

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée à la Faculté des lettres et sciences humaines
de l'Université de Fribourg (Suisse)

Afin d'obtenir le titre de

Docteur ès Sciences en Psychologie
de l'Université de Fribourg

Docteur en Psychologie
de l'Université d'Aix-Marseille

Une médiation attentionnelle entre mémoire de travail et mémoire à long-terme ?

L'impact de la disponibilité du rafraichissement attentionnel sur les effets de connaissances à long-terme dans une tâche de mémoire de travail

Fiona Laura ROSSELET-JORDAN

(Val-de-Travers, NE, Suisse)

— — —

Cotutelle de thèse

Pr. Valérie CAMOS
Université de Fribourg

Dr. Marlène ABADIE
Université d'Aix-Marseille

Approuvé par la Faculté des lettres et des sciences humaines sur proposition des
professeur-e-s Valérie Camos, Marlène Abadie, Jean Saint-Aubin, Marie Poirier et Charles
Brainerd

Fribourg, le 10 juin 2022, Le Doyen Prof. Dominik Schöbi

Cet ouvrage est publié sous une licence Creative Commons Attribution 4.0 International
(CC-BY) : <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

<https://doi.org/10.51363/unifr.lth.2022.003>



"It doesn't stop being magic just because you know how it works."

Terry Pratchett

Résumé

Depuis des années, la dissociation entre mémoire de travail (WM) et mémoire à long terme (LTM) fait l'objet de nombreuses investigations. En effet, l'attention joue un rôle central dans la majeure partie des modèles théoriques de la WM (voir Logie et al., 2021 pour une revue complète). Chacun de ces modèles présente cependant des conceptions différentes quant à la manière dont l'attention modère le rôle de la LTM sur la WM. L'objectif de ce projet était donc de tester ce rôle de médiation de l'attention entre WM et LTM. Pour ce faire, nous avons choisi d'impliquer des effets de LTM dans des paradigmes de WM afin d'en tester la modulation quantitative et qualitative selon nos manipulations de la disponibilité attentionnelle en WM. Notre première action a donc été de comparer les prédictions de modèles importants du champ de la WM sur plusieurs études afin de préciser la nature de ce canal d'information. Des modèles multinomiaux ont ensuite été appliqués afin de préciser nos résultats en observant les processus impliqués lors du rappel et de l'encodage en WM.

Nos résultats indiquent que la contribution de la LTM en WM n'est pas modérée par le rafraichissement attentionnel. Ces résultats sont en accord avec de précédentes études (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018), ainsi qu'avec les observations faites de l'impact des mêmes facteurs sur les performances à long-terme (Jacoby et al., 1993). Ensuite, nos résultats indiquent que le maintien actif en WM privilégie largement un processus d'accès direct aux représentations de type verbatim plutôt qu'un engagement dans un processus de reconstruction. L'implication des connaissances en LTM peut améliorer l'encodage de ces représentations, ainsi que leur réactivation en WM, mais leurs effets bénéfiques ne sont pas attribuables à la disponibilité du mécanisme de rafraichissement attentionnel tel qu'actuellement décrit dans les modèles théoriques de WM.

Mots clés : Mémoire de travail, rafraichissement attentionnel, représentations à long-terme, verbatim

Abstract

An attentional mediation between working memory and long-term memory?

The impact of the attentional refreshing availability on the long-term knowledge effects in working memory tasks

For years, the dissociation between working memory (WM) and long-term memory (LTM) has been the subject of many questions. Indeed, attention plays a central role in all theoretical models of WM (see Logie et al., 2021 for a complete review). However, each models exhibits different conceptions of how attention moderates the role of LTM on WM. The objective of this project was therefore to test this mediating role of attention between WM and LTM. To achieve this, we choose to involve LTM effects in WM paradigms to test their quantitative and qualitative modulation depending on our manipulations of attentional availability in WM. Our first action was therefore to compare the predictions of important models of the WM field on several studies to clarify the nature of this information channel. Multinomial models were then applied to refine our results by observing the processes involved during recall and encoding in WM.

Our results indicate that the contribution of LTM in WM is not moderated by attentional refreshment. These results agree with previous studies (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018), as well as with the observations made of the impact of the same factors on long-term performance. (Jacoby et al., 1993). Then, our results indicate that active maintenance in WM largely favors a process of direct access to verbatim-type representations rather than an engagement in a reconstruction process. The implication of knowledge in LTM can improve the encoding of these representations, as well as their reactivation in WM, but their beneficial effects are not attributable to the availability of the attentional refreshment mechanism as currently described in theoretical models of WM.

Keywords: Working memory, attentional refreshing, long-term representations, verbatim

Remerciements

Ce travail ne serait rien sans l'énergie et le temps infini que Valérie et Marlène m'ont offert durant toutes ces années de thèse. Merci mille fois d'avoir compris bien avant moi, que je ne serais pas tranquille tant que ce que nous avons commencé toutes les trois pendant mon Master ne serait pas complété. Valérie, les mots sont trop faibles pour vous exprimer la gratitude que j'éprouve pour tout ce que vous m'avez offert. Votre passion, votre bienveillance, votre capacité à toujours savoir ce dont j'avais besoin (et ce généralement avant moi) m'ont fait avancer dans un cadre toujours serein. Marlène, de la même manière je ne te remercierais jamais assez pour toute ton énergie, ton humour, ta patience et surtout tes « *et si...* » qui n'ont pas de prix. Vous êtes des personnes rares et précieuses, et je me sentirai toujours privilégiée d'avoir pu partager un bout de votre univers.

Je remercie également les Professeurs Marie Poirier et Jean Saint-Aubin d'avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail de thèse. Depuis 2015, au grand minimum un de vos papiers a toujours dû se trouver sur mon bureau et c'est un plaisir de vous partager ce travail. Si le lecteur trouve une qualité supplémentaire au chapitre 5 de cette thèse, sachez que les révisions du Professeur Saint-Aubin y sont pour beaucoup.

Thank to Professor Charles Brainerd, for investing your time for my thesis, it means so much to me and I am very happy to have this opportunity to meet you and talk about these studies.

Un immense merci à Stéphanie qui est une *partner in crime* formidable. Merci d'avoir codé, fait des passations, passé des heures à débattre de si *tortue* et *baleine* étaient des mots suffisamment reliés ou non, et surtout : Merci d'avoir enduré le dépouillement des rappels Audacity ! Des pensées et des becs pour Serena, Gilou et Lady.

Que serait l'écriture d'un papier avec le Professeur Pierre Barrouillet sans une longue discussion à refaire le monde au travers de nos données ? Merci beaucoup pour tout ce que vous avez apporté à nos expériences du Chapitre 6 et pour votre capacité magique à n'y voir que des choses épatantes.

Je remercie les Professeurs Agnès Blaye et Patrick Lemaire de l'Université d'Aix-Marseille pour tout le temps qu'ils m'ont accordé au fil de plusieurs comités de suivi de thèse. Merci de m'avoir accueilli à Aix-Marseille. Tant qu'on est dans le Sud, un grand merci à Laurent Waroquier, notre S.O.S Code E-Prime ; et à Stéphane, Jean-Baptiste, Christelle et Yun, mes pro de l'EEG.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans la participation d'environ 400 participants. J'adresse toute ma gratitude aux étudiants et étudiantes de l'Université de Fribourg pour leur participation à nos études et à aux pré-tests. Merci également aux enfants qui ont participé au challenge que représentait pour eux les deux premières expériences. Je remercie particulièrement Jean-Marc Oberson, la Direction de l'Instruction publique de Fribourg, Cyril Pipoz et Cathy Frei de nous avoir permis d'accéder à leurs écoles et élèves. Merci aux enseignants et enseignantes des écoles Centre du Mail, du Val-de-Ruz, et de la Condémine pour leur collaboration.

Je n'aurais jamais pu collecter autant de données seules, aussi je remercie vivement tous les étudiants et étudiantes qui m'ont aidé dans le cadre de leur travaux de Bachelor, stages ou autre collaboration : Elisabeth Wairoux, Kim Heriksen, Andrea Fasel, Clémence Dorthe, Linda Cavallero, Gabriel Alleman, Johanne Weber, Jovana Savic, Chiara Hoderas, Sarah Fornerod, Katarina Stupar, Leila Bajrami, Léa Meier, Elisa Tschopp, Roberta Ottino et Thomas Genoud-Pracheix. J'espère vous avoir apporté autant que vous l'avez fait pour moi.

Je remercie SwissUniversities pour le subsidé conséquent qui a été accordé à nos travaux. Merci également au Fond d'Action de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, à l'Académie Suisse des Sciences Humaines et Sociales et au corps des collaborateurs et collaboratrices scientifiques CSWM de l'Université de Fribourg pour leurs financements qui m'ont permis de participer à des congrès internationaux. Enfin, merci beaucoup au Professeur Roberto Caldara de s'être impliqué dans ma soutenance de thèse.

Merci également à Nathalie Rappo pour sa gestion administrative de la procédure de cotutelle de thèse, Franziska Kolly pour sa bienveillance dans l'adaptation de mes taux horaire en 2021 ; et Sonia Carroll, mon guide dans l'administration française.

Même si je suis restée une asociale à chats, je n’imagine pas refaire ma thèse sans une équipe aussi géniale que celle de W-MOVE. Mille merci à Christophe, Philippe, Clément, Luisa, Jonathan, Masami, Marion, Manon et Johan. Vous m’avez tous appris bien des choses, du salage adéquat d’un plat aux notions théoriques les plus pointues, en passant bien sûr par un grand enrichissement linguistique. Vous êtes extraordinaires les amis. Merci aussi à tous les gens présents au détour d’un couloir, pendant une pause midi, pour un café, un cours, un concours, etc. Des becs à Anne-Raphaëlle, Romina, Mayron, Michaël, Claudie, Caro, Nayla, Helen, Tanya, Mathias, Angélique, Isabella, Arnaud, Baptiste, etc., Tellement de beaux moments et de chouettes expériences avec vous !

Beaucoup de reconnaissance envers Annie-Claude, Natascha, Céline, Pascale, les Dr Magnanelli, Auteri, Chevènement, Parisod, et tant d’autres qui m’aident encore aujourd’hui à redevenir autre chose qu’un champ de bataille et qui d’une certaine manière ont rendu cette rédaction possible.

A mes amis, merci d’être comme vous êtes et d’être restés présents durant toutes ces années, tout particulièrement durant la dernière. Sascha, Géraldine, Cléa, Adélaïde, Estelle, Éloïse, Clarisse, Chloé, Gil, Hugo, Lili, Loïc et Gaétan, et tant d’autres. Une pensée particulière pour mes frères et sœurs de la Phalange Noire, ce groupe aussi fabuleux qu’incroyable. Merci de m’offrir ces moments si magiques, improbables et déconnectés.

Merci Timothy, Candy, Roby, Yolaine, José, Eva et Sascha d’avoir si bien intégré la petite pièce rapportée que je suis à votre famille, j’ai beaucoup de chance de vous avoir.

Maman, Papa, Alain, Alexandra, Nonna... Que dire ? J’imagine que ma reconnaissance pour vous égale au moins votre incrédulité à l’idée que je n’ai pas encore quitté l’école. Merci de m’accepter comme je suis et de m’offrir ce petit cocon que nous formons tous ensemble, on s’y sent si bien. Câlins de rigueurs à la ménagerie familiale, Granit, Yuki, Citrouille et Câline.

Claude, tu sais déjà tout. Merci d’avoir toujours été là pour moi.

Impossible de terminer sans penser à Blackout et Suki, les assistants de bureau les plus adorables et apaisants qui soient.

Et merci à vous qui accordez du temps à mon travail.

