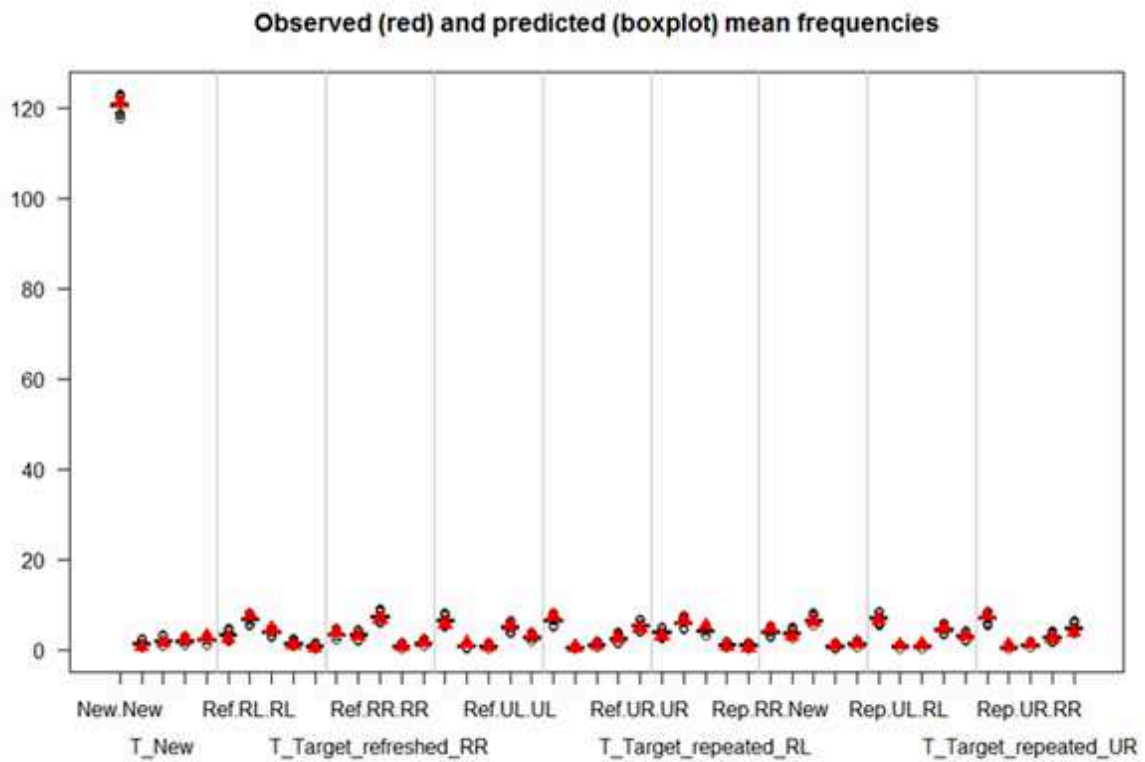
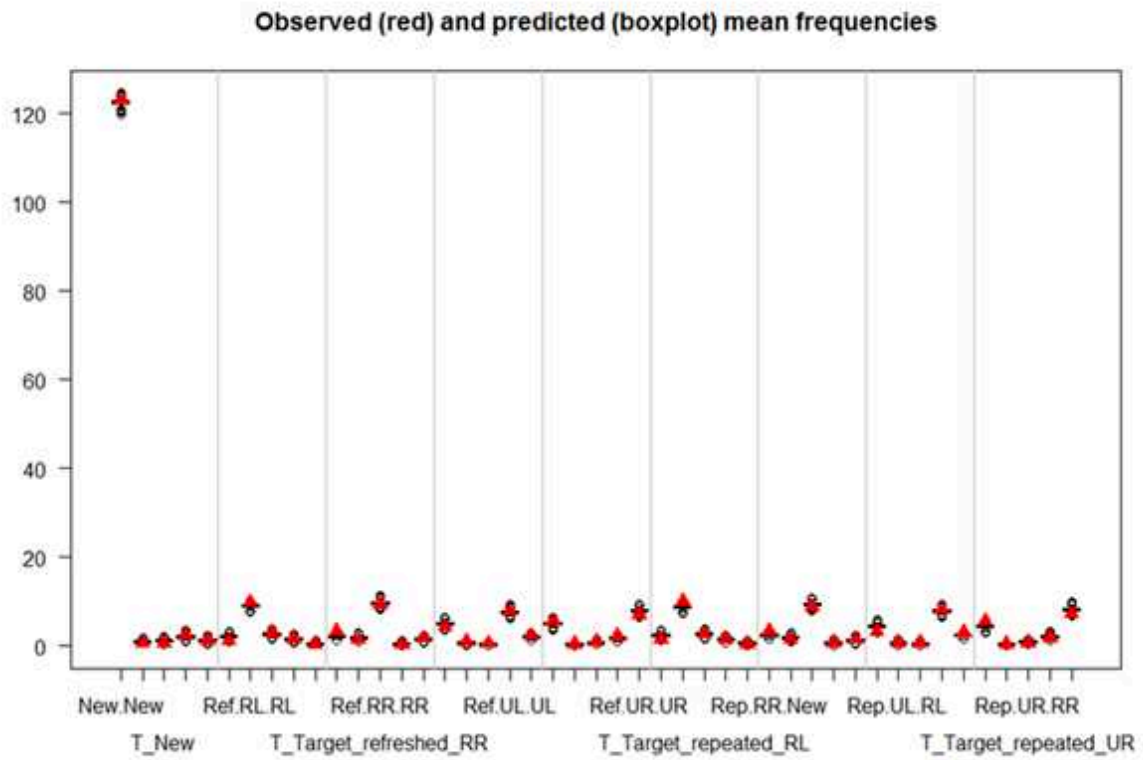


Figure 5. Model fit of the MPT model for multidimensional joint source memory for younger (upper figure) and older adults (lower figure) with the observed (red triangles) and predicted mean frequencies (grey boxplots) for each response category.



Dans cette étude, contrairement à nos prédictions, nous avons observé que le rafraîchissement attentionnel ne favorise pas plus la création d'associations entre les items et leur source que la simple répétition, et ce, que les éléments de la source dépendent ou non de la mémoire sémantique. De plus, ces résultats ne sont pas modulés par le groupe d'âge des participants. Ces résultats semblent donc contraires à l'hypothèse selon laquelle un déficit de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées contribue au déclin de mémoire de source observé dans le vieillissement (Mitchell et al., 2000) et à l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement influence différemment la mémoire de source sémantique et non sémantique (Loaiza et al., 2015).

Néanmoins, de potentielles explications alternatives écartent une conclusion ferme quant à nos résultats, nécessitant ainsi de mener de nouvelles recherches. Par exemple, concernant la manipulation du rafraîchissement attentionnel, il est important de noter que d'autres études ont également échouées à mettre en évidence un effet du rafraîchissement attentionnel lorsque le rafraîchissement est utilisé pour maintenir un item présenté parmi un ensemble d'items (Bartsch et al., 2018; Grillon et al., 2008). De plus, dans notre paradigme expérimental, les participants devaient effectuer un jugement sémantique concernant les paires de mots, après leur disparition de l'écran. Il est donc possible que pour répondre à cette tâche, les participants aient dû rafraîchir les items, diminuant ainsi l'effet initial du mécanisme à utiliser sur l'un des deux items. Au regard d'études récentes, il est également possible que notre procédure n'était pas la plus adaptée pour mettre en évidence un déficit de rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées. En effet, les travaux de Loaiza et Souza (2018, sous presse) suggèrent que le rafraîchissement attentionnel peut être décomposé en différents sous-processus qui seraient influencés différemment dans le vieillissement. Plus précisément, au moyen d'un paradigme de retro-cue (voir Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation, Chapitre 2), les auteures ont observé que la capacité des personnes âgées à



orienter leur attention sur une information à rafraîchir, et leur capacité à réorienter leur attention sur un autre item étaient relativement préservée (Loaiza & Souza, 2018), mais que les personnes âgées étaient disproportionnellement déficitaires pour conserver le bénéfice du rafraîchissement après une distraction (Loaiza & Souza, sous presse). Le fait que notre étude ne mettait pas en jeu cette capacité à conserver le bénéfice du rafraîchissement après une distraction, altérée dans le vieillissement, pourrait donc expliquer que nous n'ayons pas observé d'effet de l'âge sur le rafraîchissement. Enfin, une autre explication pourrait provenir du choix de l'élément non sémantique de la source, à savoir, la localisation de l'item sur l'écran. En effet, l'étude de Malmberg et Shiffrin (2005) suggère que cet élément du contexte est relativement insensible aux effets de la manipulation de la phase d'encodage des informations. L'utilisation d'un élément non-sémantique du contexte différent pourrait donc possiblement permettre de mettre en évidence un effet du rafraîchissement.

## Chapitre 5. Discussion générale

---

La littérature présentée dans les trois premiers chapitres de cette thèse a permis de mettre en évidence les différentes conceptions théoriques sur lesquelles se sont appuyés les travaux réalisés dans cette thèse. Premièrement, nous avons présenté la littérature suggérant que la MDT et la MLT sont deux systèmes de mémoire distincts, mais entretenant des relations bi-directionnelles (Chapitre 1). En ce sens, nous avons posé les bases théoriques en accord avec la proposition selon laquelle le fonctionnement des processus de maintien des informations de la MDT peut être étudié au travers de leurs effets sur les performances de mémorisation à court et à plus long terme. Deuxièmement, nous avons présenté les mécanismes de répétition subvocale et de rafraîchissement attentionnel (Chapitre 2), les deux mécanismes de maintien des informations verbales en MDT proposés dans la littérature. L'article en préparation (Fanuel\*, Jarjat\* et al.), inclus dans ce même chapitre, présente une revue de la littérature sur le rôle de l'attention dans le maintien des informations dans différents modèles de MDT, une description plus fine du rafraîchissement attentionnel, et des études suggérant l'implication de ce mécanisme dans les performances de mémorisation à court (e.g., Barrouillet & Camos, 2015; Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011) et à long terme (e.g., Camos & Portrat, 2015; Johnson et al., 2002; McCabe, 2008), en accord avec la position théorique exposée dans le Chapitre 1. Enfin, nous avons présenté la littérature portant sur le fonctionnement de la MDT dans le vieillissement (Chapitre 3). Dans ce dernier chapitre théorique, nous avons pu mettre en évidence que, comme pour de nombreuses autres fonctions cognitives, le fonctionnement de la MDT chez les personnes âgées est principalement caractérisé par une diminution de la vitesse de traitement des informations, impliquant ainsi un ralentissement des différents

processus mis en jeu dans son fonctionnement. Cependant, nous avons également vu que ce facteur ne permet pas de rendre compte totalement du déclin de la MDT observé avec l'avancée en âge, suggérant, par conséquent, l'implication d'autres facteurs explicatifs du vieillissement de la MDT. À cet égard, l'hypothèse d'une atteinte spécifique des processus attentionnels semble être privilégiée dans la littérature.

Le rafraîchissement attentionnel étant un mécanisme de maintien des informations reposant sur l'attention (Chapitre 2), les travaux présentés dans le Chapitre 3 nous ont amené à formuler l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel serait spécifiquement altéré dans le vieillissement et contribuerait, en partie, au déclin du fonctionnement de la MDT observé chez les personnes âgées. Cette hypothèse n'est pas totalement nouvelle, et différentes études centrées sur le domaine verbal ont été publiées dans la littérature. Nous avons cependant relevé que les résultats de ces travaux ne sont pas consistants, selon que les études testaient les effets du rafraîchissement sur la mémorisation à court (Baumans et al., 2012) ou à long terme (Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015). Avec l'objectif de tester l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, les travaux expérimentaux présentés dans cette thèse cherchaient à répondre à la question suivante : *Le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel pour le maintien d'informations verbales est-il modulé par l'âge ?*

## **1. Synthèse des résultats expérimentaux**

En accord avec la littérature suggérant un effet bénéfique de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel à court et à plus long terme, nous avons développé deux lignes de recherches correspondant à ces deux composantes mnésiques. Dans les deux sections suivantes, nous reviendrons brièvement sur les résultats principaux de ces différentes études, en commençant

par la question de l'effet du rafraîchissement attentionnel sur le maintien à court terme des informations verbales chez des personnes jeunes et âgées.

### ***1.1. Mémorisation à court terme, rafraîchissement attentionnel et vieillissement***

Afin d'évaluer si l'effet du rafraîchissement attentionnel sur la mémorisation à court terme d'informations verbales est modulé par l'âge, nous nous sommes appuyé sur le modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2001, 2015; Barrouillet et al., 2004) et sa conception du CC d'une tâche d'empan complexe. Dans le cadre de ce modèle, de nombreuses études ont mis en évidence le lien existant entre le CC et les performances de mémorisation dans des tâches d'empan complexe (e.g., Barrouillet & Camos, 2015; Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011, pour des revues). Plus précisément, ces études ont montré qu'à mesure que le CC diminue, c'est-à-dire à mesure que la proportion de capture attentionnelle de l'activité de distraction diminue et que la part de temps restant pour utiliser le rafraîchissement attentionnel augmente, les performances de mémorisation augmentent. Cependant, sous l'hypothèse d'une altération du rafraîchissement attentionnel lié au vieillissement, les personnes âgées devraient tirer moins bénéfice de l'augmentation de la proportion de temps pouvant être allouée au maintien des informations. Par conséquent, dans une tâche d'empan complexe, la différence de performance entre une condition à fort et à faible CC devrait être plus faible chez des participants âgés que chez des participants jeunes. Autrement dit, sous l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel lié à l'âge, il devrait être possible d'observer une interaction entre le CC et l'âge.