Table des matières

Liste des figures	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des équations	III
PREFACE	1
PARTIE THEORIQUE.....	9
CHAPITRE 1. LA MEMOIRE DE TRAVAIL : ENTRE TRAITEMENT ET MAINTIEN	11
<i>Partie 1. Deux conceptions théoriques opposées sur la mémoire de travail.....</i>	<i>12</i>
1.1. Un modèle à composantes multiples.....	13
1.2. Mémoire de travail et mémoire à long-terme : Un système emboîté ?.....	16
1.3. L'influence de la mémoire à long-terme sur le focus attentionnel.....	18
<i>Partie 2. Capacités de maintien et de traitement : L'attention comme ressource principale ?.....</i>	<i>19</i>
2.1. Le modèle de partage temporel des ressources.....	23
2.2. Le coût cognitif : Entre demande attentionnelle et temps alloué	27
2.3. Les mécanismes de maintien verbaux en mémoire de travail	30
2.4. Indépendance entre les deux mécanismes de maintien et choix d'utilisation.....	35
<i>Résumé du Chapitre 1</i>	<i>37</i>
CHAPITRE 2. LA MEMOIRE A LONG-TERME : REPRESENTATIONS ET PROCESSUS DE RAPPEL	39
<i>Partie 1. Temporalité et contenu de la LTM : Une organisation hiérarchique</i>	<i>39</i>
<i>Partie 2. La théorie des traces floues.....</i>	<i>42</i>
2.1. Les faux souvenirs	45
2.2. Distinguer gist et verbatim : Modèle de reconnaissance conjointe	48
<i>Partie 3. Processus de double récupération dans le rappel des traces en mémoire</i>	<i>54</i>
3.1. Accès direct et familiarité.....	55
3.2. Distinguer accès direct, reconstruction et jugement de familiarité : Modèle Trichotomous Theory of Recall	57
<i>Partie 4. Une influence mutuelle entre WM et LTM.....</i>	<i>64</i>
<i>Résumé du Chapitre 2</i>	<i>66</i>
CHAPITRE 3. COMMENT LA MEMOIRE A LONG-TERME AFFECTE-ELLE LA MEMOIRE DE TRAVAIL : UN ROLE DE L'ATTENTION ?	67
<i>Partie 1. Les effets lexico-sémantiques améliorent les performances à court-terme.....</i>	<i>68</i>
1.1. L'effet d'association sémantique	71
<i>Partie 2. Comment les représentations à long-terme sont-elles utilisées en mémoire de travail ?.....</i>	<i>73</i>
2.1 Un effet d'élaboration des traces ?	75
2.2 Un effet de récupération des traces en LTM vers la WM ?	81
2.3. Le rafraichissement comme processus de reconstruction des traces ?	84
2.4. Le rafraichissement permet-il la réactivation des traces en WM ?	87
<i>Résumé du Chapitre 3</i>	<i>93</i>
CHAPITRE 4. VUE D'ENSEMBLE DES ETUDES	95
4.1. Modération des effets à long-terme par la disponibilité attentionnelle	96
4.2. Les processus d'accès direct et de reconstruction en mémoire de travail	98
4.3. Influence des interférences phonologiques et sémantiques sur les traces verbatim et gist en mémoire de travail.....	99
4.4. Plan d'analyse statistique et logiciels utilisés.....	102

PARTIE EXPÉRIMENTALE.....	105
----------------------------------	------------

CHAPITRE 5. ROLE OF ATTENTION IN THE ASSOCIATIVE RELATEDNESS EFFECT IN VERBAL WORKING MEMORY: BEHAVIORAL AND CHRONOMETRIC PERSPECTIVES.....	107
--	------------

1. Introduction.....	110
1.1. The role of attention in mediating semantic LTM impact on WM	110
1.2. Recall latency and errors as indexes of memory functioning.....	115
1.3. The present study	118
2. Experiment 1	122
2.1 Method.....	124
2.2. Results	127
2.3. Discussion	137
3. Experiment 2	139
3.1. Method.....	140
3.2. Results	141
3.3. Discussion	149
4. General discussion.....	150
4.1. Attention and relatedness impact different WM components	152
4.2. Insights from recall latency and error on LTM impact in WM	155
5. Conclusion.....	159
<i>Résumé et implications du Chapitre 5</i>	<i>161</i>

CHAPITRE 6. RECOLLECTIVE AND NON-RECOLLECTIVE PROCESSES IN WORKING MEMORY RETRIEVAL.....	163
---	------------

1. Introduction.....	166
1.1 Retrieval from LTM.....	166
1.2. Recollective and non-recollective retrieval.....	168
1.3. The present study	172
2. Experiment 1	175
2.1. Method.....	176
2.2. Results	177
2.3. Discussion	183
3. Experiment 2	183
3.1. Method.....	184
3.2. Results	185
3.3. Discussion	188
4. Experiment 3	189
4.1. Method.....	189
4.2. Results	190
4.3. Discussion	192
5. Experiment 4	193
5.1. Method.....	193
5.2. Results	194
5.3. Discussion	199
6. General discussion.....	200
6.1. The trichotomous theory and dual-process evidence in WM retrieval.....	203
6.2. Predominance of recollective processes in WM span tasks	204
6.3. Recollective processes and cognitive load.....	207
6.4. Associative relatedness favored encoding and CL affected maintenance in WM. What about redintegration?	208
6.5. The effect of repetition on recollection and its implications for WM theory.....	211
7. Conclusion.....	213
<i>Résumé et implications du Chapitre 6</i>	<i>214</i>

CHAPITRE 7. WHAT REMAINS YOU IN MIND? SEMANTIC AND PHONOLOGICAL INTERFERENCE EFFECTS ON FALSE MEMORIES AT SHORT-TERM.....	215
1. <i>Introduction</i>	218
1.1. Long-term false memories.....	219
1.2. The impact of WM maintenance mechanisms on the occurrence of false memories	221
1.3. Interference effects on recollection and familiarity: What is left in your mind?	222
1.4. The present study	226
2. <i>Method</i>	230
2.1. <i>Participant</i>	230
2.2. <i>Material</i>	231
2.3. <i>Procedure</i>	233
3. <i>Results</i>	235
3.1. Memory accuracy.....	235
3.2. Gist and verbatim memories.....	241
3.3. Semantic versus phonological interference comparisons	245
4. <i>Discussion</i>	247
4.1. False memories at short-term.....	249
4.2. Verbatim and gist representations underlying true and false memories	251
4.3. Similarity enhances gist-based recognition	252
4.4. Distraction of attention and interaction with interference effects	253
4.5. Toward a more intensive active maintenance?	255
6. <i>Conclusion</i>	256
<i>Résumé et implications du Chapitre 7</i>	258
CHAPITRE 8. DISCUSSION GENERALE	261
<i>Partie 1. Synthèse et discussion des résultats</i>	263
1.1. La disponibilité attentionnelle ne modère pas l'apport des connaissances à long-terme	265
1.2. Prédominance de l'accès direct et absence d'effet sur la reconstruction des traces.....	270
1.3. Représentations gist et verbatim en mémoire de travail.....	274
<i>Partie 2. Limitations et continuités des études présentées</i>	279
2.1. Divergences à propos de la présence ou non d'interaction entre rafraichissement attentionnel en WM et effets de LTM.....	279
2.2. Le rafraichissement attentionnel : Trop rapide pour être capté dans des données comportementales ?.....	281
2.3. Processus d'accès direct et de reconstruction en rappel libre en WM	282
2.4. Observer les représentations gist et verbatim également en tâche de rappel à court-terme	283
2.5. Un rôle de la répétition articulatoire ?	286
2.6. Considérer les différences interindividuelles.....	286
CONCLUSION	289
REFERENCES	293
ANNEXES	321

Liste des abréviations

BF	Facteur d'effet Bayésien.
CL	Coût cognitif.
CR	Modèle de reconnaissance conjointe.
D₁, D₂	Paramètre d'accès direct à l'essai 1 et essais suivants dans le <i>Trichotomous</i> .
DRM	Paradigme Deese-Roediger-McDermott.
EEG	Électro-encéphalographie.
FTT	Théorie des Traces Floues (<i>Fuzzy-Trace Theory</i>)
FR	Fausse reconnaissance.
G_r et G_t	Représentations gist pour fausses et vraies reconnaissances.
ISI	Intervalle inter-stimuli.
J₁, J₂, J₃	Paramètres de jugement de familiarité à l'essai 1 et essais 2 et 3 dans le <i>Trichotomous</i> .
L	État d'item en accès direct dans le modèle <i>Trichotomous</i> .
LOP	Niveau de profondeur de traitement.
LTM	Mémoire à long-terme.
MPT	Modèles multinomiaux en arbres de traitement.
M / SD	Moyenne / Déviation standard.
ms	Millisecondes.
PDP	Procédure de dissociation des processus.
p	Probabilité.
P_C	État d'un item reconstruit et rappelé dans le modèle <i>Trichotomous</i> .
P_E	État d'un item reconstruit mais non-rappelé dans le modèle <i>Trichotomous</i> .
PSM	Mémoires primaire-secondaire.
R₁, R₂	Paramètre de reconstruction à l'essai 1 et essais suivants dans le <i>Trichotomous</i> .
RT	Temps de réaction.
S₁, S_i	Phase d'étude n°1 et successives, précédent un test T ₁ ou T _i .
SCR	Modèle de reconnaissance conjointe simplifié.
STM	Mémoire à court-terme.
T₁, T_i	Tests n°1 et successifs (rappel ou reconnaissance).
TBRs	Modèle temporel de partage de ressources.
U	État d'item non-appris dans le modèle <i>Trichotomous</i> .
VDs	Variables dépendantes.
VI	Variables indépendantes.
V_r et V_t	Représentations verbatim pour fausses et vraies reconnaissances.
WM	Mémoire de travail.

Liste des figures

- FIGURE 1.** Représentation du modèle à composantes multiples.
- FIGURE 2.** Représentation du modèle de processus emboîtés.
- FIGURE 3.** Représentations de chaque tâches et résultats de Towse et Hitch (1995).
- FIGURE 4.** Représentation du modèle de partage temporel des ressources.
- FIGURE 5.** Représentations de la disponibilité attentionnelle selon le coût cognitif.
- FIGURE 6.** Représentations des paradigmes d'empan simples, complexe et de Brown-Peterson.
- FIGURE 7.** Principes de la *FTT* tels que testés sur la mémoire, jugement et prise de décision.
- FIGURE 8.** Arbre de probabilité du modèle simplifié de reconnaissance conjointe.
- FIGURE 9.** Illustration de l'arborescence de la théorie *Trichotomous* pour un item.
- FIGURE 10.** Illustration des tâches utilisées par Bartsh et al. (2018).
- FIGURE 11.** Illustration des tâches utilisées par Loaiza, Duperreault, et al. (2015).
- FIGURE 12.** Illustration des tâches utilisées par Vergauwe et Cowan (2015).
- FIGURE 13.** Représentation d'un essai de l'expérience 1 du Chapitre 5.
- FIGURE 14.** Représentation d'un essai de l'expérience 2 du Chapitre 5.
- FIGURE 15.** Représentation de la procédure des expériences du Chapitre 6.
- FIGURE 16.** Proportion des types de rappel dans les expériences du Chapitre 6.
- FIGURE 17.** Représentation de la procédure du Chapitre 7 pour les deux conditions.
- FIGURE 18.** Performances de reconnaissances des deux conditions du Chapitre 7.

Références de l'image utilisée dans les transitions : Nesteruk, I. *Floral sketch*. Repérée à <https://www.pinterest.ch/pin/203154633182455769/>

Liste des tableaux

- TABLEAU 1.** Récapitulatif des hypothèses présentées dans le Chapitre 3.
- TABLEAU 2.** Récapitulatif des expériences présentées dans la partie expérimentale.
- TABLEAU 3.** Résumé des prédictions et résultats principaux du Chapitre 5.
- TABLEAU 4.** Statistiques descriptives de chaque variable de l'expérience 1 du Chapitre 5.
- TABLEAU 5.** Résultats $BF_{inclusions}$ de chaque variable de l'expérience 1 du Chapitre 5.
- TABLEAU 6.** Statistiques descriptives de chaque variable de l'expérience 2 du Chapitre 5.
- TABLEAU 7.** Résultats $BF_{inclusions}$ de chaque variable de l'expérience 2 du Chapitre 5.
- TABLEAU 8.** Statistiques descriptives de chaque expérience du Chapitre 6.
- TABLEAU 9.** Résultats $BF_{inclusions}$ de chaque expérience du Chapitre 6.
- TABLEAU 10.** Répartition et paramètres pour chaque expérience du Chapitre 6.
- TABLEAU 11.** Résumé des prédictions et résultats principaux du Chapitre 7.
- TABLEAU 12.** Répartition et paramètres pour chaque expérience du Chapitre 7.
- TABLEAU 13.** Résumés des effets de coût cognitif et de LTM dans nos études.

Liste des équations

- ÉQUATION 1.** Coût cognitif.
- ÉQUATION 2.** Les trois paramètres de la théorie *Trichotomous*.
- ÉQUATION 3.** Développement complet de la théorie *Trichotomous*.
- ÉQUATIONS ANNEXE A.** Toutes les équations de la théorie *Trichotomous*.
- ÉQUATIONS ANNEXE B.** Toutes les équations du modèle *SCR*.

Préface

Il est difficile de se représenter à quel point la mémoire est essentielle à tout fonctionnement humain. Dès la naissance, la mémoire compile nos souvenirs, nos apprentissages et nos habilités. Sans elle, il nous serait impossible de lire, écrire ou même de communiquer avec un quelconque langage. Avec le temps et l'expérience, notre mémoire forge nos personnalités et nous permet une évolution constante en fonction de notre environnement et de notre vécu (Conway & Pleydell-Pearce, 2000). Cette mémoire à long-terme (LTM, de l'anglais *long-term memory*) est la plus souvent décrite spontanément par le grand public. Elle conserve nos souvenirs autobiographiques, nos connaissances déclaratives et nos habilités procédurales. Certaines informations disparaissent progressivement et d'autres restent stockées durant de nombreuses années. Cependant, la mémoire est multiple et ne se contente pas d'être un système de stockage d'informations ou d'événements. En effet, si la LTM pouvait être métaphorisée comme le disque dur de notre cognition, la mémoire de travail (WM de l'anglais *working memory*) s'apparenterait elle à la mémoire vive qui fait fonctionner le super ordinateur que nous sommes. La WM permet le traitement des données entrantes tout en faisant fonctionner parallèlement d'autres applications. Elle vous permet de lire ces lignes en en comprenant le sens, car vous maintenez en WM le début de chaque phrase jusqu'à arriver à la fin, tout en extrayant le sens global du texte. Ainsi, les deux mémoires sont constamment sollicitées et remplissent un rôle essentiel dans la cognition humaine, la LTM du fait de ses immenses facultés de stockage d'informations de natures diverses sur des périodes pouvant être infinies, et la WM du fait de ses capacités de maintien et de traitement des informations sur de plus courtes périodes. Il semble donc fondamental que ces deux mémoires interagissent d'une manière ou d'une autre.

Ainsi, et depuis des années, les relations entre la WM et la LTM ont été sujettes à débats et interrogations. L'objectif de ce travail de thèse est d'apporter de nouveaux éléments sur cette question en explorant la manière dont les connaissances à long-terme affectent qualitativement et quantitativement le maintien en WM. Au fil des études présentées, les trois étapes principales du traitement de l'information, c'est-à-dire l'encodage, le maintien et le rappel, seront examinées sous l'angle de ce questionnement. Le moyen par lequel la contribution de la LTM intervient en WM est notre plus grande source de questionnement au fil de ce travail. Les études réalisées examinent le rôle de l'attention comme potentiel modérateur de cette contribution.

Actuellement, plusieurs modèles théoriques décrivent les relations entre la WM et la LTM, soit en les présentant comme deux systèmes séparés (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley, 1986; Barrouillet & Camos, 2015), soit comme un système de mémoire unitaire (Brown et al., 2007). Entre ces deux « extrêmes » théoriques, des théories intermédiaires proposent la WM comme un sous-ensemble de représentations de la LTM qui se trouveraient temporairement dans un état d'accessibilité accrue (Cowan, 1995; Oberauer, 2002). Malgré ces différences fondamentales quant à la façon dont ces deux mémoires sont liées, chaque conception théorique met en évidence la nécessité d'un canal d'information bidirectionnel entre les deux systèmes mémoriels. Cependant, reste à comprendre *à quel moment et par quel moyen* les informations transitent, ainsi que la nature précise de ce canal. Notre point de départ a été l'hypothèse selon laquelle le mécanisme de rafraichissement attentionnel utiliserait les connaissances à long-terme et, en retour, affecterait leur stockage en LTM.

De précédentes études ont montré que l'utilisation du rafraichissement attentionnel affecte les traces en LTM, mais on ne sait pas si et comment ce mécanisme

mobilise ces traces pour le maintien de l'information en WM (Abadie & Camos, 2019; Camos & Portrat, 2015; Loaiza & McCabe, 2013; McCabe, 2008). L'objectif premier de ce travail de thèse a donc été de préciser le rôle de l'attention dans ce canal de communication d'informations afin d'éclairer les relations conjointes entre WM et LTM. Chaque étude manipule des aspects de WM et LTM et pose des hypothèses sur leurs potentiels effets et interactions. D'un côté la disponibilité attentionnelle en WM est manipulée au travers de variations du coût attentionnel de tâches concurrentes ou du temps mis à disposition pour la réalisation de celle-ci ; et de l'autre l'impact des connaissances à long-terme est modulé au travers des caractéristiques du matériel à mémoriser, en l'occurrence la similarité sémantique entre items. Les effets de ces variables ont été évalués en mesurant les performances de rappel ou de reconnaissance des participants, ainsi qu'au moyen d'autres mesures telles que les erreurs commises et les temps nécessaires au rappel.

La première étude réplique les effets bénéfiques connus de la similarité sémantique au rappel et de la disponibilité attentionnelle pour le maintien d'items en MDT. Cependant, et en accord avec de nouvelles études réalisées entretemps (voir Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018) nos résultats ne montrent aucune interaction entre ces deux facteurs. Ces observations nous ont conduit à explorer dans une deuxième étude les processus impliqués dans le rappel à court et long terme en fonction de la disponibilité du système attentionnel et de la nature des représentations de LTM impliquées dans la tâche. La théorie trichotomique du rappel (de l'anglais *Trichotomous Theory of Recall*) permet d'estimer la probabilité qu'un item se trouve dans un état particulier de rappel lors d'un essai (accès direct à la trace mémorielle, reconstruction de celle-ci ou oubli de la trace) et transite d'un état à un autre au fur et à

mesure des rappels successifs. L'accès direct désigne le fait qu'un item ait été récupéré avec les détails du contexte dans lequel il a été encodé. La reconstruction se produit en l'absence de ce contexte et implique alors un jugement de familiarité sur plusieurs items candidat au rappel. Ces conceptions théoriques sont présentées plus en détail en Chapitre 2 et sa mise en application en Chapitre 6 de ce travail de thèse. Les résultats des différentes expériences concordent entre elles et avec la littérature en général. Les observations permises par l'application du modèle *Trichotomous* montrent une prédominance des processus d'accès direct en WM, à l'inverse des observations faites en LTM où la reconstruction est la plus importante. Cette étude montre également que la similarité sémantique (effet de LTM) et disponibilité attentionnelle (effet de WM) ont toutes deux un effet sur l'accès direct aux traces mémorielles. Cependant, ses résultats seuls ne permettent pas d'en établir les causes exactes. En effet, s'il est établi que les connaissances à long-terme favorisent l'encodage et que le coût cognitif a un effet négatif sur le maintien, il est difficile de dissocier ces deux sources d'effets par nos précédentes observations. Notre dernière étude s'attaque donc à contrôler la nature des interférences que l'on peut induire à l'encodage en utilisant des distracteurs sémantiquement ou phonologiquement reliés aux items à rappeler.

Vue d'ensemble

Ce travail de thèse débute par une revue de la littérature au sujet de la WM et la LTM dans les Chapitres respectivement 1 et 2. Les effets expérimentaux importants appuyant les postulats théoriques et effets mis en pratique dans nos études sont développés. Le Chapitre 3 présente un état général actuel des connaissances quant aux relations entre WM et LTM, ainsi que quatre hypothèses majeures sur la question. Le Chapitre 4 conclue cette présentation théorique en présentant plus avant trois études qui

nous ont permis d'explorer notre question quant à comment les connaissances à long-terme affectent la WM. Deux premières expériences sont présentées dans le Chapitre 5 dans lesquelles nous avons examiné le rôle de l'attention comme potentiel modérateur de l'effet de connaissances à long-terme d'association sémantique dans une tâche de WM. Cette étude compare deux groupes d'âges, des adultes et des enfants de 8 à 12 ans. L'intérêt porté aux deux classes d'âge dans cette étude provient du fait que, comparativement aux adultes, les enfants ne montrent pas le même niveau d'habileté tant dans l'utilisation de leur mécanisme de rafraichissement attentionnel (Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011; Gaillard et al., 2011; Portrat et al., 2009a) que dans le recours spontané à leurs connaissances à long-terme (Schleepen & Jonkman, 2014). En plus des performances de rappel, cette étude présente également une analyse des erreurs commises et des temps engagés dans la tâche de rappel, chacun de ces indices pouvant être révélateurs de l'intervention de connaissances à long-terme.

Quatre expériences sont présentées dans le Chapitre 6. Dans ces études, nous reprenons les mêmes variables de coût attentionnel et de connaissances à long-terme et les plaçons dans un contexte permettant l'application du modèle multinomial *Trichotomous*. Ce modèle développé par Brainerd et al. (2009) a originellement été appliqué sur des procédures de rappel à long-terme mais peut tout à fait s'appliquer à des tâches de WM. Le *Trichotomous* permet de distinguer les processus de récupération de l'information conduisant au rappel, l'accès direct et la reconstruction. Des analyses de rappels différés ont également été effectuées afin de comparer l'impact de nos variables à court et à long-terme. Une dernière étude présentée en Chapitre 7 implique des distracteurs sémantiques et phonologiques afin d'induire des interférences du même ordre lors de l'encodage des items. Selon la Théorie des Traces Floues (*FTT*, de l'anglais

Fuzzy Trace Theory, Brainerd & Reyna, 2002; Reyna, 2012b), deux types de représentations sont encodées, maintenues et récupérées en parallèle lors de toute rencontre avec une information : des représentations dites *verbatim* et des représentations dites *gist*. Les représentations *verbatim* sont des traces exactes et précises de l'information tandis que les représentations *gist* à l'inverse sont des traces du sens global de l'information. Le paradigme de Reconnaissance Conjointe (*CR*, de l'anglais *Conjoint Recognition*) développé par Brainerd et al. (1999) permet de distinguer la proportion de réponses basées sur chaque type de représentation dans une tâche de reconnaissance. Notre but dans cette dernière étude est d'observer les effets de nos variables sur chaque type de représentations.

Ainsi, chaque série d'études porte sur l'observation de l'interaction entre la WM, au travers du rafraichissement attentionnel et la LTM au travers de la similarité sémantique. Ces effets sont observés sur les performances de rappel (correct vs., incorrect) et les temps de rappel (Chapitre 5), sur les processus de récupération qui soutiennent le rappel (Chapitre 6) et les représentations en mémoire (le contenu) qui donnent lieu à certains types de réponse en tâche de reconnaissance (Chapitre 7). Des variables similaires ont été systématiquement employées, permettant une comparaison entre les études. Ces études étant destinées ou déjà soumises à une publication d'ordre internationale, elles sont rédigées en anglais. Enfin, le Chapitre 8 discute de notre question de recherche et discute des résultats des trois études et de leurs apports. Une ouverture vers de nouvelles perspectives et de nouveaux questionnements y sont également abordés. Les applications de ces questionnements ont une importance scientifique certaine du fait de l'omniprésence de la WM dans tout travail exécutif et de la LTM dans tout apprentissage.



PARTIE THÉORIQUE



Chapitre 1. La mémoire de travail : Entre traitement et maintien

La mémoire de travail (WM) tire son nom de son aspect actif. Elle permet de maintenir un petit nombre d'informations sur lesquelles on investit notre attention durant plusieurs secondes (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). En plus de ce stockage sur une courte période, la WM permet également de manipuler les informations en question. Ainsi, la mémoire de travail est utile par exemple pour maintenir le numéro de page du chapitre que vous vouliez lire juste après l'avoir trouvé dans la table des matières ou pour planifier vos prochains mouvements aux échecs tout en continuant à bavarder (à moins que nous ne connaissions les numéros de chapitre par cœur et que votre expertise aux échecs ne vous permette d'appliquer des configurations de jeu apprises et stockées en LTM). La WM vous offre un espace de travail propice à élaborer et comparer les différentes informations qui y sont stockées. Elle n'est donc pas essentielle dans le seul domaine de la mémorisation à court-terme, mais également dans toutes activités de raisonnement, de compréhension du langage ou de texte, de calcul mental, de prise de décision, etc. En bref, le traitement d'une information, quelle que soit sa nature (verbale, visuelle, etc.), passe obligatoirement par la WM. Au vu de son utilisation constante, il n'est pas étonnant que la WM soit devenue un important champ de recherche et que les connaissances à son sujet se diffusent de plus en plus auprès du grand public.

Les premiers travaux empiriques qui ont ouvert ce champ de recherche furent réalisés par Baddeley et Hitch en 1974. Durant les années qui suivirent, leurs travaux ont posé les bases sur lesquelles plusieurs conceptions théoriques de la WM ont été

développées par la suite. Ce chapitre présente les bases théoriques et empiriques de deux conceptions majeures de la WM : Le modèle à composantes multiples, qui propose la WM et la LTM comme deux systèmes séparés, et les modèles plus unitaires qui décrivent la WM comme un sous-ensemble activé de la LTM. Une fois ces définitions posées, les capacités de maintien et de traitement sont explicitées, ainsi que les conclusions quant à un partage de ressources nécessaire entre ces deux capacités. Cet aspect est particulièrement développé au sein du modèle temporel de partage de ressources (TBRS, de l'anglais *Time-Based Resource-Sharing model*), initialement proposé par Barrouillet, Camos et Bernardin (2004). Les différents moyens permettant d'évaluer la WM et de la mesurer sont explorés par ce prisme. Enfin, nos connaissances actuelles au sujet des deux mécanismes de maintien de la WM, la répétition articulatoire et le rafraichissement attentionnel, sont présentées.