Comme nous l'avons noté, à notre connaissance, une seule étude s'est intéressée à tester l'effet du CC chez des personnes âgées (Baumans et al., 2012). Contrairement à

l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement lié à l'âge, les auteurs ont observé qu'une même large variation du CC entraînait un effet similaire chez des participants jeunes et âgés (Baumans et al., 2012, Expérience 2). Cependant, dans cette étude, les participants réalisaient les activités de traitement sans articulation concurrente, leur permettant ainsi d'utiliser le mécanisme de répétition subvocale plutôt que le rafraîchissement attentionnel. Ainsi, les résultats observés par Baumans et collègues (2012) ne semblent pas pouvoir être rigoureusement interprétés au regard de l'hypothèse du déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement. De ce fait, aucune étude, à notre connaissance, ne présentait clairement des données suggérant que les personnes âgées utilisent le rafraîchissement attentionnel dans des tâches d'empan complexe. Inspirés des travaux de Camos et Barrouillet (2011), nous avons testé, dans l'Étude 1, l'hypothèse d'un maintien actif et attentionnel des informations verbales par les personnes âgées dans des tâches d'empan complexe. Pour cela, nous avons fait varier orthogonalement le temps de rétention des informations, le CC de la tâche ainsi que la possibilité d'utiliser la répétition subvocale. Les résultats de cette étude ont mis en évidence que comme pour les participants jeunes, les performances de mémorisation des participants âgés n'étaient pas significativement impactées par l'augmentation de la durée de rétention des informations, et ce, alors même que l'utilisation de la répétition subvocale était empêchée. Ainsi, les résultats de cette étude suggèrent que les personnes âgées ont utilisé le rafraîchissement attentionnel pour maintenir les informations dans une tâche d'empan complexe. Cependant, nous n'avons pas observé d'effet significatif du CC dans l'Étude 1. Nous avons donc mené l'Étude 2, dans laquelle nous avons utilisé une procédure similaire à l'Étude 1, excepté l'activité de traitement de la tâche d'empan complexe, que nous avons modifiée. Conformément à nos hypothèses et à la littérature, en utilisant une activité nécessitant plus de contrôle attentionnel, nous avons observé l'effet classique du CC dans l'Étude 2.

Sur la base des résultats de l'Étude 1, suggérant que les personnes âgées utilisent effectivement le rafraîchissement attentionnel dans des tâches d'empan complexe, nous avons mené l'Étude 3. Dans cette étude, des participants jeunes et âgés ont à nouveau réalisé une tâche d'empan complexe. Cependant, nous avons utilisé une procédure différente de celle des Études 1 et 2, afin de contrôler la diminution probable de la vitesse de traitement chez les participants âgés (Salthouse, 1996). En effet, dans une procédure où des participants jeunes et âgés réalisent la tâche selon les mêmes paramètres temporels, les participants âgés, du fait du ralentissement généralement observé au cours du vieillissement, sont sans doute testés dans des conditions où le CC est plus élevé que les participants jeunes. Par conséquent, dans l'Étude 3, nous avons mis au point une procédure dont l'objectif était de favoriser l'observation de l'effet testé et de son interprétation en termes de rafraîchissement attentionnel. Plus précisément, nous avons contrôlé expérimentalement l'utilisation de la répétition subvocale, les différences inter-individuelles d'empan à court terme et les différences inter-individuelles de vitesse de traitement des informations. Contrairement aux résultats de Baumans et collaborateurs (2012), nous avons observé que l'effet du CC sur les performances de mémorisation était modulé par le groupe d'âge des participants. Plus précisément, conformément à l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, nous avons observé que les participants âgés étaient moins sensibles que les participants jeunes à la variation du CC de la tâche. Cependant, avant que cette étude soit acceptée pour publication dans *The Journals of Gerontology, Series B: Psychological Sciences and Social Sciences* (Jarjat, Portrat, et al., 2018), un relecteur a pointé que dans notre paradigme, il n'était pas exclu que les participants aient utilisé la répétition subvocale plutôt que le rafraîchissement. Nous avons donc inclus les résultats préliminaires de l'Étude 4, dans laquelle nous avons contrôlé plus finement l'utilisation de la répétition subvocale. Plus spécifiquement, alors que dans l'Étude 3 nous avons contraint l'utilisation de la répétition

subvocale en demandant aux participants de répondre à l'oral à l'activité de traitement de la tâche, dans l'Étude 4, les participants devaient articuler continuellement la syllabe "ba" tout au long de la procédure expérimentale, excepté lorsque les items à mémoriser apparaissaient. Contrairement à l'interprétation des résultats de l'Étude 3 en termes d'utilisation de la répétition subvocale, les résultats de l'Étude 4 ont montré que les performances étaient significativement différentes entre les adultes jeunes et âgés, alors même que la répétition subvocale était rendue théoriquement impossible à utiliser. Prises ensemble, ces deux études (Jarjat, Portrat, et al., 2018) suggèrent donc que, conformément à l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, les personnes âgées sont moins sensibles à la variation du CC que de jeunes adultes.

### ***1.2. Mémorisation à long terme, rafraîchissement attentionnel et vieillissement***

Pour tester l'hypothèse selon laquelle la variation du nombre de distracteurs (e.g., Loaiza & McCabe, 2013; McCabe, 2008) et la variation du CC (Camos & Portrat, 2015) sont à l'origine de la manipulation d'un même mécanisme, à savoir, le rafraîchissement attentionnel, lequel favorise la mémorisation des informations à long terme, nous avons mené l'Étude 5. D'une part, les travaux de McCabe et collègues (Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015; McCabe, 2008) ont mis en évidence que l'augmentation du nombre de distracteurs apparaissant après la présentation de chaque item à mémoriser est associée à une meilleure mémorisation à long terme des informations. Selon ces auteurs, qui considèrent que la MDT est la partie activée de la MLT (e.g., Cowan, 1988, voir Chapitre 1), le rafraîchissement favoriserait la création d'indices de récupération des informations à long terme. La création de ces indices serait dépendante du fait qu'à chaque distracteur, les items en MDT sont déplacés puis replacés hors du focus attentionnel. D'autre part, l'étude de Camos et Portrat (2015) a

montré que le CC, en plus de son lien avec les performances de mémorisation à court terme, a également un effet sur la mémorisation à plus long terme. Selon Barrouillet et Camos (2015), cet effet serait expliqué par le fait qu'à chaque rafraîchissement d'une représentation en MDT, un exemplaire d'une représentation en MLT serait également créé. Plus de temps libre permettant plus de rafraîchissements, la proposition de Barrouillet et Camos implique, par extension, que plus le temps total pendant lequel les représentations en MDT sont sous le contrôle de l'attention, plus le nombre de représentations créé en MLT est important. Par là même, le temps total pendant lequel les représentations en MDT sont sous le contrôle de l'attention améliore les performances de mémorisation à long terme. Les effets du nombre de distracteurs et du CC sur ces performances seraient donc la conséquence d'un facteur sous-jacent commun, le temps libre cumulé permettant l'utilisation du rafraîchissement attentionnel.

Pour tester l'hypothèse d'une interaction entre le nombre de distracteurs et le CC et l'hypothèse selon laquelle les effets de ces facteurs sont sous-tendus par la variation du temps libre cumulé, nous avons manipulé ces deux facteurs dans l'Étude 5, menée auprès de jeunes adultes uniquement. Contrairement à notre première prédiction, les résultats de cette étude (Jarjat, Hoareau, et al., 2018) n'ont pas permis de mettre en évidence une interaction des effets du nombre de distracteurs et du CC sur la mémorisation à long terme. Néanmoins l'analyse plus directe de l'effet du temps libre cumulé a montré, conformément à notre seconde prédiction, que ce facteur influence directement les performances de mémorisation à long terme. De plus, nous avons observé que la relation entre ces deux facteurs n'est pas linéaire, mais logarithmique, ce qui pourrait expliquer que nous n'ayons pas pu observer d'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs (Jarjat, Hoareau, et al., 2018).

Sur la base des résultats de l'Étude 5, nous avons recruté un groupe de personnes âgées afin de tester l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement (Étude 6). Sous cette hypothèse,



nous avons fait la prédiction que les effets du CC, du nombre de distracteurs et du temps libre cumulé sur les performances de mémorisations à long terme seraient modulés par l'âge des participants. Néanmoins, contrairement à nos prédictions, les résultats de l'Étude 6 n'ont mis en évidence aucune interaction entre ces différents facteurs et le groupe d'âge des participants. Rappelons que la procédure utilisée dans l'Étude 6 nous a également permis d'évaluer les effets du CC sur les performances de mémorisation à court terme selon l'âge des participants. En contradiction avec les résultats observés dans l'Étude 3, mais en accord avec les résultats observés sur les performances à long terme dans l'Étude 6, nous n'avons pas observé de modulation de l'effet du CC selon l'âge. Globalement, les résultats observés dans l'Étude 6 sont donc tous contraires à l'hypothèse d'un déficit du rafraîchissement attentionnel lié à l'âge. Nous discuterons plus en détails de l'inconsistance de ces résultats dans la section suivante.

Enfin, dans l'Étude 7, nous avons exploré le vieillissement du rafraîchissement attentionnel au travers de son lien avec la mémoire de source. Dans le cadre de la mémoire de source, les informations manipulées en MDT et récupérées en MLT sont conçues comme des représentations épisodiques complexes, dans le sens où ces informations correspondent à des items présentés dans un contexte particulier. En outre, en plus de son effet sur la prolongation de l'activation des représentations en MDT, certains chercheurs supposent que le rafraîchissement attentionnel favoriserait l'association entre les items et les éléments de leur source/contexte (e.g., Chalfonte & Johnson, 1996; Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & Souza, 2018; Mitchell et al., 2000; Souza & Oberauer, 2017; Souza, Rerko, & Oberauer, 2015). Ainsi, de par son effet sur la création de ces associations, le rafraîchissement attentionnel serait directement lié aux performances dans les tâches de mémoire de source. Dans le cadre du vieillissement, de nombreuses études suggèrent que les personnes âgées sont particulièrement déficitaires dans la réalisation des tâches de mémoire de source (e.g.,

Johnson et al., 1993; Mitchell & Johnson, 2009), déficit qui proviendrait d'une difficulté à associer ensemble différentes caractéristiques formant une représentation épisodique complexe (e.g., Chalfonte & Johnson, 1996; Mitchell & Johnson, 2009; Mitchell et al., 2000; Naveh-Benjamin, 2000). Comme initialement proposé par Johnson et collaborateurs (Johnson et al., 1993; Johnson et al., 2002; Mitchell et al., 2000), un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement pourrait ainsi rendre compte de ce déclin de mémoire de source. Cependant, la littérature suggère que pour tester cette hypothèse, il est nécessaire de tenir compte du domaine des sources envisagées. Plus précisément, l'implication de liens sémantiques entre les items et leur source semble diminuer les déficits de mémoire de source observés chez les personnes âgées (e.g., Mohanty & Naveh-Benjamin, 2018; Mohanty et al., 2016; Naveh-Benjamin, 2000).

Sur la base de ces différents travaux, nous avons construit un paradigme expérimental permettant de tester l'hypothèse selon laquelle le rafraîchissement attentionnel favorise la création d'associations items-source pour des caractéristiques de la source ne relevant pas, ou peu, de la mémoire sémantique. En comparant les performances de participants jeunes et âgés, nous avons également testé l'hypothèse du déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement. Plus précisément, nous avons fait la prédiction que si l'utilisation du rafraîchissement attentionnel améliore les performances de mémoire de source pour les caractéristiques indépendantes de la mémoire sémantique, le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement devrait être plus faible pour les participants âgés comparé à celui des participants jeunes. Les résultats de cette étude, soumise pour publication dans un journal international à comité de lecture, ont montré que contrairement à nos prédictions, le rafraîchissement attentionnel ne semblait pas améliorer les performances de mémoire de source, que les éléments de la source à récupérer soient liés ou non à la mémoire sémantique (Jarjat et al., soumis). Par conséquent, les résultats de cette étude ne permettent pas d'apporter

des évidences empiriques en faveur ou en défaveur de l'hypothèse du déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement.

## **2. L'effet de l'âge sur le maintien des informations verbales en mémoire de travail: les apports du travail de thèse.**

Les études menées lors de ce travail de thèse ont permis, dans une certaine mesure, d'enrichir la littérature portant sur le maintien des informations verbales en MDT. Bien que notre travail ait principalement porté sur le mécanisme de rafraîchissement attentionnel, certains de nos résultats peuvent être interprétés au regard de la question du fonctionnement du mécanisme de répétition subvocale dans le vieillissement. Nous allons donc détailler, dans un premier temps, les apports de notre travail thèse concernant les effets de l'âge sur la répétition subvocale.

### ***2.1. La répétition subvocale dans le vieillissement***

Comme nous l'avons présenté dans le Chapitre 3 (section 2.1), de nombreuses études suggèrent que le maintien des informations verbales, reposant sur l'utilisation de la répétition subvocale, n'est pas altéré dans le vieillissement normal. En effet, ces études ont mis en évidence que les adultes jeunes et âgés sont similairement sensibles aux effets de longueur de mots et de similarité phonologique (Belleville et al., 1996; Péters et al., 2007; Beerten, Van der Linden & El Ahmadi, 1996, cité dans Collette et al., 2007). Les résultats observés dans l'Étude 1 sont donc en accord avec les résultats de ces études, qui semblent corroborer l'hypothèse selon laquelle le fonctionnement de la répétition serait peu, ou pas affecté par le vieillissement. En effet, nous avons observé que l'effet de suppression articulatoire chez des

adultes jeunes et âgés n'était pas significativement différent, répliquant ainsi les résultats de l'Expérience 1 de Loaiza et McCabe (2013), qui, à notre connaissance, était la seule étude s'étant intéressée à cet effet dans le cadre du vieillissement.

Notons que les résultats des Études 3 et 4 (Jarjat, Portrat, et al., 2018) permettent également de rapprocher les résultats de Baumans et collègues de la question du fonctionnement de la répétition subvocale dans le vieillissement. En effet, nos résultats suggèrent que le fait que Baumans et collègues n'aient pas contrôlé l'utilisation de la répétition subvocale dans leur étude est la raison pour laquelle les auteurs n'ont pas observé de modulation selon l'âge de l'effet du CC sur la mémorisation à court terme. Par extension, les résultats de leur étude semblent pouvoir être interprétés en terme d'utilisation de la répétition subvocale plutôt que du rafraîchissement attentionnel. Dans ce cadre, l'absence d'interaction entre CC et âge suggère que les participants âgés ont tiré autant partie que les participants jeunes de l'augmentation de l'opportunité d'utiliser la répétition subvocale lorsque la vitesse de présentation de l'activité de traitement diminuait. Au regard des résultats de nos Études 3 et 4, l'étude de Baumans et collaborateurs (2012) semble donc également suggérer une préservation du système de la boucle phonologique et du mécanisme de répétition subvocale dans le vieillissement (voir cependant Ward & Maylor, 2005).