Partie 1. Deux conceptions théoriques opposées sur la mémoire de travail

Baddeley et al. (2021) relèvent une augmentation de plus de 140% de publications dans le domaine de la psychologie mentionnant le terme « *Working Memory* » dans leur titre durant les 30 années qui suivirent leur définition de 1974. Actuellement, l'intérêt pour ce domaine suit toujours une courbe d'intérêt exponentielle. Ainsi, les conceptualisations de la WM se multiplient et se précisent toujours un peu plus. Les sections suivantes de ce chapitre présentent donc brièvement certains des modèles les plus prépondérants dans la recherche actuelle : Les conceptions où WM et LTM sont deux systèmes distincts (tels que le modèle à composantes multiples de Baddeley) et les conceptions de mémoires emboîtées, plus unitaires (pour une revue complète et actuelle des modèles théoriques prépondérants de la WM, se référer à Logie et al., 2021). Malgré leurs différences fondamentales quant à la façon dont les deux systèmes de mémoires

coexistent, chaque conception théorique met en évidence la nécessité d'un canal d'information bidirectionnel entre les deux systèmes mémoriels. La comparaison des prédictions de ces modèles sur la question étant au cœur de notre première étude (voir Chapitre 5), le présent chapitre aborde ces différentes conceptions de WM.

1.1. Un modèle à composantes multiples

Bien que déjà évoquée quelques années plus tôt par Miller et al. (1960), c'est Alan Baddeley qui définit en 1966 la WM comme un mécanisme de maintien de l'information verbale. Progressivement, Baddeley et Hitch (1974) apportent des précisions à ce modèle et différencient alors clairement la mémoire à court-terme (STM de l'anglais *short-term memory*) de la WM. En effet, à l'inverse de la STM, la WM possède des capacités de traitements parallèles. Selon leur définition la plus récente, la WM est « un système à capacité limitée pour le maintien temporaire et le traitement d'informations nécessaires à la cognition complexe » (Baddeley et al., 2021, p.10). Les auteurs décrivent d'abord trois composantes principales de la WM (voir Figure 1, Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley & Logie, 1999). L'administrateur central (*central executive*) traite toutes les situations cognitives qui nécessitent de l'attention, telles que les situations de double-tâches, la lecture et la résolution de problème. Son rôle de superviseur le place comme composante centrale de la WM. Contrairement à d'autres composantes, l'administrateur central peut gérer toute information indépendamment de sa modalité (verbale, visuelle ou spatiale).

La deuxième composante est la boucle phonologique (*phonological loop*) qui elle est spécifique à la modalité verbale car elle met en place un processus de répétition articulatoire. Une suppression articulatoire, c'est à dire l'articulation répétée de n'importe

quel son ou suite de sons autres que ceux à mémoriser entrave considérablement l'utilisation de la boucle phonologique (Baddeley et al., 1984; Murray, 1967). Dans la même logique, la présentation auditive d'un mot à mémoriser donnera spontanément accès à la boucle phonologique, et la présentation visuelle du même mot devra d'abord être recodée phonologiquement pour être traitée au sein de cette boucle. Ce traitement phonologique fait que les performances de mémorisation diminuent en présence d'une forte similarité phonologique entre les items à retenir (Copeland & Radvansky, 2001; Gathercole & Baddeley, 1993; Salamé & Baddeley, 1982). Ainsi, un groupe de mots phonologiquement similaires tel que *chat*, *cape*, *lac* et *vache* par exemple sera moins bien rappelé que le groupe *chat*, *jupe*, *roche* et *cygne*. Larsen et al. (2000) évaluent une diminution du rappel des groupes de mots phonologiquement similaires d'en moyenne 25% par rapport aux groupes dissimilaires. Dans la même idée, il est a été montré que la mémorisation de mots plus longs à verbaliser diminuait également les performances (Baddeley et al., 1975; Jalbert et al., 2011; Mora & Camos, 2013). La récapitulation subvocale d'un groupe de mots courts tel que *craie*, *fil*, *plume*, et *miel* est plus rapide qu'un groupe de mots multi-syllabiques comme *association*, *opportunité*, *piraterie* et *demoiselle*.

Ces effets délétères de similarité phonologique et de longueur des mots, ainsi que leur disparition sous suppression articulatoire démontrent d'un encodage et d'un maintien spécifiquement verbal des items au sein de la boucle phonologique. La troisième composante, le calepin visuo-spatial (*visuo-spatial sketchpad*) est spécifique au maintien et à la manipulation d'informations visuelles, spatiales et haptiques (Baddeley, 2012). Un point intéressant peut être relevé au sujet de la lecture sur les lèvres et les langues des signes dont la modalité verbale surpasse la visuelle et qui, si elles sont maîtrisées, intègrent directement la boucle phonologique. Baddeley ajoute en 2000 une quatrième

composante, le tampon épisodique (*episodic buffer*), qui peut intégrer toutes les modalités et les informations de la boucle phonologique et du calepin visuo-spatial. Plus intéressant encore par rapport aux questions investiguées dans ce travail de thèse, le tampon épisodique intégrerait également des informations provenant directement de la LTM. Il sert donc d'intermédiaire entre les autres composantes et la LTM en combinant toutes les représentations en une structure cohérente (Repovš & Baddeley, 2006).

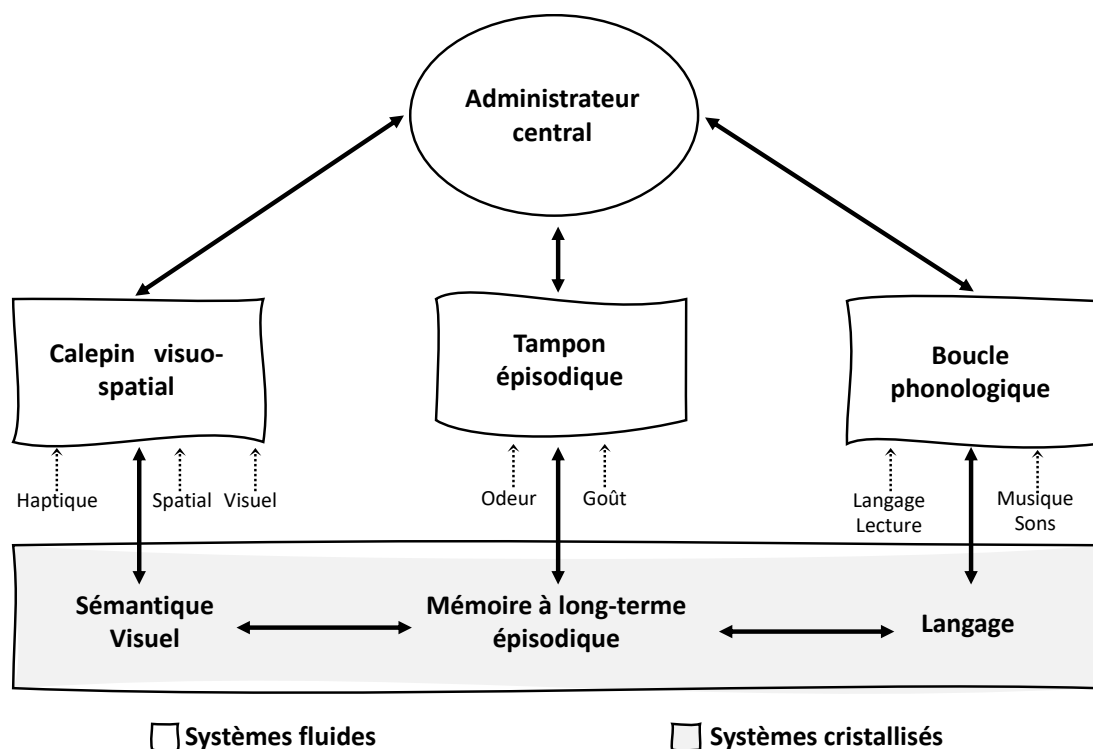


Figure 1. Représentation schématique du modèle à composants multiples de Baddeley et ses quatre composantes principales (l'administrateur central, le tampon épisodique, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) ainsi que les ressources potentielles de l'environnement et de la LTM. Adaptée de Baddeley et al. (2021).

L'existence et la fonctionnalité de ces quatre composantes sont soutenues empiriquement par plusieurs recherches comportementales, ainsi que par la

neuroimagerie et l'étude de patients cérébraux-lésés (voir Shallice & Papagno, 2019). Avec le temps, il ne serait pas exagéré de dire que des dizaines de nouveaux projets ont enrichis, précisés ou remis en cause différents postulats du modèle à composantes multiples (voir par exemple Logie, 1995 qui développe notamment les aspects du calepin visuo-spatial). Ce premier modèle a donc posé une base historique aux futurs travaux traitant de la WM.

Actuellement, les auteurs du modèle cherchent encore à préciser sa vision quant aux liens entre WM et LTM, mais conçoivent la WM comme la voie privilégiée de la cognition vers l'action. L'influence des effets découlant de la LTM sur la WM sont reconnus et découleraient d'une interaction entre les deux systèmes de mémoire au travers du tampon épisodique (Baddeley et al., 2021). Cependant, si Baddeley, ses co-auteurs et autrices dissocient la WM et la LTM comme deux systèmes séparés dans leur modèle, il n'en va pas de même dans toutes les approches théoriques de la WM. C'est le cas par exemple du modèle de Cowan (1999).

1.2. Mémoire de travail et mémoire à long-terme : Un système emboîté ?

Le modèle de processus emboîtés (de l'anglais *Embedded-Processes model*) de Cowan (1988; 1995, 1999a, 2001, 2016; 2019) est l'une des approches majeures de l'ensemble des recherches sur la WM. Ce modèle attribue à l'attention un rôle central dans le fonctionnement de la WM. Selon la définition récente de Cowan et al. (2021), la WM est définie comme la partie présentement activée de la LTM, la WM étant ainsi un élément emboîté à la LTM, contrairement à la vision des modèles à composantes multiples qui décrivent deux systèmes de mémoire séparés. Les stimuli entrent d'abord dans un espace de stockage sensoriel le temps de quelques centaines de millisecondes, ce qui est bien

suffisant pour activer des éléments de la LTM. Seule une petite partie de ces éléments (estimée à 3-4 items) peut alors être maintenue en même temps dans un état élevé d'accessibilité et peut être utilisée dans les traitements cognitifs en cours (voir Figure 2).

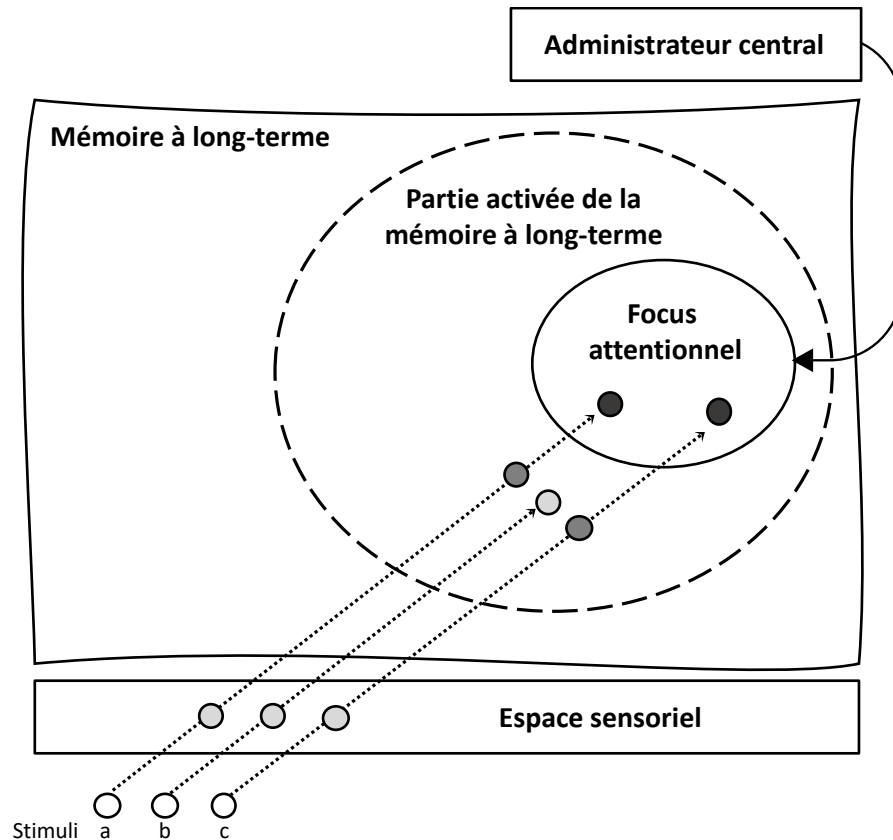


Figure 2. Représentation schématique du modèle de processus emboîtés et des stimuli (*a*, *b* et *c*) qui transitent par l'espace sensoriel et sont donc détectés dans la partie activée de la LTM. Dans cet exemple, les stimuli *a* et *c* entrent dans le focus attentionnel pour servir au traitement en cours, alors que le stimulus *b* est abandonné car jugé non-pertinent. Ne recevant pas d'attention, son activation décroît donc progressivement. Le stimulus *a* est un élément connu et le stimulus *c* représente un élément nouveau, mais tout deux peuvent être maintenus et utilisés au sein du focus attentionnel, sous la supervision de l'administrateur central. Adaptée de Cowan (1988, 1995, 2001).

Ces éléments restent dans cet état d'accessibilité tant qu'ils sont présents au sein du focus attentionnel. Conserver des informations dans le focus attentionnel est similaire au fonctionnement du tampon épisodique de Baddeley développé précédemment (Baddeley et al., 2018). Un apprentissage rapide de nouvelles informations est donc primordial à une utilisation optimale de cette partie activée de la LTM, soit la WM (Cowan, 2019). Selon l'exemple de l'auteur, dans la mémorisation de la série de chiffres 8-5-8, l'activation seule des chiffres 5 et 8 ne suffit pas. Il faut aussi assigner chaque chiffre à une position sérielle précise sur la séquence donnée. Si cette trace existait déjà en LTM, par exemple l'indicatif national d'un numéro de téléphone, la trace mémorielle n'a qu'à être réactivée directement. Dans le cas d'une séquence inconnue (par exemple les derniers chiffres du numéro de téléphone), cet apprentissage doit être fait rapidement car cette trace n'existe pas déjà en LTM, à l'inverse de l'indicatif qui lui était déjà connu. Si cette nouvelle trace est régulièrement ramenée dans le focus attentionnel, ses caractéristiques (chiffres, position sérielle, appartenance, etc.) se verront consolidées et resteront plus facilement et plus longtemps accessibles en LTM. Le contrôle attentionnel est donc primordial dans nos interactions avec l'environnement et notre traitement de l'information. Même si toutes les conceptions théoriques n'adoptent pas nécessairement le terme de « focus attentionnel », la majorité s'accordent sur cette nécessité d'apprentissage implicite et rapide (Cowan, 2019).

1.3. L'influence de la mémoire à long-terme sur le focus attentionnel

Le modèle de processus emboîtés fait partie des modèles supposant que la WM repose sur une activation directe au sein de la LTM (Majerus, 2019; Oberauer, 2002, 2009a) ou, au minimum, de la partie activée du système linguistique (Acheson & Macdonald, 2009; Kowialiewski & Majerus, 2018a; Majerus, 2013). Le modèle de

processus emboîtés se base également sur un fonctionnement au travers d'un mécanisme attentionnel, dans son cas le focus attentionnel. L'implication de connaissances à long-terme dans une tâche de WM permettrait de regrouper les représentations à maintenir facilement en plus grands blocs (*chunks*). Ce processus de *chunking* consiste en le fait de regrouper plusieurs items en un plus petit nombre de segments significatifs pour en améliorer le rappel (Miller, 1956). Quand le mécanisme de répétition pour le maintien des items et la LTM n'entrent pas en jeu, les capacités de rappel à court terme sont d'environ quatre *chunks* (Cowan, 2005). En présence de représentations à long-terme, les mots *moineau*, *plume* et *œuf* par exemple peuvent être regroupés autour du thème *oiseau* et peuvent être ramenés en mémoire en un seul ensemble (Jefferies et al., 2006a; Kowialiewski & Majerus, 2018b; Patterson et al., 1994). Les connaissances à long-terme peuvent donc être utilisées pour renforcer les traces en WM et permettent d'augmenter l'efficacité du focus attentionnel dans le cas où plusieurs informations ont pu être réunies en *chunks* (Cowan et al., 2021). Cet échange d'informations entre WM et LTM semble pouvoir être contrôlé, notamment dans les cas où il faut protéger les traces contenues en WM des interférences proactives liées aux représentations à long-terme (Bartsh & Shepherdson, 2021; Oberauer et al., 2017). Pour contrecarrer le déclin des traces, Vergauwe et Cowan (2014 ; 2015) ont récemment suggéré que les traces mnésiques soient rafraîchies ou réactivées par un balayage rapide du contenu de la WM (voir Chapitre 3, partie 2.4).

Partie 2. Capacités de maintien et de traitement : L'attention comme ressource principale ?

Emboîtées ou non, la différence la plus saillante entre la WM et la LTM réside évidemment dans leurs capacités de maintien distinctes (Atkinson & Shiffrin, 1968). Si la

capacité de la LTM n'a aucune limite et peut maintenir une quantité infinie d'informations sur de longues périodes de temps, la WM ne peut maintenir « que » 7 ± 2 éléments à la fois (Miller, 1956). En cas de nécessité de partage de ressources comme c'est généralement le cas lors de l'utilisation de la WM, cette capacité se réduit à un maximum de trois à quatre éléments ou regroupements d'éléments (*chunks*) à la fois (Chen & Cowan, 2009; Cowan, 2001; Cowan et al., 2012). Selon les approches théoriques, ce nombre peut varier, mais l'approximation de quatre éléments reste un consensus relativement majoritaire. La différence entre les deux systèmes de mémoire tient également dans le travail de traitement que la WM peut effectuer en même temps que son travail de maintien. Cependant, deux conceptions s'opposent quant aux ressources en jeu dans ce travail conjoint de traitement et maintien. La première position décrit les ressources comme étant spécifiques à chaque tâche. Maintien et traitement sont ainsi indépendants car soutenus par des ressources différentes. A l'inverse, Baddeley et Logie (1999) exposent qu'en situation de double-tâche, ce sont les types des tâches combinées et non pas le coût cognitif total de celles-ci qui détermineraient la diminution des performances.

Duff et Logie (2001) étayaient ce point de vue dans une expérience mettant en place une tâche d'empan croissant de mots et une tâche de vérification de phrases dans laquelle les participants doivent mémoriser et juger le sens de phrases simples (e.g., « *les chats pondent des œufs* »). Les participants faisaient ces deux tâches de mémorisation et de jugement séparément afin d'estimer leur empan maximum personnel. Une fois adaptées à leurs performances personnelles, les deux tâches devaient être effectuées simultanément. Si les demande de traitement et de maintien poussent la WM au maximum des capacités du participant, le fait d'exécuter une double tâche devrait occasionner une baisse importante des performances par rapport à quand les tâches sont effectuées de

manière non-conjointe. Les résultats de Duff et Logie (2001) montrent une diminution des performances, mais bien moins forte qu'attendue. Ils en concluent qu'un partage de mêmes ressources impliquerait une plus forte diminution des performances et que la diminution observée doit plutôt être attribuée au fait de devoir traiter deux tâches simultanément. Si toutes les ressources fonctionnent séparément, le fait qu'une tâche puise dans l'une d'entre elle n'a pas d'impact sur l'efficacité des autres ressources à disposition (voir Cocchini et al., 2002).

Face à cette conception de spécificité des ressources, d'autres expliquent ces résultats par le fait que les ressources sont générales. Cette dernière conception considère le plus souvent que l'attention est la ressource générale permettant le traitement et le maintien d'informations (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Cowan, 1999a; Engle et al., 1999). L'attention étant limitée et gérant à la fois le traitement et le maintien, il est alors logique que des effets délétères soient constatés lorsque qu'elle ne peut pas être partagée équitablement. Le traitement et le maintien partagent un espace cognitif ou une ressource attentionnelle (Barrouillet et al., 2011; Case, 1985; Daneman & Carpenter, 1980; Just & Carpenter, 1992). Ceci suppose un compromis (ou *trade-off*) entre traitement et maintien. Si on traite beaucoup, on dispose alors de moins de ressources pour maintenir, et réciproquement. Ce principe de vases communicants est particulièrement visible dans la relation linéaire entre le développement des capacités de maintien et celles de traitement chez les enfants (Cowan, 2005; Pascual-Leone, 1970).

Si la question quant à l'indépendance des processus de traitement et de maintien perdure encore, Towse et Hitch (1995) ajoutent un nouvel élément à prendre en considération : Le temps. Dans leur étude de 1995, les auteurs comparent les performances d'enfants de 7 à 9 ans sur trois types de tâches de comptage d'items : Une

tâche facile et courte, une autre facile mais longue car comportant un nombre d'objets plus important que précédemment, et une tâche difficile impliquant la discrimination des bons items parmi des leurres. Le but des participants était de compter le nombre d'items cibles présentés sur un nombre croissant de planches et de mémoriser les résultats de chaque comptage jusqu'à la phase de rappel (voir Figure 3).

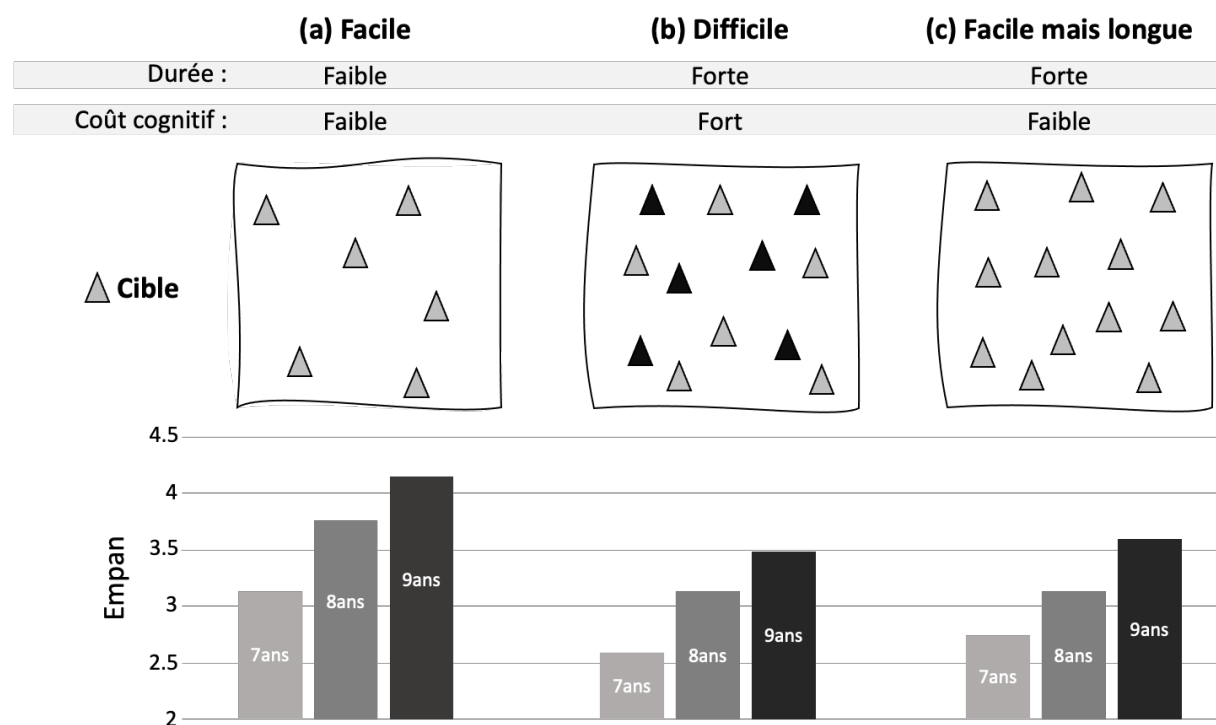


Figure 3. Durées et coûts cognitifs (faibles vs., forts) de chaque tâche de Towse et Hitch (1995). La tâche facile (a) comporte peu d'items à traiter (durée faible) et tous de même type (coût cognitif faible). La tâche difficile (b) impose de discriminer les cibles parmi des distracteurs, ce qui augmente à la fois la durée et le coût cognitif de la tâche. La dernière tâche (c) mixe les deux conditions en multipliant les cibles (durée forte), mais sans complexifier la tâche (coût cognitif faible), la rendant ainsi facile, mais longue à traiter. Les résultats sont indiqués en empans de comptage pour chacune des tâches sous la planche correspondante, pour les enfants de 7, 8 et 9 ans.

Les résultats de Towse et Hitch (1995) présentés dans la partie inférieure de la Figure 3 confirment, au-delà d'un effet développemental classique, que chacune de ces tâches impliquent des charges attentionnelles qualitativement différentes. A chaque âge, les performances sont plus faibles lorsque la tâche était longue à réaliser (b et c) que quand la tâche est rapidement faite (a) Parallèlement, le coût cognitif plus faible de la tâche facile mais longue (c) par rapport à la tâche difficile (b) n'a que peu d'incidence sur les performances. Le temps pris à la réalisation de la tâche affecte donc les performances. Pour Towse et Hitch (1995), l'augmentation des empan au fil du développement dépend de la durée imposée par le maintien (laquelle diminue grâce à des traitements de plus en plus rapides) plus que du coût cognitif du traitement. Ces résultats posent les prémices de l'hypothèse du déclin temporel (voir Towse et al., 1998, 2000, 2002; Towse & Houston-Price, 2001). Les traces en WM se dégradent avec le temps, peu importe leur coût de traitement. Le temps accordé au traitement d'une tâche concurrente influe également directement sur les performances mémorielles. Plus le temps investi dans le traitement est important, plus les représentations maintenues se dégradent. Towse et al. (2000) montrent même qu'en cas de traitement séquentiel de quatre opérations arithmétiques de durées différentes, les performances de mémorisation des résultats de ces quatre opérations sont moins bonnes lorsque les opérations les plus longues à résoudre sont présentées en fin de tâche qu'au début, et ce autant chez des participants adultes qu'enfants de 8 à 10 ans. L'efficacité du maintien de l'information ne dépend donc pas seulement de l'efficacité des traitements, mais également du temps qu'on y accorde.