## ***2.2. Le rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement: vers une réconciliation de la littérature?***

Concernant la question du déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement, les résultats observés dans nos différentes études sont plus équivoques. Lorsque nous avons débuté ce travail de thèse, nous avons noté que la majorité des études ayant exploré l'effet du vieillissement sur le rafraîchissement attentionnel d'informations

verbales portait sur la mémorisation à long terme (e.g., Johnson et al., 2002; Loaiza & McCabe, 2013; Loaiza et al., 2015). Les résultats de ces études ont montré que le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel est plus faible pour les adultes âgées que pour les jeunes adultes, en accord avec l'hypothèse d'un déficit lié à l'âge. À l'inverse, les résultats de la seule recherche qui, à notre connaissance, s'était intéressée à cette question à travers l'étude du bénéfice sur la mémorisation à court terme (Baumans et al., 2012), n'étaient pas conformes à l'hypothèse d'un déficit. Néanmoins, les résultats de nos Études 3 et 4 (Jarjat, Portrat, et al., 2018) semblent indiquer que les résultats observés par Baumans et collaborateurs (2012) sont la conséquence du fait que les auteurs n'ont pas contrôlé l'utilisation de la répétition subvocale dans leur étude. En effet, en introduisant une activité articulatoire concurrente, nous avons observé des résultats conformes à l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel lié à l'âge. En ce sens, les résultats de nos Études 3 et 4 (Jarjat, Portrat, et al., 2018) semblent réconcilier les données contradictoires de cette littérature.

Notons toutefois que cette conclusion serait renforcée par une réplication des résultats obtenus. À cet égard, nous avons débuté une nouvelle étude dont l'acquisition des données est en cours. Dans cette nouvelle étude, nous avons cherché à améliorer le paradigme de l'Étude 3. En effet, dans l'Étude 3, nous avons été contraints d'adapter nos analyses du fait que la différence de CC entre les conditions lente et rapide était plus élevée pour les participants jeunes que pour les âgés. Une des raisons possibles pourrait provenir de la méthode que nous avons employée pour contrôler le CC de la tâche selon les participants. Pour rappel, dans une première phase, nous avons demandé aux participants de réaliser l'activité de traitement isolément. Pour chaque participant, nous avons ensuite utilisé les temps de réponses moyens de cette phase de calibration afin d'adapter les vitesses de la tâche d'empan complexe, dans le but de maintenir constant le CC de la tâche entre les participants. Cependant, à la différence de la première phase, la réalisation de l'activité de traitement lors de la tâche d'empan

complexe est réalisée en parallèle du maintien d'informations. Ainsi, le temps de réponse à l'activité de traitement réalisée isolément ne peut pas correspondre tout à fait au temps de réponse de cette même activité réalisée dans une situation d'empan complexe. Notons également que cette différence entre tâche simple et complexe peut être magnifiée chez les personnes âgées (e.g., Maquestiaux, 2016). Pour éviter ce biais dans l'estimation du temps de capture attentionnelle, l'étude en cours fait intervenir une situation d'empan complexe dans la phase de calibration. Sur la base des temps de réponses moyens à l'activité de traitement réalisé pendant cette phase, nous avons estimé, pour chaque participant, le délai nécessaire pour contrôler le CC des conditions de la phase expérimentale subséquente, correspondant également à une tâche d'empan complexe. Afin de contraindre la possibilité d'utiliser la répétition subvocale, nous avons également demandé aux participants d'articuler à voix haute la syllabe "ba" pendant toute la durée des essais. À ce jour, les analyses des résultats obtenus auprès de 28 participants jeunes et 15 participants âgés montrent que la nouvelle méthode de calibration du CC est efficace. En effet, nous n'observons pas d'effet de l'âge ou d'interaction entre l'âge et la vitesse de présentation de l'activité de traitement sur le CC de la tâche. Les résultats des analyses préliminaires effectuées sur les performances de mémorisation, ne montrent cependant pas de modulation significative de l'effet du CC sur les performances de mémorisation à court terme selon le groupe d'âge.

### ***2.3. Des résultats inconsistants.***

Comme nous venons de le voir, les résultats des Études 3 et 4 semblent pouvoir expliquer la divergence des résultats observés dans la littérature, mais il serait bénéfique de pouvoir répliquer ces résultats. La nécessité de répliquer ces résultats est rendue particulièrement saillante par les résultats observés dans l'Étude 6, tous contraires à l'hypothèse du déficit de

rafraîchissement dans le vieillissement. D'une part, l'Étude 6 n'a pas permis de mettre en évidence une modulation liée à l'âge des effets du CC, du nombre de distracteurs ou du temps libre cumulé sur les performances de mémorisation à long terme. De plus, en contradiction immédiate avec les résultats de l'Étude 3, les résultats de l'Étude 6 n'ont également pas permis de conclure à une modulation des effets du CC sur les performances de mémorisation à court terme selon l'âge. Cette différence de résultat est d'autant plus surprenante que la situation expérimentale était sans doute propice à l'observation de différence entre les deux groupes d'âge. En effet, le niveau d'interférence entre les items à mémoriser et les items à traiter semble moduler les effets du CC en fonction de l'âge. Par exemple, Plancher et collègues (2017) ont observé que les personnes âgées étaient sensibles à la variation du CC seulement lorsque ce niveau d'interférence était faible. Au contraire, même à un fort niveau d'interférence, les participants jeunes avaient de meilleures performances de mémorisation à faible CC comparé à un fort CC. Ainsi, la différence d'efficacité du mécanisme de rafraîchissement attentionnel selon l'âge serait d'autant plus simple à détecter que la situation expérimentale implique de fortes interférences, puisque les personnes âgées parviendraient peu à utiliser le rafraîchissement dans ces conditions (Plancher et al., 2017).

Notons ici qu'il est raisonnable de penser que dans l'Étude 6, le niveau d'interférence était sans doute plus important que dans l'Étude 3 (i.e., mots et lettres *vs.* lettres et chiffres dans les Études 6 et 3, respectivement). Par exemple, Conlin, Gathercole et Adams (2005) ont observé, chez des enfants, que même lorsque les items à mémoriser et à traiter appartiennent au même domaine (i.e., verbal), le niveau de performance dans des tâches d'empan complexe varie en fonction de la proximité de leur catégorie. Plus précisément, les auteurs ont observé que les performances de mémorisation de mots ou de chiffres étaient meilleures lorsque le traitement concurrent impliquait des chiffres ou des mots, respectivement. Par conséquent, si l'Étude 6 (mots / lettres) implique effectivement un niveau

d'interférence supérieur à celui de l'Étude 3 (lettres / chiffres), les personnes âgées devraient avoir eu plus de difficulté à utiliser le rafraîchissement attentionnel. Par extension, chez les personnes âgées, l'effet du CC devrait être plus faible dans l'Étude 6 que dans l'Étude 3, et la différence d'effet du CC selon l'âge des participants devrait donc être plus grande. Ainsi, l'interaction entre âge et CC devrait théoriquement être plus facile à détecter dans l'Étude 6 que dans l'Étude 3. Pourtant, nous n'avons pas observé une telle interaction dans l'Étude 6. Les résultats contradictoires des Études 3 et 6 mettent donc en évidence qu'au-delà de l'interférence, un ou plusieurs autres facteurs ont également modulé l'effet du rafraîchissement. Dans la section suivante, nous allons présenter l'hypothèse vraisemblable de l'implication du temps d'encodage des informations sur la modulation de l'effet du rafraîchissement.

#### ***2.4. Bénéfice du rafraîchissement attentionnel: le rôle de la consolidation des informations.***

Le temps disponible pour encoder les informations permet d'utiliser le mécanisme de consolidation à court terme, lequel est à l'origine de la transformation des informations encodées sous forme de représentations sensorielles fragiles en représentations de MDT plus stables (Bayliss, Bogdanovs, & Jarrold, 2015; Jolicœur & Dell'Acqua, 1998; Ricker & Cowan, 2014; Ricker et al., 2018). Ainsi, Ricker et Cowan (2014) ont montré que la consolidation a pour effet de limiter la vitesse d'oubli des informations en MDT. Plus précisément, les auteurs ont observé que la vitesse d'oubli des informations est d'autant plus lente que le temps de consolidation des informations est long. Selon Ricker et Cowan, ces résultats suggèrent que la vitesse de déclin des informations est modulée par leur niveau de consolidation initial. De plus, selon les auteurs, la consolidation pourrait également avoir un



effet sur la sensibilité des informations aux interférences. Ainsi, si la consolidation permet de préserver les informations en MDT des phénomènes de déclin et d'interférence, la différence de résultats observée entre les Études 3 et 6 pourrait être expliquée, au moins en partie, par la différence de niveau de consolidation des informations qu'elles permettent respectivement. D'une part, la différence du niveau d'interférence entre ces deux études qui, comme nous l'avons développé, devrait permettre d'observer plus facilement l'interaction entre âge et CC dans l'Étude 6, a sans doute été atténuée par le niveau de consolidation des informations également plus élevé dans l'Étude 6. Nous restons cependant prudents quant à la validité de ces interprétations en terme d'interférences car (1) l'étude de Colin et collaborateurs (2005) rapporte une différence d'interférence entre chiffres *vs* mots et pas lettres *vs*. chiffres (Étude 3) et mots *vs*. lettres (Étude 6), et (2) nous n'avons pas trouvé d'étude ayant mis clairement en évidence un effet de la consolidation sur la protection face aux interférences.

Au-delà de la possible conséquence de la consolidation sur les effets d'interférences, son implication sur le bénéfice de l'utilisation du rafraîchissement attentionnel est plus clairement établie. En effet, les travaux de De Schrijver et Barrouillet (2017) ont montré que dans une tâche d'empan complexe, l'effet du CC est modulé par le temps permettant l'utilisation du mécanisme de consolidation. Plus précisément, les auteurs ont observé que l'effet du CC sur les performances de mémorisation à court terme diminuait à mesure que ce temps augmentait. Autrement dit, à mesure que le temps disponible pour la consolidation des items est long, l'effet bénéfique du rafraîchissement attentionnel est réduit. Ces résultats font particulièrement sens au regard de l'étude de Ricker et Cowan (2014). Comme nous l'avons décrit précédemment, ces auteurs ont observé que les informations en MDT sont d'autant moins sensibles aux effets du déclin temporel qu'elles ont été consolidées. Les informations consolidées, subissant moins les effets du déclin, auront donc moins de bénéfice à être rafraîchies. Ainsi, la différence de temps disponible pour la consolidation des informations

entre les études 3 et 6 peut-être à l'origine de l'apparente inconsistance de nos résultats : les 1000 ms d'encodage supplémentaire de chaque item dans l'Étude 6 ont pu suffire pour masquer des effets de l'âge sur le fonctionnement du rafraîchissement attentionnel.

La question de la modulation de l'effet du rafraîchissement attentionnel selon le niveau de consolidation des informations doit également être abordée au regard du ralentissement général des processus cognitifs qui caractérise le vieillissement (Salthouse, 1996). Du fait de ce ralentissement général, il est légitime de supposer que la vitesse du mécanisme de consolidation est plus lente chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes. Cependant, nous n'avons pas adapté les temps de présentation des items à mémoriser selon les participants. Par conséquent, les jeunes adultes ont sans doute bénéficié de davantage de temps de consolidation que les adultes âgés. À temps de présentation des items identique pour des participants jeunes et âgés, l'effet du CC est donc probablement réduit pour les jeunes comparé aux âgés (De Schrijver & Barrouillet, 2017). Cet effet, allant dans le sens opposé de celui attendu sous l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement avec l'âge, implique que nous avons observé une interaction entre CC et âge dans l'Étude 3 dans des conditions expérimentales désavantageuses. Par extension, le fait de ne pas avoir adapté le temps de présentation des items en fonction de l'âge des participants a sans doute également contribué au fait que nous n'ayons pas observé d'interaction entre âge et CC pour le rappel immédiat des informations dans l'Étude 6. Pour tester ces hypothèses, qui découlent de la modulation de l'effet du CC selon la consolidation des informations, il serait par conséquent intéressant d'utiliser un paradigme similaire à celui de l'Étude 6. Cependant, dans cette nouvelle étude, le temps de présentation des items à mémoriser serait manipulé. De plus, les différents temps de présentation utilisés devraient être adaptés à la vitesse de traitement des informations des participants. En outre, une telle étude permettrait de tester l'hypothèse selon laquelle l'effet du CC sur les performances de mémorisation à long terme est également

modulé par le niveau de consolidation des informations, une hypothèse qui, à notre connaissance, n'a jamais été testé dans la littérature.

### ***2.5. Le déficit du rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement: la décomposition du mécanisme en différents sous-processus.***

Au-delà de nos propres études, l'inconsistance des résultats concernant l'hypothèse d'un déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement apparaît également dans la littérature concernant le maintien attentionnel de matériel visuo-spatial. Par exemple, dans les études se basant sur le paradigme de rétro-indiçage (voir Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation, Chapitre 2), certaines études ont observé que l'effet bénéfique du guidage de l'attention sur un item était similaire pour des participants jeunes et âgés (Gilchrist et al., 2016; Loaiza & Souza, 2018; Strunk et al., 2018), suggérant ainsi une préservation du rafraîchissement attentionnel avec l'âge. Dans le même paradigme, d'autres études ont en revanche mis en évidence une baisse de l'effet du rétro-indiçage chez les participants âgés (e.g., Duarte et al., 2013; Newsome et al., 2015; Yi & Friedman, 2014), suggérant ainsi un déficit du rafraîchissement attentionnel. Dans le cadre de ce paradigme expérimental, les travaux récents de Loaiza et Souza (2018, accepté), suggèrent que le déficit de rafraîchissement attentionnel lié à l'âge est mieux appréhendé en considérant les différents sous-processus mis en jeu dans son fonctionnement. Comme le notent les auteures, le rafraîchissement attentionnel est généralement conçu comme un mécanisme qui opère de façon séquentielle sur plusieurs informations en MDT et qui permet l'augmentation cumulative de leur niveau d'accessibilité en fonction du nombre de fois où elles sont rafraîchies (mais voir Portrat & Lemaire, 2015; Vergauwe et al., 2016; Vergauwe, Langerock, & Cowan, 2018, pour des résultats questionnant cette séquentialité et cet aspect

cumulatif). Ainsi, le rafraîchissement attentionnel met en jeu les capacités (1) à orienter le focus attentionnel sur une représentation en MDT, (2) à réorienter le focus attentionnel sur les autres représentations de la MDT et (3) à conserver le bénéfice du rafraîchissement après que les représentations soient sorties du focus attentionnel. De la ligne de recherche développée par ces auteures, il semble ressortir que le vieillissement est associé à une certaine préservation des deux premières fonctions évoquées mais entraîne un déficit dans la dernière (Loaiza & Souza, 2018, accepté; Souza, 2016).

### *2.5.1. L'hypothèse du déficit d'initiation du rafraîchissement attentionnel.*

Sur la base de cette proposition de décomposer le rafraîchissement attentionnel en différents sous-processus, d'autres hypothèses, non-exclusives, pourraient également rendre compte du déficit de rafraîchissement lié à l'âge. Par exemple, certains chercheurs proposent de considérer le processus d'*initiation* du rafraîchissement, qui précéderait le rafraîchissement *per se* (e.g., M. K. Johnson, 1992; M. R. Johnson et al., 2015; B. Lemaire et al., 2018). L'altération liée à l'âge du rafraîchissement attentionnel pourrait ainsi être caractérisée par une atteinte dans son initiation. En effet, Johnson et collègues (2015) ont mis en évidence que ce processus dépend du lobe frontal, lequel est connu pour être affecté par le vieillissement normal (e.g., Moscovitch & Winocur, 1995). De plus, les résultats observés récemment dans un paradigme de type Brown-Peterson (voir Fanuel\*, Jarjat\* et al., en préparation, Chapitre 2) par Fanuel et Collaborateurs (2018) semblent être en accord avec cette hypothèse. Dans cette étude, des participants jeunes et âgés devaient mémoriser des positions spatiales, présentées une par une. Le nombre de positions à mémoriser était compris entre 0 (condition *contrôle*) et 5. Après la présentation de la dernière localisation, les participants devaient réaliser une activité de jugement de parité de chiffres pendant 12 s. Les chiffres étaient présentés

séquentiellement et chaque chiffre restait affiché à l'écran jusqu'à ce que le participant réponde à la tâche. Dans ce paradigme, Vergauwe et collègues (2014) ont précédemment montré que les temps de réponses à l'activité de parité augmentent linéairement en fonction du nombre d'items à mémoriser. Selon Vergauwe et collègues, ces résultats reflètent le fait que les participants rafraîchissent chaque item qu'ils ont à maintenir avant de répondre à l'activité de traitement. En accord avec ces résultats, Fanuel et collaborateurs (2018) ont également observé que les temps de réponses à l'activité de traitement dépendaient du nombre d'items en MDT. Cependant, les auteurs ont observé cette relation chez les participants jeunes mais pas chez les participants âgés. Pour Fanuel et collègues, ces résultats suggèrent que contrairement aux participants jeunes, les personnes âgées n'ont pas initié de rafraîchissement des items avant de répondre à l'activité de parité. Cependant, au regard de nos propres résultats, le déficit d'initiation du rafraîchissement attentionnel chez les personnes âgées ne peut être que relatif. En effet, si les personnes âgées étaient strictement incapables de l'initier, nous aurions été en mesure d'observer un effet du délai de rétention des informations dans l'Étude 1 et nous n'aurions pas observé d'effet du CC dans les Études 3 et 6. La différence entre ces études pourrait provenir du fait que dans le paradigme de Fanuel et collaborateurs (2018), pour pouvoir initier le rafraîchissement, les participants devaient d'abord inhiber la réponse à l'activité de parité. Les personnes âgées, présentant des déficits d'inhibition (voir Chapitre 3), n'ont probablement pas pu s'empêcher de répondre à la tâche dès l'apparition des chiffres. Dans notre paradigme, cette étape n'était pas nécessaire puisque les opportunités d'utiliser le rafraîchissement suivaient les réponses à l'activité de traitement.

Dans notre paradigme d'empan complexe, le déficit d'initiation du rafraîchissement a pu affecter les performances des participants âgés de deux façons non-exclusives. D'une part, le premier rafraîchissement suivant la réalisation de l'activité de traitement peut être plus difficile à initier chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes. Ceci se rapproche du

concept de “*local task-switching*” (Chapitre 3), pour lequel nous avons précédemment vu qu’il ne semble pas y avoir de déficit lié à l’âge, au-delà du ralentissement général (Wasylyshyn et al., 2011). Cependant, dans le paradigme de “task-switching”, les réponses des participants sont basées sur la présence d’un indice leur indiquant quelle consigne ils doivent appliquer. Dans notre propre paradigme, les participants n’ont aucun indice leur indiquant d’initier le rafraîchissement. Ainsi, les résultats de la littérature sur le “task-switching” ne permettent pas d’éliminer complètement l’hypothèse de ce déficit. Sous cette hypothèse, la mesure du CC ne peut pas rendre compte complètement du décours temporel des processus. En effet, l’estimation du CC repose sur l’hypothèse que dès que la réponse à l’activité de traitement est donnée, le temps restant est utilisé pour le rafraîchissement attentionnel. Or, si les personnes âgées mettent plus de temps à initier le premier rafraîchissement, cette hypothèse s’avère incorrecte, et la proportion de temps effectivement dédiée au rafraîchissement est plus faible chez les personnes âgées que chez les jeunes adultes. Deuxièmement, le déficit de l’initiation du rafraîchissement peut affecter chaque étape du rafraîchissement. Comme nous l’avons rappelé précédemment, le rafraîchissement attentionnel opèrerait séquentiellement sur les différentes informations en MDT, le focus attentionnel circulant sur un item à la fois (Barrouillet & Camos, 2012; Cowan, 2011; McCabe, 2008; Nee & Jonides, 2013; Vergauwe et al., 2014; mais voir Portrat & Lemaire, 2015; Vergauwe et al., 2016; Vergauwe et al., 2018). Le déficit d’initiation du rafraîchissement chez les personnes âgées pourraient donc ralentir la dynamique de fonctionnement de ce mécanisme, participant ainsi au fait que cette population bénéficie moins de la diminution du CC dans les tâches d’empan complexe.

### *2.5.1. L'hypothèse du déficit d'exécution du rafraîchissement attentionnel.*

Nous venons de voir que l'initiation du rafraîchissement est une composante du rafraîchissement qui semble être déficitaire chez les personnes âgées. L'exécution du rafraîchissement, qui correspond au rafraîchissement *per se*, est une autre composante qui pourrait également être déficitaire dans le vieillissement. Par exemple, comparé aux jeunes adultes, les personnes âgées pourraient avoir besoin de maintenir plus longtemps les items dans le focus attentionnel pour qu'ils atteignent un même niveau d'activation, et ce, au-delà de ce qui serait attendu du fait du ralentissement général. En accord avec cette hypothèse, les travaux de modélisation de Hoareau et collaborateurs (2016) suggèrent que le rafraîchissement d'un item prendrait environ 200 ms chez les personnes âgées et 40 ms chez les jeunes adultes, c'est-à-dire un temps environ cinq fois plus long. En comparaison, le facteur de ralentissement généralement observé chez les personnes âgées est aux alentours de 1,5 ou 2.

### ***2.6. Un déficit de rafraîchissement attentionnel ou de disponibilité des informations?***

Au-delà des hypothèses que nous venons de développer, il est important de noter qu'une altération de la disponibilité des items à rafraîchir pourrait également contribuer aux déficits observés chez les personnes âgées. En effet, les informations en dehors du focus attentionnel doivent d'abord pouvoir être récupérées avant qu'elles puissent être rafraîchies. Si le vieillissement s'accompagne de difficultés particulières à récupérer ces informations, alors les personnes âgées pourraient également rafraîchir moins d'informations, en plus de les rafraîchir moins efficacement. En accord avec cette hypothèse, les travaux de Verhaeghen et collègues semblent indiquer que les personnes âgées ont en effet un déficit particulier pour

recupérer des informations en dehors du focus attentionnel (Basak & Verhaeghen, 2011; Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008; Verhaeghen & Basak, 2005). Plus spécifiquement, au moyen de tâches de type n-back, Verhaeghen et collaborateurs ont observé que la vitesse de récupération des informations en dehors du focus attentionnel ne semble pas être affectée par le vieillissement, une fois le ralentissement de la vitesse de traitement pris en compte. Cependant, les auteurs ont observé que chez les personnes âgées, les informations sont moins susceptibles d'être disponibles pour être récupérées. Ce déficit dans la récupération des informations chez les personnes âgées pourrait être dû au fait que dans le vieillissement, les informations en dehors du focus attentionnel (1) sont plus sensibles aux interférences inter-items (e.g., Plancher et al., 2017), (2) subissent un déclin d'activation plus rapide (mais voir Hoareau et al., 2016) ou (3) sont plus sensibles à la présence d'items précédemment rafraîchis, qui sont plus fortement activés que les autres (Higgins & Johnson, 2009). Ainsi, le déficit de rafraîchissement attentionnel observé dans le vieillissement pourrait être la conséquence d'un nombre restreint d'items disponibles pour être récupéré et rafraîchis.

### **5.3. Conclusion**

L'hypothèse du déficit de rafraîchissement attentionnel dans le vieillissement semble être une prometteuse pour rendre compte, au moins en partie, des déficits de MDT observé avec l'avancée en âge. Différents travaux expérimentaux, dont certains issus de cette thèse (Jarjat, Portrat, et al., 2018), suggèrent, en effet, que les personnes âgées bénéficient moins de l'utilisation du mécanisme de rafraîchissement attentionnel en MDT. Cependant, notre travail de thèse a également mis en évidence une certaine inconsistance de résultats, laquelle semble refléter, de manière plus large, les inconsistances observées dans la littérature. Ceci suggère que les études futures, qui porteront sur cette hypothèse, devront s'intéresser aux facteurs



pouvant affecter l'observation ou non de ce déficit. À cet égard, nous avons, par exemple, identifié la piste de l'interaction du rafraîchissement attentionnel et de la consolidation à court terme des informations. Nous avons également développé l'idée selon laquelle le rafraîchissement attentionnel peut être décomposé en différents sous-processus, lesquels sont différemment affectés par le vieillissement. Ainsi, un effet de l'âge sur le rafraîchissement semble pouvoir être observé, ou non, selon que les études menées portent sur les sous-processus relativement préservés, ou sur les sous-processus spécifiquement impactés par le vieillissement (e.g., Loaliza & Souza, 2018, accepté). Au-delà de l'investigation des inconsistances de résultats, cette approche plus fine du rafraîchissement attentionnel nous a permis d'aborder les origines possibles du déficit de ce mécanisme chez les personnes âgées. Ainsi, de nouvelles recherches permettront de tester les hypothèses, non-exclusives, d'un déficit du rafraîchissement qui serait lié à une altération de l'initiation du rafraîchissement, de l'activation des informations, ou de la disponibilité des informations.

Enfin, rappelons ici que le vieillissement n'est pas un processus affectant les individus de façon uniforme. Des facteurs tels que le niveau d'étude, l'engagement dans des activités de loisir, ou la pratique sportive sont des facteurs connus pour influencer le niveau de déficit du fonctionnement cognitif (e.g., Stine-Morrow, Parisi, Morrow, & Park, 2008). À l'avenir, les chercheurs devront donc sans doute s'intéresser à une approche plus individuelle de la question de l'évolution liée à l'âge du rafraîchissement attentionnel, en plus de tenter de définir de façon plus précise la, ou les origines précises du déficit de rafraîchissement.

# Bibliographie

---

- Adam, S., Van der Linden, M., & Colette, F. (2002). Processus attentionnels et vieillissement normal. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni, & P. Azouvi (Eds.), *La neuropsychologie de l'attention* (pp. 129–155). Marseille: Solal.
- Anderson, J. R., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1996). Working Memory: Activation Limitations on Retrieval. *Cognitive Psychology*, *30*(3), 221–256. <https://doi.org/10.1006/cogp.1996.0007>
- Andrés, P. (2009). Equivalent part set cueing effects in younger and older adults. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(2–3), 176–191. <https://doi.org/10.1080/09541440802033980>
- Andrés, P., Guerrini, C., Phillips, L. H., & Perfect, T. J. (2008). Differential Effects of Aging on Executive and Automatic Inhibition. *Developmental Neuropsychology*, *33*(2), 101–123. <https://doi.org/10.1080/87565640701884212>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. In *The Psychology of learning and motivation (Vol.2)* (pp. 89–195). [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The Control Processes of Short-Term Memory. *Scientific American*, *225*(2), 82–91. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican0871-82>
- Bäckman, L., Nyberg, L., Lindenberger, U., Li, S.-C., & Farde, L. (2006). The correlative triad among aging, dopamine, and cognition: Current status and future prospects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *30*(6), 791–807. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.005>
- Baddeley, A. D. (1966). Short-term Memory for Word Sequences as a Function of Acoustic, Semantic and Formal Similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *18*(4), 362–365. <https://doi.org/10.1080/14640746608400055>

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Calendron Press.
- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. D. (2003a). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. D. (2003b). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189–208. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)
- Baddeley, A. D. (2012). Working Memory: Theories, Models, and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. D. (2017). Modularity, working memory and language acquisition. *Second Language Research*, 33(3), 299–311. <https://doi.org/10.1177/0267658317709852>
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393–1400. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.042>
- Baddeley, A. D., Baddeley, H. A., Bucks, R. S., & Wilcock, G. K. (2001). Attentional control in Alzheimer's disease. *Brain*, 124(8), 1492–1508. <https://doi.org/10.1093/brain/124.8.1492>
- Baddeley, A. D., Gathercole, S., & Papagno, C. (1998). The Phonological Loop as a Language Learning Device. *Psychological Review*, 105(1), 158–173. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.1.158>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. Vol.8 (pp. 47–89). New York: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1977). Recency re-examined. In S. Dornic (Ed.), *Attention*

- and Performance VI* (pp. 647–667). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the Articulatory Loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 36(2), 233–252. <https://doi.org/10.1080/14640748408402157>
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28–61). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., Logie, R. H., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 603–618.
- Baddeley, A. D., Papagno, C., & Vallar, G. (1988). When long-term learning depends on short-term storage. *Journal of Memory and Language*, 27(5), 586–595. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(88\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0749-596X(88)90028-9)
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6), 575–589. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80045-4)
- Baddeley, A. D., & Warrington, E. K. (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9(2), 176–189. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(70\)80048-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(70)80048-2)
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging*, 12(1), 12–21. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.1.12>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 83–100. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.83>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570–585. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.570>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2001). Developmental Increase in Working Memory Span: Resource Sharing or Temporal Decay? *Journal of Memory and Language*, 45(1), 1–20.