2.1. Le modèle de partage temporel des ressources

Le modèle de partage temporel des ressources (TBRS, de l'anglais Time-Based Resource-Sharing model, Barrouillet, Bernardin, et al., 2004) met en avant l'importance

de ce facteur temporel dans la WM. Le modèle se place parmi les héritiers de l'approche à composantes multiples de Baddeley (voir partie 1.1) plutôt que dans la logique des modèles emboîtés qui définissent la WM comme un sous-système de la LTM (voir partie 1.2). Selon le TBRS, la WM se définirait comme « *l'espace mental où les représentations sont construites, élaborées et modifiées, constituant ainsi le siège de la pensée, de l'intelligence et de l'apprentissage* » (Barrouillet & Camos, 2021, p.85). Le modèle décrit le rôle de l'attention en tant que ressource générale dont dépendent les processus de traitement et de maintien en tenant compte des résultats de Towse et Hitch (1995; Towse et al., 1998, 2002). Les deux processus ne fonctionnent pas indépendamment l'un de l'autre et doivent se partager les ressources attentionnelles disponibles en quantités limitées. D'un côté, le focus attentionnel réactive et rafraîchit les traces en mémoire, ce qui permet le maintien de celles-ci ; et de l'autre, le traitement permet la sélection et la manipulation d'informations au travers de l'attention (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Barrouillet et al., 2007; Barrouillet & Camos, 2015, 2021; Barrouillet et al., 2011).

Le modèle TBRS suit quatre prémices (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). Premièrement, maintien et traitement dépendent tous deux de la ressource limitée qu'est l'attention. La vision selon laquelle tout traitement objectif en WM nécessite l'engagement de ressources attentionnelles est globalement partagée par la majeure partie des modèles théoriques (mais voir Jones & Macken, 2018 pour une vision différente à propos du matériel verbal). Deuxièmement, si une tâche cognitive requiert à la fois maintien et traitement, une alternance attentionnelle d'un processus à l'autre doit être effectuée car l'attention ne peut être portée sur plus d'un item à la fois à un moment t . De fait, dès que l'attention est investie dans le traitement plutôt que dans le maintien, les traces mémorielles souffrent d'un déclin temporel. Un rafraîchissement attentionnel de ces

traces n'est possible qu'en y ramenant le focus attentionnel avant leur disparition (voir également Camos et al., 2009). Enfin, même s'il est possible de maintenir environ quatre éléments à la fois, chaque élément ne peut être réactivé qu'individuellement par refocalisation attentionnelle, postulat partagé par les modèles unitaires de la WM (voir Cowan, 1995; Oberauer, 2003). Un balayage rapide du focus attentionnel est donc nécessaire d'un élément à l'autre. C'est cette alternance qui permet le partage de l'attention, essentiel à la mémorisation et à la réalisation de tâches cognitives. La capacité de la WM dépend donc de plusieurs paramètres. D'abord, la quantité d'informations pouvant être réactivées est en lien direct avec l'efficacité de l'alternance attentionnelle réalisée entre maintien et traitement. Troisièmement, lorsqu'une tâche concurrente est réalisée en alternance avec la tâche principale, elle génère une charge cognitive, couteuse en temps et en attention. Enfin, les capacités en WM suivent également une courbe développementale et le taux de dégradation des traces mémorielles diminue ainsi au fil du développement de l'enfant (Camos & Barrouillet, 2012; Cowan et al., 2000).

Les représentations en WM sont prises en charge par la boucle exécutive (voir Figure 4), qui s'apparente ici aux précédentes conceptions d'administrateur central. Cette boucle exécutive s'effectue entre le tampon épisodique où sont maintenues les représentations et le système de production d'où émanent les instructions exécutives permettant de maintenir, reconstruire, manipuler ou actualiser ces représentations avant qu'elles ne disparaissent. Le système de production peut ainsi recourir à d'autres systèmes tels que les tampons dévolus aux modalités sensorielles (phonologique, visuo-spatiales, etc.), ainsi qu'aux représentations stockées en LTM.

La LTM peut donc être présentée comme un système périphérique capable d'appuyer tant le maintien que le traitement des représentations en WM. La partie

expérimentale de cette thèse (Chapitres 5 à 7) investigate les modalités d'action de cette interaction entre les deux systèmes. Le modèle comporte également un mécanisme de répétition articulatoire semblable à une boucle phonologique qui, une fois amorcé, nécessite peu de ressources attentionnelles (Camos & Barrouillet, 2014). Le processus de maintien n'est donc définitivement pas passif mais dépend toujours d'un engagement attentionnel (voir également Langerock et al., 2014).

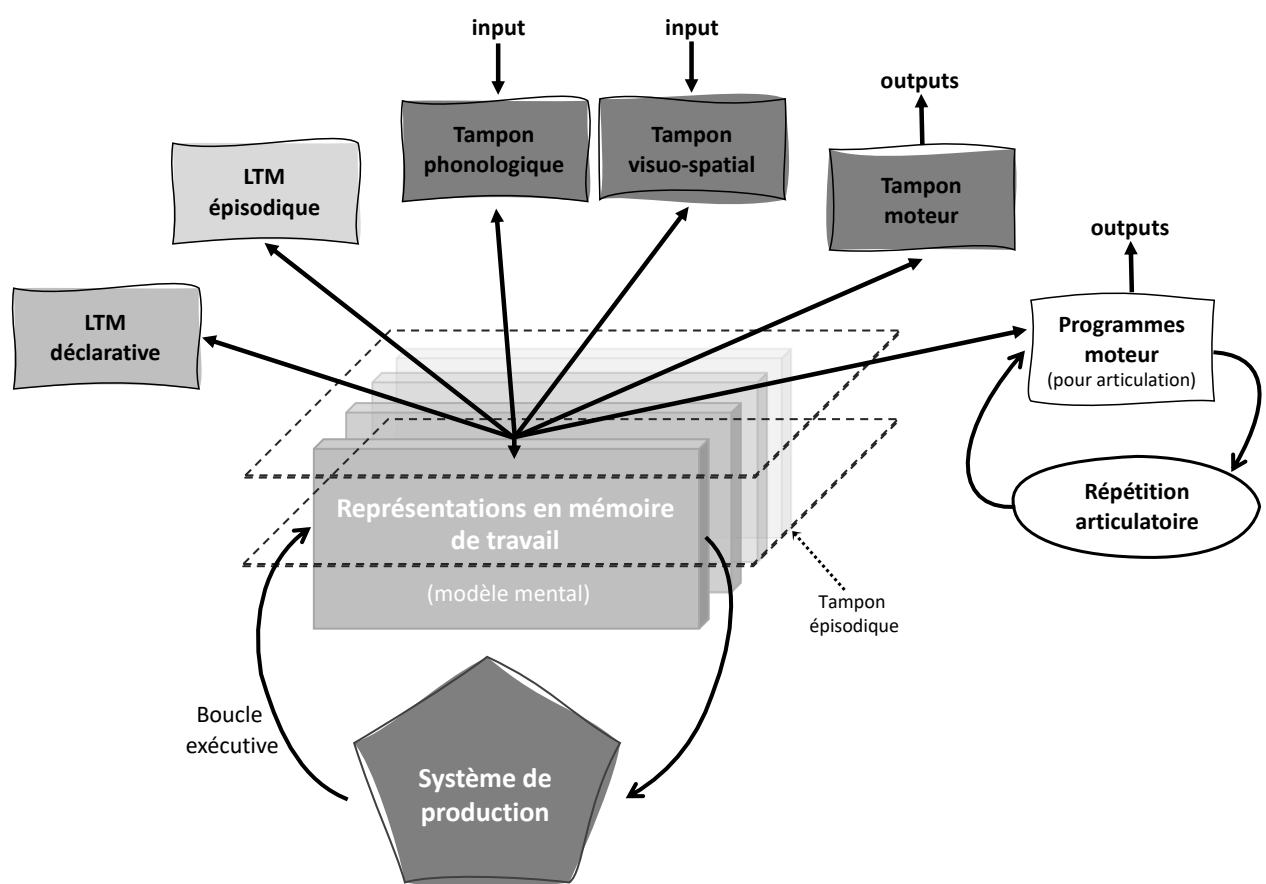


Figure 4. Représentation schématique de l'architecture de la WM selon le modèle de partage temporel des ressources (TBRS). Adaptée de Barrouillet and Camos (2021)

2.2. Le coût cognitif : Entre demande attentionnelle et temps alloué

En situation de multitâches, un exercice facile peut rapidement devenir complexe. Lire des séries de chiffres tout en récapitulant des informations fait partie des tâches de la vie quotidienne. En mettant cet exemple dans un contexte écologique, c'est ce qu'il se passe lorsque que vous faites vos courses tout en calculant les coûts pour ne pas dépasser un budget précis : Vous additionnez des prix tout en récapitulant la liste de ce que vous voulez acheter. Une coordination de tâches simples, mais qui se complexifie les jours où vous disposez de moitié moins de temps pour faire vos courses ou quand vos rayons habituels sont modifiés. Chaque tâche est ainsi associée à un coût cognitif qui peut être impacté par son contexte et par le temps que nous pouvons lui allouer. Une tâche qui permet une réactivation fréquente et suffisante du contenu de la WM a un coût cognitif plus faible et aboutira donc à de meilleures performances.

Barrouillet et al. (2004; enrichi ensuite par Barrouillet et al., 2007; et Barrouillet & Camos, 2015) définissent le coût cognitif dans l'Équation 1 en fonction du nombre de récupérations (N) à effectuer en parallèle du temps requis pour l'accomplissement d'une tâche (t) selon le temps total disponible pour réaliser tout cela (T).

$$\text{Coût cognitif} = Nt / T \quad (\text{Équation 1})$$

La Figure 5 schématise la disponibilité attentionnelle en fonction du coût cognitif au sein d'une tâche concurrente (a). Une tâche plus complexe (b), une multiplication des tâches (c) ou un temps plus court accordé à leurs réalisations (d) nécessiteront plus de ressources attentionnelles, au détriment du maintien des informations à conserver en mémoire. Étant réactivées moins souvent ou moins longtemps, ces traces mémorielles se

dégradent plus rapidement et les performances s'en ressentent. Au-delà de la complexité, c'est bien le temps de capture attentionnelle qui est primordial pour déterminer le maintien en WM (Barrouillet et al., 2007; Barrouillet et al., 2011; Lépine et al., 2005; Vergauwe et al., 2010b).

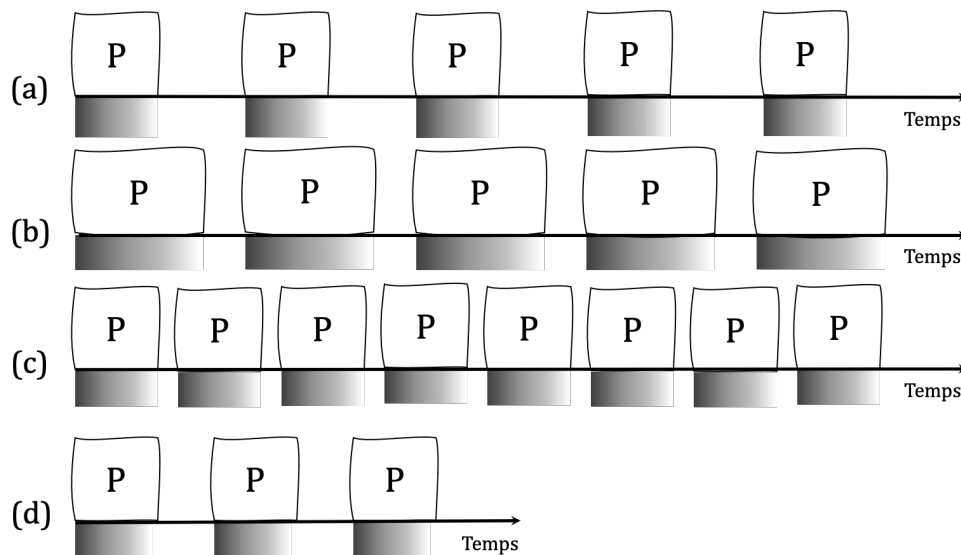


Figure 5. Représentations schématiques de la disponibilité attentionnelle selon le coût cognitif, où « P » symbolise la présentation de tâches concurrentes et les zones grises en dessous la capture attentionnelle qui en résulte. En comparaison avec une tâche de base (a), il est possible d'augmenter le coût cognitif en manipulant les variables de temps disponible pour réaliser la tâche t (b), le nombre de récupération N (c) et le temps total disponible T (d) au sein de la tâche. Adaptée de Barrouillet and Camos (2021).