<https://doi.org/DOI: 10.1006/jmla.2001.2767>

- Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As Time Goes By: Temporal Constraints in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 21(6), 413–419. <https://doi.org/10.1177/0963721412459513>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working Memory: Loss and Reconstruction*. Hove: Psychology Press.
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: A time-based resource-sharing model account. *Developmental Psychology*, 45(2), 477–490. <https://doi.org/10.1037/a0014615>
- Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working memory. *Psychological Review*, 118(2), 175–192. <https://doi.org/10.1037/a0022324>
- Barrouillet, P., Portrat, S., Vergauwe, E., Diependaele, K., & Camos, V. (2011). Further evidence for temporal decay in working memory: Reply to Lewandowsky and Oberauer (2009). *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 37(5), 1302–1317. <https://doi.org/10.1037/a0022933>
- Bartsch, L. M., Loaiza, V. M., Jäncke, L., Oberauer, K., & Lewis-Peacock, J. A. (2018). Dissociating refreshing and elaboration by their neural signatures and their effects on working memory and long-term memory in young and old adults.
- Basak, C., & Verhaeghen, P. (2011). Aging and Switching the Focus of Attention in Working Memory: Age Differences in Item Availability But Not in Item Accessibility. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66(5), 519–526. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbr028>
- Batchelder, W. H., & Riefer, D. M. (1999). Theoretical and empirical review of multinomial process tree modeling. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(1), 57–86.
- Baumans, C., Adam, S., & Seron, X. (2012). Effect of Cognitive Load on Working Memory Forgetting in Aging. *Experimental Psychology*, 59(6), 311–321. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000158>
- Bayliss, D. M., Bogdanovs, J., & Jarrold, C. (2015). Consolidating working memory: Distinguishing the effects of consolidation, rehearsal and attentional refreshing in a

- working memory span task. *Journal of Memory and Language*, 81, 34–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.12.004>
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 71–92.  
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.71>
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195–207. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00097-6](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00097-6)
- Birren, J. E. (1965). Age changes in speed of behavior: Its central nature and physiological correlates. In A. T. Welford & J. E. Birren (Eds.), *Behavior, aging, and the nervous system* (pp. 191–216). Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Birren, J. E. (1974). Translations in gerontology: From lab to life: Psychophysiology and speed of response. *American Psychologist*, 29(11), 808–815.  
<https://doi.org/10.1037/h0037433>
- Birren, J. E., Woods, A. M., & Williams, M. V. (1980). Behavioral slowing with age: Causes, organization, and consequences. In *Aging in the 1980s: Psychological issues*. (pp. 293–308). Washington: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/10050-021>
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and Verbal Memory Span: A Meta-Analysis. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 60(5), 223–233.
- Boywitt, C. D., Kuhlmann, B. G., & Meiser, T. (2012). The role of source memory in older adults' recollective experience. *Psychology and Aging*, 27(2), 484–497.  
<https://doi.org/10.1037/a0024729>
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433–436.  
<https://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Elmsford: Pergamon Press.  
<https://doi.org/10.1037/10037-000>
- Brown, G. D. A., Neath, I., & Chater, N. (2007). A Temporal Ratio Model of Memory. *Psychological Review*, 114(3), 539–576. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.3.539>

- Brown, J. (1958). Some Tests of the Decay Theory of Immediate Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *10*(1), 12–21. <https://doi.org/10.1080/17470215808416249>
- Camos, V. (2015). Storing Verbal Information in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, *24*(6), 440–445. <https://doi.org/10.1177/0963721415606630>
- Camos, V. (2017). Domain-Specific Versus Domain-General Maintenance in Working Memory (pp. 135–171). <https://doi.org/10.1016/bs.plm.2017.03.005>
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2011). Developmental change in working memory strategies: from passive maintenance to active refreshing. *Developmental Psychology*, *47*(3), 898–904. <https://doi.org/10.1037/a0023193>
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). Attentional and non-attentional systems in the maintenance of verbal information in working memory: the executive and phonological loops. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(November), 900. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00900>
- Camos, V., Johnson, M., Loaiza, V., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (2018). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1111/nyas.13616>
- Camos, V., Lagner, P., & Barrouillet, P. (2009). Two maintenance mechanisms of verbal information in working memory. *Journal of Memory and Language*, *61*(3), 457–469. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2009.06.002>
- Camos, V., Lagner, P., & Loaiza, V. M. (2017). Maintenance of item and order information in verbal working memory. *Memory*, *25*(8), 953–968. <https://doi.org/10.1080/09658211.2016.1237654>
- Camos, V., Mora, G., & Barrouillet, P. (2013). Phonological similarity effect in complex span task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *66*(January 2015), 1927–1950. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.768275>
- Camos, V., Mora, G., & Oberauer, K. (2011). Adaptive choice between articulatory rehearsal and attentional refreshing in verbal working memory. *Memory & Cognition*, *39*(2), 231–244. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0011-x>
- Camos, V., & Portrat, S. (2015). The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(4), 1029–1034. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0772-5>

- Campoy, G., & Baddeley, A. (2008). Phonological and semantic strategies in immediate serial recall. *Memory*, *16*(4), 329–340. <https://doi.org/10.1080/09658210701867302>
- Caplan, D., Rochon, E., & Waters, G. S. (1992). Articulatory and Phonological Determinants of Word Length Effects in Span Tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *45*(2), 177–192. <https://doi.org/10.1080/14640749208401323>
- Case, R. (1974). Structures and strictures: Some functional limitations on the course of cognitive growth. *Cognitive Psychology*, *6*(4), 544–574. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(74\)90025-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(74)90025-5)
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational Efficiency and the Growth of Short-Term Memory Span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *33*, 386–404. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(82\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0022-0965(82)90054-6)
- Castel, A. D. (2005). Memory for grocery prices in younger and older adults: The role of schematic support. *Psychology and Aging*, *20*(4), 718–721. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.4.718>
- Cave, C. B., & Squire, L. R. (1992). Intact verbal and nonverbal short-term memory following damage to the human hippocampus. *Hippocampus*, *2*(2), 151–163. <https://doi.org/10.1002/hipo.450020207>
- Cepeda, N. J., Blackwell, K. a, & Munakata, Y. (2013). Speed isn't everything: complex processing speed measures mask individual differences and developmental changes in executive control. *Developmental Science*, *16*(2), 269–286. <https://doi.org/10.1111/desc.12024>
- Cerella, J. (1985). Information processing rates in the elderly. *Psychological Bulletin*, *98*(1), 67–83. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.98.1.67>
- Cerella, J. (1990). Aging and information processing rates in the elderly. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging* (3rd ed., pp. 201–221). Ne: Academic Press.
- Chalfonte, B. L., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory and Cognition*, *24*(4), 403–416. <https://doi.org/10.3758/BF03200930>



- Chen, T., & Li, D. (2007). The roles of working memory updating and processing speed in mediating age-related differences in fluid intelligence. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 14(6), 631–646. <https://doi.org/10.1080/13825580600987660>
- Cohen, G., & Faulkner, D. (1989). Age differences in source forgetting: Effects on reality monitoring and on eyewitness testimony. *Psychology and Aging*, 4(1), 10–17. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.1.10>
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386(6625), 604–608. <https://doi.org/10.1038/386604a0>
- Cohn, N. B., Dustman, R. E., & Bradford, D. C. (1984). Age-related decrements in stroop color test performance. *Journal of Clinical Psychology*, 40(5), 1244–1250. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(198409\)40:5<1244::AID-JCLP2270400521>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1097-4679(198409)40:5<1244::AID-JCLP2270400521>3.0.CO;2-D)
- Collette, F., Peters, F., Hogge, M., & Majerus, S. (2007). Mémoire de travail et vieillissement normal. *Neuropsychologie de La Mémoire de Travail*, 3, 353–380.
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française*, 59(1), 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2013.03.006>
- Comalli, P. E., Wapner, S., & Werner, H. (1962). Interference Effects of Stroop Color-Word Test in Childhood, Adulthood, and Aging. *The Journal of Genetic Psychology*, 100(1), 47–53. <https://doi.org/10.1080/00221325.1962.10533572>
- Conlin, J. A., Gathercole, S. E., & Adams, J. W. (2005). Stimulus similarity decrements in children's working memory span, (8), 1434–1446. <https://doi.org/10.1080/02724980443000683>
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology*, 55(4), 429–432. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1964.tb00928.x>
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological*

- Bulletin*, 104(2), 163–191.
- Cowan, N. (1992). Verbal memory span and the timing of spoken recall. *Journal of Memory and Language*, 31(5), 668–684. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(92\)90034-U](https://doi.org/10.1016/0749-596X(92)90034-U)
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. Oxford: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). New York: Cambridge University Press.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short term memory. A reconsideration of storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 87–186. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Cowan, N. (2005). *working memory capacity*. Hove, East Sussex, UK: Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203342398>
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? In W. Sossin, J.-C. Lacaille, V. F. Castellucci, & S. Belleville (Eds.), *Progress in brain research: The essence of memory* (Vol. 169, pp. 323–338). [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9)
- Cowan, N. (2010). The Magical Mystery Four. *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51–57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Cowan, N. (2011). The focus of attention as observed in visual working memory tasks: Making sense of competing claims. *Neuropsychologia*, 49(6), 1401–1406. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.035>
- Cowan, N. (2017a). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1158–1170. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6>
- Cowan, N. (2017b). Working Memory: The Information You Are Now Thinking of. In *Learning and Memory: A Comprehensive Reference* (pp. 147–161). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.21040-7>
- Cowan, N., & AuBuchon, A. M. (2008). Short-term memory loss over time without

- retroactive stimulus interference. *Psychonomic Bulletin and Review*, *15*(1), 230–235. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.1.230>
- Cowan, N., Chen, Z., & Rouder, J. N. (2003). Constant Capacity in Immediate Recall. *Psychological Science*, *15*(1956), 1–30. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00732.x>
- Cowan, N., Lichty, W., & Grove, T. R. (1990). Properties of memory for unattended spoken syllables. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *16*(2), 258–269.
- Cowan, N., Wood, N. L., & Borne, D. N. (1994). Reconfirmation of the Short-Term Storage Concept. *Psychological Science*, *5*(2), 103–106. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00639.x>
- Cowan, N., Wood, N. L., Wood, P. K., Keller, T. A., Nugent, L. D., & Keller, C. V. (1998). Two separate verbal processing rates contributing to short-term memory span. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*(2), 141–160.
- 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. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-4178-9>
- Dalrymple-Alford, E. C., & Budayr, B. (1966). Examination of Some Aspects of the Stroop Color-Word Test. *Perceptual and Motor Skills*, *23*(3\_suppl), 1211–1214. <https://doi.org/10.2466/pms.1966.23.3f.1211>
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*(4), 450–466. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(80\)90312-6](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6)
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*(4), 422–433. <https://doi.org/10.3758/BF03214546>
- De Schrijver, S., & Barrouillet, P. (2017). Consolidation and restoration of memory traces in working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, *24*(5), 1651–1657. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1226-7>
- Duarte, A., Hearons, P., Jiang, Y., Delvin, M. C., Newsome, R. N., & Verhaeghen, P. (2013).

- Retrospective attention enhances visual working memory in the young but not the old: An ERP study. *Psychophysiology*, 50(5), 465–476. <https://doi.org/10.1111/psyp.12034>
- Duverne, S., & Lemaire, P. (2004). Age-Related Differences in Arithmetic Problem-Verification Strategies. *Journals of Gerontology - Series B Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(3), 135–142. <https://doi.org/10.1093/geronb/59.3.P135>
- Engle, R. W. (2018). Working Memory and Executive Attention: A Revisit. *Perspectives on Psychological Science*, 13(2), 190–193. <https://doi.org/10.1177/1745691617720478>
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 44, 145–199. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(03\)44005-X](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(03)44005-X)
- Engle, R. W., Laughlin, J. E., Tuholski, S. W., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309–331. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.309>
- Erdfelder, E., Auer, T.-S., Hilbig, B. E., Aßfalg, A., Moshagen, M., & Nadarevic, L. (2009). Multinomial Processing Tree Models: A Review of the Literature. *Zeitschrift Für Psychologie / Journal of Psychology*, 217(3), 108–124. <https://doi.org/10.1027/0044-3409.217.3.108>
- Fallon, A. B., Groves, K., & Tehan, G. (1999). Phonological Similarity and Trace Degradation in the Serial Recall Task: When CAT helps RAT, but not MAN. *International Journal of Psychology*, 34(5–6), 301–307. <https://doi.org/10.1080/002075999399602>
- Fanuel, L., Plancher, G., Monsaingeon, N., Tillmann, B., & Portrat, S. (2018). Temporal dynamics of maintenance in young and old adults. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 137–148. <https://doi.org/10.1111/nyas.13640>
- Farmer, E. W., Berman, J. V. F., & Fletcher, Y. L. (1986). Evidence for a Visuo-Spatial Scratch-Pad in Working Memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 38(4), 675–688. <https://doi.org/10.1080/14640748608401620>
- Filevich, E., Horn, S. S., & Kühn, S. (2017). Within-person adaptivity in frugal judgments

- from memory. *Psychological Research*. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0962-7>
- Fisk, J. E., & Warr, P. (1996). Age and working memory: the role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. *Psychology and Aging, 11*(2), 316–323. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8795060>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Fournet, N., Juphard, A., Monnier, C., & Roulin, J. (2003). Phonological similarity in free and serial recall: The effect of increasing retention intervals. *International Journal of Psychology, 38*(6), 384–389. <https://doi.org/10.1080/00207590344000204>
- Fournet, N., Moreaud, O., Roulin, J. L., Naegele, B., & Pellat, J. (2000). Working memory functioning in medicated Parkinson’s disease patients and the effect of withdrawal of dopaminergic medication. *Neuropsychology, 14*(2), 247–253. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.14.2.247>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(1), 101–135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Gaillard, V., Barrouillet, P., Jarrold, C., & Camos, V. (2011). Developmental differences in working memory: Where do they come from? *Journal of Experimental Child Psychology, 110*(3), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.05.004>
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory & Cognition, 26*(2), 263–276. <https://doi.org/10.3758/BF03201138>
- Gathercole, S. E. (1995). Is nonword repetition a test of phonological memory or long-term knowledge? It all depends on the nonwords. *Memory & Cognition, 23*(1), 83–94. <https://doi.org/10.3758/BF03210559>
- Gathercole, S. E., Willis, C. S., Emslie, H., & Baddeley, A. D. (1992). Phonological memory and vocabulary development during the early school years: A longitudinal study. *Developmental Psychology, 28*(5), 887–898. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.28.5.887>
- Gilchrist, A. L., Duarte, A., & Verhaeghen, P. (2016). Retrospective cues based on object features improve visual working memory performance in older adults. *Aging,*

*Neuropsychology, and Cognition*, 23(2), 184–195.  
<https://doi.org/10.1080/13825585.2015.1069253>

Glanzer, M., & Cunitz, A. R. (1966). Two Storage Mechanism in Free Recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5, 351–360.

Glenberg, A. M., & Swanson, N. G. (1986). A temporal distinctiveness theory of recency and modality effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(1), 3–15. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.12.1.3>

Glisky, E. L. (2007). Changes in cognitive function in human aging. In D. R. Riddle (Ed.), *Brain Aging: Models Methods, and Mechanisms* (pp. 3–20). Boca Raton, FL: CRC Press.

Grandjean, J., & Collette, F. (2011). Capacités d’inhibition et vieillissement normal. In D. Brouillet (Ed.), *Le vieillissement cognitif normal. Maintenir l’autonomie de la personne âgée*. (pp. 65–76). Bruxelles: De Boeck.

Greene, J. D. W., Hodges, J. R., & Baddeley, A. D. (1995). Autobiographical memory and executive function in early dementia of Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 33(12), 1647–1670. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00046-1](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00046-1)

Grégoire, J., & Van Der Linden, M. (1997). Effect of age on forward and backward digit spans. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 4(2), 140–149. <https://doi.org/10.1080/13825589708256642>

Grillon, M. L., Johnson, M. K., Krebs, M. O., & Huron, C. (2008). Comparing effects of perceptual and reflective repetition on subjective experience during later recognition memory. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 753–764. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.09.004>

Grillon, M. L., Oppenheim, C., Varoquaux, G., Charbonneau, F., Devauchelle, A. D., Krebs, M. O., ... Huron, C. (2013). Hyperfrontality and hypoconnectivity during refreshing in schizophrenia. *Psychiatry Research - Neuroimaging*, 211(3), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2012.09.001>

Gunning-Dixon, F. M., & Raz, N. (2000). The cognitive correlates of white matter abnormalities in normal aging: A quantitative review. *Neuropsychology*, 14(2), 224–232. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.14.2.224>

- Harnishfeger, K. K. (1995). The development of cognitive inhibition. In *Interference and Inhibition in Cognition* (pp. 175–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012208930-5/50007-6>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. In *Psychology of learning and motivation* (Vol. 22, pp. 193–225). Academic Press.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance. Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653–675). Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Hashtroudi, S., Johnson, M. K., & Chrosniak, L. D. (1989). Aging and source monitoring. *Psychology and Aging*, 4(1), 106–112. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.4.1.106>
- Heck, D. W., Arnold, N. R., & Arnold, D. (2018). TreeBUGS: An R package for hierarchical multinomial-processing-tree modeling. *Behavior Research Methods*, 50(1), 264–284. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0869-7>
- Heuer, H., Janczyk, M., & Kunde, W. (2010). Random noun generation in younger and older adults. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(3), 465–478. <https://doi.org/10.1080/17470210902974138>
- Higgins, J. A., & Johnson, M. K. (2009). The consequence of refreshing for access to nonselected items in young and older adults. *Memory and Cognition*, 37(2), 164–174. <https://doi.org/10.3758/MC.37.2.164>
- Hoareau, V., Lemaire, B., Portrat, S., & Plancher, G. (2016). Reconciling Two Computational Models of Working Memory in Aging. *Topics in Cognitive Science*, 8(1), 264–278. <https://doi.org/10.1111/tops.12184>
- Hogge, M., Salmon, E., & Collette, F. (2008). Interference and Negative Priming in Normal Aging and in Mild Alzheimer's Disease. *Psychologica Belgica*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.5334/pb-48-1-1>
- Howard, M. W., & Kahana, M. J. (2002). When Does Semantic Similarity Help Episodic Retrieval? *Journal of Memory and Language*, 46(1), 85–98. <https://doi.org/10.1006/jmla.2001.2798>

- Hudjetz, A., & Oberauer, K. (2007). The effects of processing time and processing rate on forgetting in working memory: testing four models of the complex span paradigm. *Memory & Cognition*, 35(7), 1675–1684. <https://doi.org/10.3758/BF03193501>
- Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., McDonald-Miszczak, L., & et al. (1992). Short-term longitudinal change in cognitive performance in later life. *Psychology and Aging*, 7(4), 571–584. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.7.4.571>
- Hunter, I. M. . (1964). *Memory*. London: Penguin Books.
- Huntley, J. D., & Howard, R. J. (2010). Working memory in early Alzheimer’s disease: a neuropsychological review. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 25(2), 121–132. <https://doi.org/10.1002/gps.2314>
- Jacoby, L. L. (1999). Ironic effects of repetition: Measuring age-related differences in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 3–22. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.1.3>
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Henry Holt and Company.
- Jarjat, G., Hoareau, V., Plancher, G., Hot, P., Lemaire, B., & Portrat, S. (2018). What makes working memory traces stable over time? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 149–160. <https://doi.org/10.1111/nyas.13668>
- Jarjat, G., Portrat, S., & Hot, P. (2018). Aging Influences the Efficiency of Attentional Maintenance in Verbal Working Memory. *The Journals of Gerontology: Series B*. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby067>
- Johnson, M. K. (1992). MEM: Mechanisms of Recollection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 268–280. <https://doi.org/10.1162/jocn.1992.4.3.268>
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source Monitoring. *Psychological Bulletin*. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
- Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Raye, C. L., & Greene, E. J. (2004). An age-related deficit in prefrontal cortical function associated with refreshing information. *Psychological Science*, 15(2), 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.09.014>
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Mitchell, K. J., Greene, E. J., Cunningham, W. A., & Sanislow, C. A. (2005). Using fMRI to investigate a component process of reflection: Prefrontal



- correlates of refreshing a just-activated representation. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5(3), 339–361. <https://doi.org/10.3758/CABN.5.3.339>
- Johnson, M. K., Reeder, J. A., Raye, C. L., & Mitchell, K. J. (2002). Second thoughts versus second looks: an age-related deficit in reflectively refreshing just-activated information. *Psychological Science : A Journal of the American Psychological Society / APS*, 13(1), 64–67. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00411>
- Johnson, M. R., McCarthy, G., Muller, K. A., Brudner, S. N., & Johnson, M. K. (2015). Electrophysiological Correlates of Refreshing: Event-related Potentials Associated with Directing Reflective Attention to Face, Scene, or Word Representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(9), 1823–1839. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00823](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00823)
- Jolicœur, P., & Dell’Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138–202. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0684>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122–149. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.1.122>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kalafat, M., Hugonot-Diener, L., & Poitrenaud, J. (2003). Standardisation et étalonnage français du «Mini Mental State» (MMS), version GRECO. *Revue de Neuropsychologie*, 13(2), 209–236.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169–183. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.169>
- Kane, M. J., Conway, A. R. A., Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2007). Variation in Working Memory Capacity as Variation in Executive Attention and control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 21–48). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0002>
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., & Conway, A. R. A. (2005). Working Memory Capacity and Fluid Intelligence Are Strongly Related Constructs: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 66–71. <https://doi.org/10.1037/0033->

2909.131.1.66

- Kensinger, E. A. (2009). How emotion affects older adults' memories for event details. *Memory, 17*(2), 208–219. <https://doi.org/10.1080/09658210802221425>
- Kieley, J. M., & Hartley, A. A. (1997). Age-related equivalence of identity suppression in the Stroop color-word task. *Psychology and Aging, 12*(1), 22–29. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.1.22>
- Kirova, A.-M., Bays, R. B., & Lagalwar, S. (2015). Working Memory and Executive Function Decline across Normal Aging, Mild Cognitive Impairment, and Alzheimer's Disease. *BioMed Research International, 2015*, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/748212>
- Klauer, K. C. (2010). Hierarchical Multinomial Processing Tree Models: A Latent-Trait Approach. *Psychometrika, 75*(1), 70–98. <https://doi.org/10.1007/s11336-009-9141-0>
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., & Broussard, C. (2007). What's new in Psychtoolbox-3. *Perception, 36*(14), 1.
- Kliegl, R., Maayr, U., & Krampe, R. T. (1994). Time-Accuracy Functions for Determining Process and Person Differences: An Application To Cognitive Aging. *Cognitive Psychology, 26*(2), 134–164. <https://doi.org/10.1006/cogp.1994.1005>
- Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G. D., & Strayer, D. L. (1994). Aging and inhibition: Beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychology and Aging, 9*(4), 491–512. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.9.4.491>
- Kuhlmann, B. G., & Boywitt, C. D. (2016). Aging, source memory, and the experience of “remembering.” *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 23*(4), 477–498. <https://doi.org/10.1080/13825585.2015.1120270>
- Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2018). What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychonomic Bulletin & Review, 25*(1), 370–385. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1282-z>
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement – une perspective cognitive*. Bruxelles: De Boeck.
- Leonards, U., Ibanez, V., & Giannakopoulos, P. (2002). The role of stimulus type in age-

- related changes of visual working memory. *Experimental Brain Research*, 146(2), 172–183. <https://doi.org/10.1007/s00221-002-1175-9>
- Lépine, R., Bernardin, S., & Barrouillet, P. (2005). Attention switching and working memory spans. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(3), 329–345. <https://doi.org/10.1080/09541440440000014>
- Loaiza, V. M., & Camos, V. (2016). Does Controlling for Temporal Parameters Change the Levels-of-Processing Effect in Working Memory? *Advances in Cognitive Psychology*, 12(1), 2–9. <https://doi.org/10.5709/acp-0182-3>
- Loaiza, V. M., & Camos, V. (2018). The Role of Semantic Representations in Verbal Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 44(6), 863–881. <https://doi.org/10.1037/xlm0000475>
- Loaiza, V. M., & McCabe, D. P. (2012). Temporal–contextual processing in working memory: Evidence from delayed cued recall and delayed free recall tests. *Memory & Cognition*, 40(2), 191–203. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0148-2>
- Loaiza, V. M., & McCabe, D. P. (2013). The influence of aging on attentional refreshing and articulatory rehearsal during working memory on later episodic memory performance. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development*, 20, 471–493. <https://doi.org/10.1080/13825585.2012.738289>
- Loaiza, V. M., McCabe, D. P., Youngblood, J. L., Rose, N. S., & Myerson, J. (2011). The influence of levels of processing on recall from working memory and delayed recall tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(5), 1258–1263. <https://doi.org/10.1037/a0023923>
- Loaiza, V. M., Rhodes, M. G., & Anglin, J. (2015). The Influence of Age-Related Differences in Prior Knowledge and Attentional Refreshing Opportunities on Episodic Memory. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 70(5), 729–736. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbt119>
- Loaiza, V. M., & Souza, A. S. (2018). Is refreshing in working memory impaired in older age? Evidence from the retro-cue paradigm. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 175–189. <https://doi.org/10.1111/nyas.13623>

- Lobley, K. J., Baddeley, A. D., & Gathercole, S. E. (2005). Phonological similarity effects in verbal complex span. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 58(8), 1462–1478. <https://doi.org/10.1080/02724980443000700>
- Logie, R. H., Cocchini, G., Della Sala, S., & Baddeley, A. D. (2004). Is there a specific executive capacity for dual task coordination? Evidence from Alzheimer’s disease. *Neuropsychology*, 18(3), 504–513. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.3.504>
- Logie, R. H., Della Sala, S., Wynn, V., & Baddeley, A. D. (2000). Visual similarity effects in immediate serial recall. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 53A(3), 626–646.
- Logie, R. H., Zucco, G. M., & Baddeley, A. D. (1990). Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, 75(1), 55–74. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(90\)90066-O](https://doi.org/10.1016/0001-6918(90)90066-O)
- Lucidi, A., Loaiza, V., Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). Assessing working memory capacity through time-constrained elementary activities. *Journal of General Psychology*, 141(2), 98–112. <https://doi.org/10.1080/00221309.2013.870121>
- Majerus, S., D’Argembeau, A., Martinez Perez, T., Belayachi, S., Van der Linden, M., Collette, F., ... Maquet, P. (2010). The Commonality of Neural Networks for Verbal and Visual Short-term Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(11), 2570–2593. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21378>
- Malmberg, K. J., & Shiffrin, R. M. (2005). The “one-shot” hypothesis for context storage. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 31(2), 322–336. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.2.322>
- Maquestiaux, F. (2016). Qualitative attentional changes with age in doing two tasks at once. *Psychonomic Bulletin and Review*, 23(1), 54–61. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0881-9>
- Martin, N., & Ayala, J. (2004). Measurements of auditory-verbal STM span in aphasia: Effects of item, task, and lexical impairment. *Brain and Language*, 89(3), 464–483. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2003.12.004>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source graphical

- experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- May, C. P., Rahhal, T., Berry, E. M., & Leighton, E. A. (2005). Aging, source memory, and emotion. *Psychology and Aging*, 20(4), 571–578. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.4.571>
- Mayr, U., & Kliegl, R. (1993). Sequential and Coordinative Complexity: Age-Based Processing Limitations in Figural Transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1297–1320. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.6.1297>
- McCabe, D. P. (2008). The Role of Covert Retrieval in Working Memory Span Tasks: Evidence from Delayed Recall Tests. *Journal of Memory and Language*, 58(2), 480–494. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.04.004>.
- McCabe, D. P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A., & Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24(2), 222–243. <https://doi.org/10.1037/a0017619>
- McElree, B. (1998). Attended and Non-Attended States in Working Memory: Accessing Categorized Structures. *Journal of Memory and Language*, 38(2), 225–252. <https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2545>
- McElree, B. (2001). Working Memory and Focal Attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 27(3), 817–835. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.27.3.817>
- McElree, B. (2006). Accessing Recent Events. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 46(06), 155–200. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(06\)46005-9](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(06)46005-9)
- McElree, B., & Doshier, B. A. (1989). Serial position and set size in short-term memory: the time course of recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(4), 346–373.
- McIntyre, J. S., & Craik, F. I. M. (1987). Age differences in memory for item and source information. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 41(2),

175–192.