Selon l'objectif recherché, il est donc possible d'être très imagitatif dans la création de tâches secondaires. Celles-ci sont majoritairement utilisées au sein de deux types de paradigmes : L'empan complexe et le paradigme de Brown-Peterson. Par opposition à l'empan simple (avec ou sans délais), les paradigmes d'empan complexe et de Brown-Peterson impliquent la réalisation d'une tâche secondaire en plus du maintien de stimuli.

Dans le paradigme de Brown-Peterson (Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959), tous les stimuli sont présentés en début de procédure, suivis ensuite par la tâche concurrente (voir Figure 6). Dans l'empan complexe (Case et al., 1982; Daneman & Carpenter, 1980; Turner & Engle, 1989), les stimuli à mémoriser sont présentés en alternance avec les stimuli de la tâche secondaire. Étant particulièrement propice à l'observation des modulations de la disponibilité attentionnelle (Gathercole et al., 2014; LaPointe & Engle, 1990), nous avons privilégié son utilisation au sein des études présentées dans la partie expérimentale de ce travail. Ces paradigmes d'empan présentent des listes de stimuli qui augmentent en nombre en fonction des réussites de rappel.

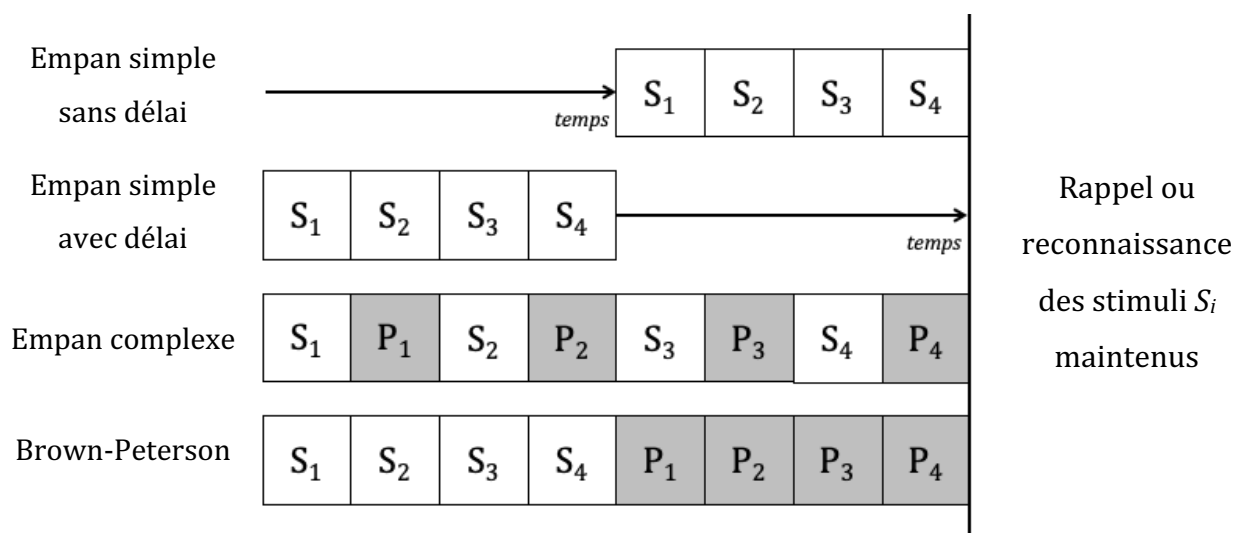


Figure 6. Représentations schématiques des paradigmes d'empan simple (avec et sans délais), d'empan complexe et de Brown-Peterson. S_i correspondent aux stimuli à mémoriser et P_i aux tâches concurrentes avant le rappel (souvent sériel) ou la reconnaissance des stimuli S_i . Adaptée de Fitamen (2018).

Un score d'empan mnésique peut ainsi être défini pour chaque individu selon la performance maximale observée d'un nombre de mots défini, le rappel se faisant généralement dans l'ordre de présentation des stimuli. La capacité d'empan augmente avec l'âge (Gathercole, 1995; Hulme & Roodenrys, 1995). Au sein de ces paradigmes, il est possible de manipuler l'intervalle de rétention, la présence ou l'absence de délai ou de suppression articulatoire, le nombre ou la nature des stimuli à maintenir, etc. Il est également possible d'utiliser les paradigmes d'empan avec un nombre fixe de stimuli. Ces choix dépendent des observations que l'on souhaite mener.

2.3. Les mécanismes de maintien verbaux en mémoire de travail

Même si elle est active dans le traitement, la WM reste avant tout un système dévolu au maintien d'informations. Au quotidien, ces informations sont souvent verbalisées de façon subvocale. L'oubli d'informations a d'abord été simplement expliqué par le déclin des traces au fil du temps (Brown, 1958). Depuis, l'étude des mécanismes et des durées de maintien a mis en avant et testé d'autres hypothèses permettant d'expliquer ce phénomène de désintégration des traces mémorielles. Les deux principales théories qui s'opposent sont celles du facteur temporel tel que développé dans le modèle TBRS, et la théorie de l'interférence qui avance que des traitements simultanés jouent un rôle prépondérant dans le déclin des informations (Altmann, 2002; Altmann & Gray, 2002; Oberauer & Kliegl, 2006; Oberauer & Lewandowski, 2008).

Parmi toutes les informations entrant en WM, les informations, qu'elles soient pertinentes ou non, peuvent interférer avec les informations pertinentes au détriment de leur maintien ou de leur utilisation dans le traitement. Dans les deux cas, des mécanismes sont donc nécessaires pour effectuer le maintien des informations pertinentes, tant face

au déclin que face aux interférences. La boucle phonologique met en avant l'importance d'un mécanisme de répétition articulatoire pour le maintien verbal (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley et al., 1984; Baddeley & Logie, 1999; Baddeley et al., 1975). D'autres travaux tels que ceux de Cowan (1995) et ceux de Barrouillet, Bernardin, et al. (2004) mettent en avant un mécanisme de rafraîchissement des traces au moyen du focus attentionnel pour toutes les modalités de traces (i.e., verbales ou non).

2.3.1. Le mécanisme de répétition articulatoire

Le mécanisme de répétition articulatoire tire son origine de la boucle phonologique de Baddeley (1986) qui gère les informations verbales, en collaboration avec le calepin visuo-spatial qui gère les informations visuo-spatiales. L'étude des effets de similarité phonologique et de longueur des mots (voir partie 1.1) a mis en évidence le fonctionnement de la répétition articulatoire, ses conditions d'application et de modulation. La récapitulation d'informations verbales nécessite peu d'attention, mais implique les mêmes processus que ceux utilisés dans la production de la parole. De fait, si une tâche est faite sous suppression articulatoire (c'est-à-dire l'articulation concurrente de phonèmes non pertinents par rapport aux informations à maintenir), le mécanisme de répétition articulatoire ne peut pas être utilisé (Baddeley & Logie, 1999; Camos et al., 2009). Même si cette articulation concurrente a un coût cognitif très faible (Murray, 1968), les performances de rappel sont altérées négativement. Dans un tel cas cependant, les effets délétères de similarité phonologique et de longueur des mots disparaissent car ils dépendent d'une articulation verbale.

En effet, la répétition articulatoire ne fait ressortir les caractères phonologiques des informations que lorsqu'elle est utilisée, mais n'est par contre pas sensible aux

caractéristiques sémantiques des informations répétées (Camos et al., 2013; Camos et al., 2011; Loaiza & Camos, 2018; Mora & Camos, 2013), dont elle semble même diminuer l'influence (voir par notamment Rose et al., 2014; Rose et al., 2015; qui observent une disparition de l'effet sémantique de profondeur de traitement lorsque les participants sont explicitement incités à l'utilisation de la répétition articulatoire durant la tâche de maintien). L'effet de similarité phonologique est observable chez les enfants dès l'âge de 6 ans et se renforce de plus en plus avec l'âge, preuve que la répétition articulatoire est utilisée dans le maintien verbal à partir de 7 ans (Cowan et al., 1994; Tam et al., 2010). Les effets phonologiques sont donc d'excellents indicateurs de l'utilisation du mécanisme de répétition articulatoire. Cependant, le maintien de l'information verbale ne dépend pas uniquement de mécanismes linguistiques. Le partage temporel des ressources attentionnelles entre les différentes activités cognitives impliquées dans la tâche doit être pris en compte, comme le démontrent les résultats de Portrat et al. (2009a). Les auteurs y soulignent le lien fort qui existe entre langage et mémoire, expliquant ainsi les origines de certains troubles de l'apprentissage (voir notamment Oftinger & Camos, 2016, 2017, 2018).

2.3.2. Le mécanisme de rafraichissement attentionnel

Pour avoir un traitement de l'information menant à la formation d'une trace mémorielle, il est nécessaire de poser son focus attentionnel sur l'information. Tant que le focus reste sur l'information, la trace est préservée (Camos et al., 2009). Mais la majeure partie du temps, notre attention doit se partager successivement sur le traitement de plusieurs informations. Il est donc nécessaire de « rafraichir » les traces mémorielles régulièrement en les ramenant dans le focus attentionnel avant qu'elle ne se dégradent complètement. Le rafraichissement consiste à repenser brièvement aux informations que

l'on souhaite maintenir. Il ne se limite pas à la modalité verbale comme la répétition articulatoire, mais peut également maintenir des informations d'autres modalités. Il s'étend donc aussi aux modalités visuo-spatiales ou même multimodales (Souza et al., 2015; Vergauwe et al., 2009, 2010b; Vergauwe, Camos, et al., 2014). On peut se remémorer une image ou une localisation aussi bien qu'une phrase. Contrairement à la répétition articulatoire, le rafraichissement attentionnel est plus coûteux en ressources attentionnelles pour maintenir les traces en WM (Camos et al., 2009). Le maintien de l'information repose donc sur cette refocalisation attentionnelle qui doit se faire fréquemment en alternant avec le traitement d'activités concurrentes (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Barrouillet et al., 2007; Camos et al., 2009; Cowan, 1999a; Cowan et al., 2005; Johnson, 1992). L'efficacité du rafraichissement dépend des contraintes de la tâche et également des différences interindividuelles.

Les ressources attentionnelles allouées au rafraichissement varient donc en fonction du coût cognitif en cours, comme dans le cas de tâches d'emplacements complexes. Le fait de pratiquer un rafraichissement attentionnel actif s'acquiert également avec l'âge au fil du développement de la WM (Camos & Barrouillet, 2011; 2018 pour une revue complète). Son usage spontané comme stratégie de maintien n'est pas couramment visible chez les enfants de moins de 7 ans et dépend également du développement de la capacité de stockage, de la quantité d'attention disponible (Barrouillet et al., 2009; Bertrand & Camos, 2015; Portrat et al., 2009a) et du développement des fonctions exécutives (Fitamen et al., 2019a, 2019b, 2019c). Avec une efficacité comparable à l'âge adulte atteinte vers les 14 ans (Barrouillet et al., 2009), l'efficacité du mécanisme tend à décroître progressivement et s'altère chez les personnes âgées (Johnson et al., 2002; Lemaire et al., 2018; Lemaire & Bherer, 2005; Plancher et al., 2017). D'autres facteurs tels

que la motivation induite par la tâche, les consignes de celle-ci et l'expertise quant aux traitements à effectuer ou aux représentations à maintenir ont également un impact sur les capacités de rafraichissement attentionnel (Camos et al., 2018).

Bien que reconnu comme déterminant, le fonctionnement précis du mécanisme de rafraichissement attentionnel reste encore mystérieux et les études à son sujet se sont multipliées. Au fil de plus de 30 ans de recherche, le fait que l'attention soit la principale ressource permettant de maintenir les représentations actives en WM est communément accepté. Chaque refocalisation attentionnelle consolide et prolonge ces traces en les renforçant. Son mode opératoire exact reste cependant toujours sujet à débat (voir Chapitre 3, partie 2). Vergauwe et Cowan (2015) insistent sur l'importance du focus attentionnel en décrivant le rafraichissement comme un mécanisme de réactivation ou un scan rapide des représentations contenues en WM. A l'inverse, les chercheurs se basant sur une vision de la WM et de la LTM comme deux systèmes séparés et non pas emboîtés décrivent plutôt le rafraichissement comme un processus de récupération des représentations de la LTM (ou mémoire *secondaire*) vers la WM (ou mémoire *primaire* dans la nomenclature de ce champ théorique; Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & McCabe, 2013; McCabe, 2008) ; ou comme la reconstruction des représentations (Barrouillet & Camos, 2015).