- McKeown, D., & Mercer, T. (2012). Short-term forgetting without interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 38(4), 1057–1068. <https://doi.org/10.1037/a0027749>
- Meiser, T. (2014). Analyzing stochastic dependence of cognitive processes in multidimensional source recognition. *Experimental Psychology*, 61(5), 402–415. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000261>
- Meiser, T., & Bröder, A. (2002). Memory for Multidimensional Source Information. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 28(1), 116–137. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.1.116>
- Melton, A. W. (1963). Implications of short-term memory for a general theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 2(1), 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(63\)80063-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(63)80063-8)
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Mitchell, K. J., & Johnson, M. K. (2009). Source Monitoring 15 Years Later: What Have We Learned From fMRI About the Neural Mechanisms of Source Memory? *Psychological Bulletin*, 135(4), 638–677. <https://doi.org/10.1037/a0015849>
- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L., Mather, M., & D’Esposito, M. (2000). Aging and Reflective Processes of Working Memory: Binding and Test Load Deficits. *Psychology and Aging*, 15(3), 527–541.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, a H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Mohanty, P. (Pam), & Naveh-Benjamin, M. (2018). Mitigating the adverse effects of response deadline on recognition memory: Differential effects of semantic memory support on item and associative memory. *Journal of Memory and Language*, 102, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2018.05.010>

- Mohanty, P. (Pam), Naveh-Benjamin, M., & Ratneshwar, S. (2016). Beneficial Effects of Semantic Memory Support on Older Adults' Episodic Memory: Differential Patterns of Support of Item and Associative Information. <https://doi.org/10.1037/pag0000059>
- Mora, G., & Camos, V. (2013). Two systems of maintenance in verbal working memory: evidence from the word length effect. *PloS ONE*, 8(7), e70026. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070026>
- Mora, G., & Camos, V. (2015). Dissociating rehearsal and refreshing in the maintenance of verbal information in 8-year-old children. *Frontiers in Psychology*, 6(January). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00011>
- Morey, C. C., & Bieler, M. (2013). Visual short-term memory always requires general attention. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(1), 163–170. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0313-z>
- Morey, C. C., & Cowan, N. (2004). When visual and verbal memories compete: Evidence of cross-domain limits in working memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11(2), 296–301. <https://doi.org/10.3758/BF03196573>
- Morey, R. D., Rouder, J. N., & Jamil, T. (2015). Package 'BayesFactor,' 54. Retrieved from <http://bayesfactorpcl.r-forge.r-project.org/%0ABugReports>
- Moscovitch, M., & Winocur, G. (1992). The neuropsychology of memory and aging. In T. A. Salthouse & F. I. M. Craik (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 315–372). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Moscovitch, M., & Winocur, G. (1995). Frontal Lobes, Memory, and Aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769(1 Structure and), 119–150. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1995.tb38135.x>
- Mueller, S. T., Seymour, T. L., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2003). Theoretical Implications of Articulatory Duration, Phonological Similarity, and Phonological Complexity in Verbal Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(6), 1353–1380. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.6.1353>
- Murdock, B. B. (1961). The retention of individual items. *Journal of Experimental Psychology*, 62(6), 618–625. <https://doi.org/10.1037/h0043657>
- Murdock, B. B. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental*

- Psychology*, 64(5), 482–488. <https://doi.org/10.1037/h0045106>
- Murdock, B. B. (1967). Recent developments in short-term memory. *British Journal of Psychology*, 58, 421–433.
- Murray, D. J. (1967). The role of speech responses in short-term memory. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 21(3), 263–276. <https://doi.org/10.1037/h0082978>
- Murray, D. J. (1968). Articulation and acoustic confusability in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 78(4, Pt.1), 679–684. <https://doi.org/10.1037/h0026641>
- Myerson, J., Emery, L., White, D. A., & Hale, S. (2003). Effects of age, domain, and processing demands on memory span: Evidence for differential decline. *Aging Neuropsychology and Cognition*, 10(1), 20–27. <https://doi.org/10.1076/anec.10.1.20.13454>
- Nairne, J. S. (2002). Remembering Over the Short-Term: The Case Against the Standard Model. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 53–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135131>
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1170–1187. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.26.5.1170>
- Neath, I., & Brown, G. D. A. (2012). Arguments against memory trace decay: A SIMPLE account of Baddeley and Scott. *Frontiers in Psychology*, 3(FEB), 2–4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00035>
- Nee, D. E., & Jonides, J. (2013). Trisecting representational states in short-term memory. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00796>
- Nees, M. A., Corrini, E., Leong, P., & Harris, J. (2017). Maintenance of memory for melodies: Articulation or attentional refreshing? *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(6), 1964–1970. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1269-9>
- Newsome, R. N., Duarte, A., Pun, C., Smith, V. M., Ferber, S., & Barense, M. D. (2015). A retroactive spatial cue improved VSTM capacity in mild cognitive impairment and medial temporal lobe amnesia but not in healthy older adults. *Neuropsychologia*, 77, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.08.017>



- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220–246. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10748641>
- Nilsson, L.-G. (2003). Memory function in normal aging. *Acta Neurologica Scandinavica*, 107, 7–13. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.107.s179.5.x>
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: Willed and automatic control of behavior*. University of California at San Diego, CHIP Report 99.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Swartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory (Vol 4, pp 1-18)*. New York: Plenum Press.
- Oberauer, K. (2002). Access to Information in Working Memory: Exploring the Focus of Attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 28(3), 411–421. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.28.3.411>
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 601–626. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.08.009>
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2013). Evidence against decay in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 380–411. <https://doi.org/10.1037/a0029588>
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H.-M. (2005). Working Memory and Intelligence--Their Correlation and Their Relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 61–65. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.61>
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential Effects of Age on Item and Associative Measures of Memory: A Meta-Analysis. *Psychology and Aging*, 23(1), 104–118. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.23.1.104>
- Öztekin, I., Davachi, L., & McElree, B. (2010). Are Representations in Working Memory Distinct From Representations in Long-Term Memory? *Psychological Science*, 21(8), 1123–1133. <https://doi.org/10.1177/0956797610376651>

- Park, Denise C. (2000). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (pp. 3–21). Philadelphia: Psychology Press.
- Park, Denise C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging, 17*(2), 299–320. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.17.2.299>
- Park, Denise C., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., & Gaines, C. L. (1996). Mediators of Long-Term Memory Performance Across the Life Span. *Psychology and Aging, 11*(4), 621–637. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.11.4.621>
- Park, Denise C., Smith, A. D., Morrell, R. W., Puglisi, J. T., & Dudley, W. N. (1990). Effects of Contextual Integration on Recall of Pictures by Older Adults. *Journal of Gerontology, 45*(2), P52–P57. <https://doi.org/10.1093/geronj/45.2.P52>
- Pashler, H. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA, US: MIT Press.
- 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. <https://doi.org/10.1080/13803390600733064>
- Peterson, L., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology, 58*(3), 193–198. <https://doi.org/10.1037/h0049234>
- Plancher, G., Boyer, H., Lemaire, B., & Portrat, S. (2017). Under Which Conditions Can Older Participants Maintain Information In Working Memory? *Experimental Aging Research, 43*(5), 409–429. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2017.1369730>
- Portrat, S., Barrouillet, P., & Camos, V. (2008). Time-related decay or interference-based forgetting in working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34*(6), 1561–1564. <https://doi.org/10.1037/a0013356>
- Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2009). Working memory in children: A time-constrained functioning similar to adults. *Journal of Experimental Child Psychology, 102*(3), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2008.05.005>
- Portrat, S., & Lemaire, B. (2015). Is Attentional Refreshing in Working Memory Sequential?

- A Computational Modeling Approach. *Cognitive Computation*, 7(3), 333–345.  
<https://doi.org/10.1007/s12559-014-9294-8>
- Pratt, C. C. (1936). The law of disuse. *Psychological Review*, 43(1), 83–93.  
<https://doi.org/10.1037/h0059321>
- Rahhal, T. A., May, C. P., & Hasher, L. (2002). Truth and Character: Sources That Older Adults Can Remember. *Psychological Science*, 13(2), 101–105.  
<https://doi.org/10.1111/1467-9280.00419>
- Ranganath, C., & Blumenfeld, R. S. (2005). Doubts about double dissociations between short- and long-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(8), 374–380.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.06.009>
- Rankin, J. L., & Kausler, D. H. (1979). Adult Age Differences in False Recognitions. *Journal of Gerontology*, 34(1), 58–65. <https://doi.org/10.1093/geronj/34.1.58>
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Greene, E. J., & Johnson, M. R. (2007). Refreshing: a Minimal Executive Function. *Cortex*, 43, 135–145.  
[https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70451-9](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70451-9)
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (pp. 1–90). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.061>
- Rey, A. E., Riou, B., Muller, D., Dabic, S., & Versace, R. (2015). “The mask who wasn’t there”: Visual masking effect with the perceptual absence of the mask. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(2), 567–573.  
<https://doi.org/10.1037/xlm0000051>
- Rey, A. E., Versace, R., & Plancher, G. (2018). When a Reactivated Visual Mask Disrupts Serial Recall. *Experimental Psychology*, 65(5), 263–271. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000414>
- Richardson, J. T. E., & Baddeley, A. D. (1975). The effect of articulatory suppression in free

- recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14(6), 623–629. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80049-1](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80049-1)
- Ricker, T. J., & Cowan, N. (2010). Loss of visual working memory within seconds: The combined use of refreshable and non-refreshable features. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(6), 1355–1368. <https://doi.org/10.1037/a0020356>
- Ricker, T. J., & Cowan, N. (2014). Differences between Presentation Methods in Working Memory Procedures: A Matter of Working Memory Consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(2), 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.10.010.Use>
- Ricker, T. J., Nieuwenstein, M. R., Bayliss, D. M., & Barrouillet, P. (2018). Working memory consolidation: insights from studies on attention and working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 8–18. <https://doi.org/10.1111/nyas.13633>
- Ricker, T. J., Spiegel, L. R., & Cowan, N. (2014). Time-based loss in visual short-term memory is from trace decay, not temporal distinctiveness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(6), 1510–1523. <https://doi.org/10.1037/xlm0000018>
- Ricker, T. J., Vergauwe, E., & Cowan, N. (2016). Decay Theory of Immediate Memory: From Brown (1958) to Today (2014). *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(10), 1969–1995. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.914546>
- Rose, N. S., & Craik, F. I. M. (2012). A processing approach to the working memory/long-term memory distinction: Evidence from the levels-of-processing span task. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 38(4), 1019–1029. <https://doi.org/10.1037/a0026976>
- Rose, N. S., Myerson, J., Roediger, H. L., & Hale, S. (2010). Similarities and differences between working memory and long-term memory: Evidence from the levels-of-processing span task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 471–483. <https://doi.org/10.1037/a0018405>
- Rouder, J. N., Morey, R. D., Speckman, P. L., & Province, J. M. (2012). Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(5), 356–374. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>

- Rumelhart, D. E., Lindsay, P. H., & Norman, D. A. (1972). A process model for long-term memory. In *Organization of memory*. Oxford: Academic Press.
- Saito, S. (1997). When articulatory suppression does not suppress the activity of the phonological loop. *British Journal of Psychology*, 88(4), 565–578. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1997.tb02658.x>
- Saito, S., & Miyake, A. (2004). On the nature of forgetting and the processing–storage relationship in reading span performance. *Journal of Memory and Language*, 50(4), 425–443. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2003.12.003>
- Salamé, P., & Baddeley, A. (1986). Phonological factors in STM: Similarity and the unattended speech effect. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 24(4), 263–265. <https://doi.org/10.3758/BF03330135>
- Salthouse, T. A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *The handbooks of aging. Handbook of the psychology of aging* (pp. 400–426). New York, NY, US: Van Nostrand Reinhold Co.
- Salthouse, T. A. (1993). Speed Mediation of Adult Age Differences in Cognition. *Dev Psychol*, 29(4), 722–738. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.29.4.722>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.103.3.403>
- Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, 27(5), 763–776. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.27.5.763>
- Salthouse, T. A., & Meinze, E. J. (1995). Aging, Inhibition, Working Memory, and Speed. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 50B(6), P297–P306. <https://doi.org/10.1093/geronb/50B.6.P297>
- Salthouse, T. A., & Prill, K. A. (1987). Inferences about age impairments in inferential reasoning. *Psychology and Aging*, 2(1), 43–51. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.2.1.43>
- Schaper, M. L., Kuhlmann, B. G., & Bayen, U. J. (2018). Metamemory expectancy illusion and schema-consistent guessing in source monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. <https://doi.org/10.1037/xlm0000602>

- Scoville, W. B. (1954). The Limbic Lobe in Man. *Journal of Neurosurgery*, *11*(1), 64–66.
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of Recent Memory After Bilateral Hippocampal Lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *20*(1), 11–21. <https://doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11>
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *125*(1), 4–27. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.125.1.4>
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores : a neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *22*, 261–273.
- Shipley, W. C., Gruber, C. P., Martin, T. A., & Klein, A. M. (2009). *Shipley-2*. Los Angeles: CA: Western Psychological Services.
- Somberg, B. L., & Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*(5), 651–663. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.8.5.651>
- Souza, A. S. (2016). No age deficits in the ability to use attention to improve visual working memory. *Psychology and Aging*, *31*(5), 456–470. <https://doi.org/10.1037/pag0000107>
- Souza, A. S., & Oberauer, K. (2016). In search of the focus of attention in working memory : 13 years of the retro-cue effect. *Attention, Perception, & Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/s13414-016-1108-5>
- Souza, A. S., & Oberauer, K. (2017a). The contributions of visual and central attention to visual working memory. *Attention, Perception, & Psychophysics*. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1357-y>
- Souza, A. S., & Oberauer, K. (2017b). Time to process information in working memory improves episodic memory. *Journal of Memory and Language*, *96*, 155–167. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2017.07.002>
- Souza, A. S., Rerko, L., & Oberauer, K. (2014). Unloading and reloading working memory: Attending to one item frees capacity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(3), 1237–1256. <https://doi.org/10.1037/a0036331>

- Souza, A. S., Rerko, L., & Oberauer, K. (2015). Refreshing memory traces: Thinking of an item improves retrieval from visual working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1339*(1), 20–31. <https://doi.org/10.1111/nyas.12603>
- Souza, A. S., Vergauwe, E., & Oberauer, K. (2018). Where to attend next: guiding refreshing of visual, spatial, and verbal representations in working memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1424*(1), 76–90. <https://doi.org/10.1111/nyas.13621>
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, *10*(4), 527–539.
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, *74*(11), 1–29. <https://doi.org/10.1037/h0093759>
- Sperling, G. (1967). Successive Approximations to a Model for Short-Term Memory. *Acta Psychologica*, *27*, 285–292. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(67\)90070-4](https://doi.org/10.1016/0001-6918(67)90070-4)
- Starc, M., Murray, J. D., Santamauro, N., Savic, A., Diehl, C., Cho, Y. T., ... Anticevic, A. (2017). Schizophrenia is associated with a pattern of spatial working memory deficits consistent with cortical disinhibition. *Schizophrenia Research*, *181*, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.10.011>
- Stine-Morrow, E. A. L., Parisi, J. M., Morrow, D. G., & Park, D. C. (2008). The Effects of an Engaged Lifestyle on Cognitive Vitality: A Field Experiment. *Psychology and Aging*, *23*(4), 778–786. <https://doi.org/10.1037/a0014341>
- Stine, E. A. L., & Wingfield, A. (1987). Levels upon levels: Predicting age differences in text recall. *Experimental Aging Research*, *13*(4), 179–183. <https://doi.org/10.1080/03610738708259322>
- Strunk, J., Morgan, L., Reaves, S., Verhaeghen, P., & Duarte, A. (2018). Retrospective Attention in Short-Term Memory Has a Lasting Effect on Long-Term Memory Across Age. *The Journals of Gerontology: Series B*, 1–25. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby045>
- Tehan, G., Hendry, L., & Kocinski, D. (2001). Word length and phonological similarity effects in simple, complex, and delayed serial recall tasks: Implications for working memory. *Memory*, *9*(4–6), 333–348. <https://doi.org/10.1080/09658210042000049>
- Towse, J. N., & Hitch, G. J. (1995). Is there a Relationship between Task Demand and

- Storage Space in Tests of Working Memory Capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 48(1), 108–124.  
<https://doi.org/10.1080/14640749508401379>
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (1998). A Reevaluation of Working Memory Capacity in Children. *Journal of Memory and Language*, 39(2), 195–217.  
<https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2574>
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2000). On the interpretation of working memory span in adults. *Memory & Cognition*, 28(3), 341–348.  
<https://doi.org/10.3758/BF03198549>
- Tulving, Endel. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381–403). New York: Academic Press.  
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00047257>
- Tulving, Endel. (1983). *Elements of episodic memory*. Oxford University Press.
- Tulving, Endel. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385–398. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.4.385>
- Tulving, Endel. (2002). Episodic Memory: From Mind to Brain. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 1–25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- Tzeng, O. J. L. (1973). Positive recency effect in a delayed free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12(4), 436–439. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(73\)80023-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(73)80023-4)
- Umanath, S., & Marsh, E. J. (2014). Understanding How Prior Knowledge Influences Memory in Older Adults. *Perspectives on Psychological Science*, 9(4), 408–426.  
<https://doi.org/10.1177/1745691614535933>
- Underwood, B. J. (1957). Interference and forgetting. *Psychological Review*, 64(1), 49–60.  
<https://doi.org/10.1037/h0044616>
- Unsworth, N., Heitz, R. P., & Parks, N. A. (2008). The importance of temporal distinctiveness for forgetting over the short term: Research report. *Psychological Science*, 19(11), 1078–1081. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02203.x>
- Vallar, G., & Baddeley, A. D. (1984). Phonological short-term store, phonological processing



- and sentence comprehension: A neuropsychological case study. *Cognitive Neuropsychology*, *1*(2), 121–141. <https://doi.org/10.1080/02643298408252018>
- Van Der Linden, M., Beerten, A., & Pesenti, M. (1998). Age-Related Differences in Random Generation. *Brain and Cognition*, *38*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1006/brcg.1997.0969>
- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and Working Memory Inside and Outside the Focus of Attention: Dissociations of Availability and Accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *15*(6), 703–724. <https://doi.org/10.1080/13825580802061645>
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2009). Visual and Spatial Working Memory Are Not That Dissociated After All: A Time-Based Resource-Sharing Account. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *35*(4), 1012–1028. <https://doi.org/10.1037/a0015859>
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological Science*, *21*(3), 384–390. <https://doi.org/10.1177/0956797610361340>
- Vergauwe, E., Camos, V., & Barrouillet, P. (2014). The impact of storage on processing: How is information maintained in working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *40*(4), 1072–1095. <https://doi.org/10.1037/a0035779>
- Vergauwe, E., & Cowan, N. (2014). A common short-term memory retrieval rate may describe many cognitive procedures. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(March), 126. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00126>
- Vergauwe, E., & Cowan, N. (2015). Attending to items in working memory: Evidence that refreshing and memory search are closely related. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(4), 1001–1006. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0755-6>.Attending
- Vergauwe, E., Dewaele, N., Langerock, N., & Barrouillet, P. (2012). Evidence for a central pool of general resources in working memory. *Journal of Cognitive Psychology*, *24*(3), 359–366. <https://doi.org/10.1080/20445911.2011.640625>
- Vergauwe, E., Hardman, K. O., Rouder, J., Roemer, E., McAllaster, S., & Cowan, N. (2016). Searching for serial refreshing in working memory: Using response times to track the content of the focus of attention over time. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1818–1824.

<https://doi.org/10.3758/s13423-016-1038-1>

- Vergauwe, E., & Langerock, N. (2017). Attentional refreshing of information in working memory: Increased immediate accessibility of just-refreshed representations. *Journal of Memory and Language*, *96*, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2017.05.001>
- Vergauwe, E., Langerock, N., & Cowan, N. (2018). Evidence for spontaneous serial refreshing in verbal working memory? *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(2), 674–680. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1387-4>
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *18*(2), 332–339. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.2.332>
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and Executive Control: Reports of a Demise Greatly Exaggerated. *Current Directions in Psychological Science*, *20*(3), 174–180. <https://doi.org/10.1177/0963721411408772>.Aging
- 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. <https://doi.org/10.1080/02724980443000241>
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: A review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*(7), 849–857. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(02\)00071-4](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(02)00071-4)
- Verhaeghen, P., & Hoyer, W. J. (2007). Aging, Focus Switching, and Task Switching in a Continuous Calculation Task: Evidence Toward a New Working Memory Control Process. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *14*(1), 22–39. <https://doi.org/10.1080/138255890969357>
- Verhaeghen, P., Marcoen, A., & Goossens, L. (1993). Facts and fiction about memory aging: A quantitative integration of research findings. *Journal of Gerontology*, *48*(4), P157–P171. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=1994-01220-001&site=ehost-live&scope=cite>
- Verhaeghen, P., & Salthouse, T. A. (1997). Meta - analyses of age - cognition relations in adulthood: Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models.

- Psychological Bulletin*, 122(3), 231–249. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.122.3.231>
- Verhaeghen, P., Steitz, D. W., Sliwinski, M. J., & Cerella, J. (2003). Aging and dual-task performance: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(3), 443–460. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.18.3.443>
- Ward, G., & Maylor, E. A. (2005). Age-related deficits in free recall: the role of rehearsal. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 58(1), 98–119. <https://doi.org/10.1080/02724980443000223>
- Warrington, E. K., Logue, V., & Pratt, R. T. C. (1971). The anatomical localisation of selective impairment of auditory verbal short-term memory. *Neuropsychologia*, 9(4), 377–387. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90002-9)
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1969). The Selective Impairment of Auditory Verbal Short-Term Memory. *Brain*, 92, 885–896. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90002-9](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90002-9)
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 26(1), 15–20. <https://doi.org/10.1037/a0020912>
- Watkins, M. J., & Watkins, O. C. (1973). The postcategorical status of the modality effect in serial recall. *Journal of Experimental Psychology*, 99(2), 226–230. <https://doi.org/10.1037/h0034651>
- Waugh, N. C., & Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72(2), 89–104. <https://doi.org/10.1037/h0021797>
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R manual: Wechsler adult intelligence scale-revised*. San Antonio, Tex.: Psychological Corporation.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120(2), 272–292. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.2.272>
- Wetzels, R., Grasman, R. P. P. P., & Wagenmakers, E. J. (2012). A default Bayesian hypothesis test for ANOVA designs. *American Statistician*, 66(2), 104–111. <https://doi.org/10.1080/00031305.2012.695956>
- Wilson, B., & Baddeley, A. (1988). Semantic, episodic, and autobiographical memory in a postmeningitic amnesic patient. *Brain and Cognition*, 8(1), 31–46. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(88\)90037-1](https://doi.org/10.1016/0278-2626(88)90037-1)

- Yi, Y., & Friedman, D. (2014). Age-related differences in working memory: ERPs reveal age-related delays in selection- and inhibition-related processes. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21(4), 483–513. <https://doi.org/10.1080/13825585.2013.833581>
- Zacks, R. T., Hasher, L., & Li, K. Z. H. (2000). Human Memory. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (2nd ed., pp. 293–357). Lawrence Erlbaum Associates, Inc: Mahwah, N.
- Zigmond, A. S., & Snaith, R. P. (1983). The Hospital Anxiety and Depression Scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 67(6), 361–370. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x>



# Index des Figures

---

<b>Figure 1.1.</b> Résultats typiques lors d'une tâche de rappel libre.....	11
<b>Figure 1.2.</b> Le modèle d'Atkinson et Shiffrin (1971).....	12
<b>Figure 1.3.</b> Première version du modèle à composantes multiples.....	15
<b>Figure 1.4.</b> Deuxième version du modèle à composantes multiples.....	18
<b>Figure 1.5.</b> Troisième version du modèle à composantes multiples.....	20
<b>Figure 1.6.</b> Quatrième version du modèle à composantes multiples.....	21
<b>Figure 1.7.</b> Les liens entre MDT et MLT selon Baddeley.....	22
<b>Figure 1.8.</b> Le modèle des processus emboîtés.....	23
<b>Figure 2.1.</b> La boucle phonologique.....	35
<b>Figure 4.1. A.</b> Tâche d'empan complexe. <b>B.</b> Méthode de manipulation du CC.....	114
<b>Figure 4.2.</b> Procédure Etude 1.....	120
<b>Figure 4.3.</b> Résultats empans Etude 1.....	124
<b>Figure 4.4.</b> Résultats CC Etude 1.....	126
<b>Figure 4.5.</b> Procédure Etude 2.....	131
<b>Figure 4.6.</b> Résultats empans Etude 2.....	133
<b>Figure 4.7.</b> Procédure de rappel différé dans les tâches d'empan complexe.....	161
<b>Figure 4.8.</b> Proportion rappel immédiat Etude 6.....	184
<b>Figure 4.9.</b> Proportion rappel différé Etude 6.....	188
<b>Figure 4.10.</b> Rappel différé en fonction du temps libre Etude 6.....	191
<b>Figure 4.11.</b> Tâche de mémoire de source.....	196
<b>Figure 4.12.</b> Modèle multinomial pour mémoire de source unidimensionnelle.....	202
<b>Figure 4.13.</b> Modèle multinomial pour mémoire de source multidimensionnelle.....	204



# Index des Tableaux

---

<b>Table 4.1.</b> Informations sur les participants de l'Étude 1.....	119
<b>Table 4.2.</b> Réponses correctes à l'activité de traitement de l'Etude 1 .....	123
<b>Table 4.3.</b> Temps de réponses et coût cognitif de l'Etude 1 .....	125
<b>Table 4.4.</b> Réponses correctes à l'activité de traitement de l'Etude 2 .....	132
<b>Table 4.5.</b> Temps de réponses et coût cognitif de l'Etude 2 .....	134
<b>Table 4.6.</b> Informations sur les participants de l'Étude 6.....	183
<b>Table 4.7.</b> Résultats BANOVAs rappel immédiat et rappel immédiat conditionnel de l'Etude 6.....	185
<b>Table 4.8.</b> Résultats BANOVAs rappel différé et rappel différé conditionnel.de l'Etude 6.....	188