Camos et al. (2018) offrent une synthèse sur les connaissances actuelles à propos du rafraichissement attentionnel et soulignent deux axes de questionnement qu'il reste à investiguer. Le premier concerne la manière dont le rafraichissement attentionnel fonctionne : De manière séquentielle et cumulative, en suivant l'ordre de présentation des items, ou en commençant stratégiquement par rafraichir l'item le moins activé d'abord.

Le deuxième point s'attarde sur l'action précise du mécanisme. Au moment du rafraichissement, les représentations seules sont-elles consolidées, ou également les liens que leurs contenus pourraient avoir avec le contexte dans lequel elles sont présentées ? Plus intéressant encore, la LTM modère-t-elle l'efficacité du rafraichissement attentionnel ? Si oui, de quelle manière ? Ces deux dernières questions constituant le corps de ce travail de thèse, elles sont abordées plus avant dans le Chapitre 3 et font l'objet des études présentées en Chapitres 5, 6 et 7.

2.4. Indépendance entre les deux mécanismes de maintien et choix d'utilisation

Camos et al. (2011) ont observé que des participants adultes peuvent tout à fait choisir quel mécanisme de maintien utiliser durant une tâche de WM. Dans une étude dont la procédure laissait le choix aux participants d'utiliser le mécanisme voulu, ils constatèrent que les participants utilisaient spontanément la répétition articulatoire lorsque l'attention était impliquée dans des tâches concurrentes. Lorsque ça n'était pas le cas, ou en présence de similarité sémantique, la préférence des participants allait au rafraichissement. Passer d'un mécanisme à l'autre reste également possible en fonction de l'évaluation par les participants de la meilleure stratégie à adopter, car les deux systèmes peuvent travailler conjointement. Dans la même logique, entraver l'utilisation d'un système assure de l'utilisation du deuxième. Ce choix possible d'utilisation, les observations exclusives de certains effets, ainsi que les différentes évolutions développementales démontrent de l'indépendance des deux mécanismes. Ces conclusions sont également soutenues par des observations neurologiques. En effet, des lésions cérébrales localisées peuvent n'affecter qu'un système, tandis que l'autre reste efficace (Shallice & Papagno, 2019; Vallar & Papagno, 1995). Le rafraichissement

attentionnel et la répétition articulatoire sont donc indépendants tant dans l'utilisation cognitive que dans le système neuronal.

2.5. L'influence de la mémoire à long-terme sur le rafraichissement attentionnel

On peut donc considérer que chaque trace en WM crée des représentations à long-terme et que toute représentation à long-terme peut aider à l'élaboration, au maintien et au rappel d'une trace en WM. Dans la conception du modèle TBRS, la WM ne constitue pas un système emboîtés au sein de la LTM et activée temporairement au travers d'un focus attentionnel. La WM se décrirait davantage comme un système permettant de reconstruire, maintenir et transformer des représentations, alors que la LTM gère le stockage de ces représentations lorsqu'elles ne sont pas actives. Dans ce système, c'est l'attention qui permet l'élaboration et la reconstruction de ces traces mnésiques à court terme (Barrouillet & Camos, 2015).

A la manière d'un processus de *redintegration* (ou reconstruction) décrit par Hulme et al. (1997) au moment du rappel, les connaissances à long-terme favoriseraient le rafraîchissement attentionnel en fournissant certains éléments pour aider à la reconstruction des traces mnésiques dégradées (voir Chapitre 3, partie 2). Ainsi, les représentations LTM ne peuvent impacter les traces mnésiques stockées à court terme que lorsque l'attention est disponible, permettant leur reconstruction.

Afin de mieux explorer ce questionnement, les représentations impliquées en LTM et les effets de connaissances à long-terme font l'objet du Chapitre 2. Le Chapitre 3 s'intéresse ensuite aux différentes hypothèses proposant une explication quant à l'utilisation de ces représentations à long-terme dans des tâches de WM.

Résumé du Chapitre 1

La WM permet le maintien et le traitement d'information sur de courtes périodes. Elle est dynamique et le partage de ressources entre les processus de traitement et ceux de maintien est essentiel. Il existe plusieurs conceptions théoriques présentant WM et LTM avec la première comme la partie activée de la seconde ; ou comme deux systèmes de mémoire séparés.

Traitement et maintien en WM nécessitent une certaine disponibilité attentionnelle. Ces deux processus se partagent donc constamment cette ressource générale. Le temps représente également un facteur déterminant dans le maintien en WM. Il est donc possible de calculer un coût cognitif pour chaque tâche selon son contexte de présentation et le temps qu'elle nécessite pour être réalisée. On peut alors imaginer des tâches à fort ou faible coût cognitif en fonction du temps qu'elles accordent à la réactivation du contenu à maintenir en WM. Les tâches secondaires imposées dans une tâche de WM peuvent donc répondre à des objectifs variés et peuvent s'intégrer à différents paradigmes d'expérimentation.

La répétition articulatoire et le rafraîchissement attentionnel constituent les deux mécanismes de maintien observables en WM, mais fonctionnent de manière indépendante. La répétition articulatoire correspond à une articulation subvocale des éléments verbaux à maintenir. Une articulation concurrente compromet grandement son utilisation. Le rafraîchissement attentionnel permet de ramener les éléments à maintenir dans le focus attentionnel pour contrecarrer leur déclin. Ce mécanisme est reconnu comme étant déterminant mais sa nature et son fonctionnement exacts restent encore sujets à de nombreuses interrogations.

Les différents modèles théoriques reconnaissent unanimement que les effets de LTM sont bénéfiques aux performances de rappel en WM. Cependant, ils s'opposent sur la façon dont l'attention pourrait en médiatiser les effets, conduisant à des hypothèses contrastées. Enfin, l'âge constitue également un facteur indicatif de la manière dont l'attention est utilisée et dont la LTM est impliquée dans le rappel en WM.

Chapitre 2. La mémoire à long-terme : Représentations et processus de rappel

La mémoire à long-terme (LTM) se différencie de la mémoire de travail (WM) évidemment par sa capacité à garder des représentations disponibles sur de très longues périodes. La WM constitue la porte d'entrée permettant l'accès à ces représentations. Au fil des expériences de vie, la LTM s'enrichit de nouvelles représentations. En compilant nos apprentissages, le contenu de la LTM définit une grande partie de notre personnalité. Il est aussi possible de mémoriser quelque chose sans même en être conscient (French & Cleeremans, 2002). Mais la plupart des apprentissages sont complexes et nécessitent d'y porter une attention consciente. La LTM permet de ne pas recommencer chaque apprentissage en permanence et s'étoffe au fil du vécu. Ce chapitre développe l'organisation et les caractéristiques propres à la LTM. Les représentations qui y sont créées, leurs différences, moyens d'encodage et de rappel, ainsi que des modèles probabilistes permettant de mesurer les paramètres de ces différents points y sont traités.

Partie 1. Temporalité et contenu de la LTM : Une organisation hiérarchique

La LTM est principalement affectée par l'oubli, le vieillissement et les effets d'interférences. Les premières études sur l'oubli ont été menées par Ebbinghaus (1885/1913) qui a montré que les représentations en mémoire risquent principalement de disparaître durant la première heure qui suit l'apprentissage. Après ce délai, le déclin se fait plus lentement, à l'exception des souvenirs autobiographiques qui montrent toujours une courbe d'oubli plus faible (Rubin & Wenzel, 1996; Rubin et al., 1986). Le déclin de la mémoire, qu'il suive un cours normal ou pathologique (e.g., en cas de

syndrome de Korsakoff, de maladie d'Alzheimer, d'amnésie liée à une lésion cérébrale, etc.), est commun à tous les êtres humains. Des effets d'interférences sont également responsables du déclin des souvenirs en détériorant nos capacités à les intégrer ou à les adapter correctement selon les nouvelles informations. Il est en effet difficile de discriminer toutes les informations parmi toutes celles que nous emmagasinons chaque jour. De plus, si elles deviennent trop ancrées en mémoire, ces interférences peuvent parfois être trop fortes pour réussir à les corriger facilement (Chandler, 1989). Chaque francophone a ainsi au moins une connaissance qui persiste à dire « Si j'*aurais* su » sans parvenir à corriger cette faute de conjugaison, tout comme nous avons tous de la difficulté à retrouver nos affaires après avoir changé notre système de rangement. Ces représentations plus anciennes et plus solides entrent en concurrence avec les nouvelles représentations, créant alors de l'interférence proactive. De plus, des représentations qui se ressemblent trop ont tendance à se mélanger plus facilement que des informations disparates (voir Collins & Loftus, 1975).

Une grande variété d'informations est stockée dans notre LTM., e.g., les détails de nos dernières vacances, le théorème de Pythagore, les informations nécessaires pour faire du ski, etc. La masse d'informations est impressionnante. Une organisation en plusieurs systèmes internes à la LTM est donc nécessaire (Atkinson & Shiffrin, 1968; Tulving, 1989). Schacter and Tulving (1994) identifient trois critères pour l'identification d'un sous-système de la LTM. Premièrement, chaque système est dévolu à un certain type de représentations (sémantiques, procédurales, etc.). Ensuite, chaque système gère son type de représentations selon ses propres règles de fonctionnement. Chacun est également associé à un système neuronal, les plus connus étant l'amygdale pour les réponses émotionnelles et le lobe temporal médian pour les mémoires déclaratives. Enfin, chaque

système doit se distinguer clairement des autres pour être considéré comme tel. La LTM se distingue ainsi en deux catégories principales : La mémoire déclarative et la mémoire non-déclarative, elles-mêmes constituées de sous-systèmes. La sévérité des troubles amnésiques (Corkin, 1984; Milner et al., 1968; Shallice & Warrington, 1970) et l'étude des apprentissages implicites et explicites permettent de distinguer empiriquement ces deux sous-catégories de LTM.

La mémoire déclarative comporte la mémoire sémantique, qui compile les connaissances ; et la mémoire épisodique qui contient les souvenirs des événements du vécu (Tulving, 1985a, 1985b, 1989). Ces contenus peuvent être décrits verbalement, d'où le nom de « déclarative » (Graf & Schacter, 1985). A l'inverse, la mémoire non-déclarative n'implique pas nécessairement de représentations conscientes et verbalisables car elle regroupe les mémoires implicites (Schacter et al., 2000). La mémoire non-déclarative inclut la mémoire procédurale, qui contient les habilités et les représentations de type perceptuelles (amorçage, apprentissages associatifs et non-associatifs).

Il est donc clair qu'il existe plusieurs types de représentations en LTM. Notre intérêt dans ce travail porte sur la définition des représentations récupérées en LTM pour servir dans des tâches de WM et comment ainsi que sous quelles conditions celles-ci sont récupérées. Ce travail propose une approche globale dans l'examen de cette question des relations entre LTM et WM. L'utilisation et la comparaison de prédictions de modèles théoriques ont été privilégiées dans une approche qui se veut constructive. Une théorie clé au sein de ce questionnement est la théorie des traces floues qui définit les deux types de représentations impliquées en mémoire.

Partie 2. La théorie des traces floues

La théorie des traces floues (*FTT*, de l'anglais *Fuzzy-trace theory*) crée par Valérie F. Reyna et Charles Brainerd est une théorie phare dans l'explication de plusieurs phénomènes de mémoire et de raisonnement. La *FTT* s'appuie sur deux représentations différentes qui sont encodées, stockées, rappelées (et parfois oubliées) en parallèle pour chaque information rencontrée : Les représentations *verbatim* et les représentations *gist*. Les traces *verbatim* sont des représentations des détails exacts de l'information - sa forme de surface. Elles sont précises et quantitatives. Les représentations *gist* contiennent le sens général de l'information. Elles sont vagues et qualitatives, car elles dépendent de l'interprétation qui en est faite. Des variables comme le contexte culturel et émotionnel, ainsi que le niveau d'éducation influent la formation des représentations *gist*. Reyna (2012b, 2021) donne l'exemple de l'information exprimée ainsi « *Les enfants (2 mois – 18 ans) des parents qui ont refusé la vaccination ont 23 fois plus de chances de contracter la maladie que les enfants qui ont été vaccinés* ». De cette information, on peut retirer une représentation *verbatim* « *23 fois plus de chances* » et une représentation *gist* « *Le risque est énormément plus élevé* ». Cette double représentation est encodée à partir de la même information de base et les deux traces sont nécessaires dans le traitement. Du fait de sa nature détaillée et exacte, les représentations *verbatim* permettent un traitement analytique de l'information. Parallèlement, un traitement plutôt basé sur la familiarité est permis par la nature floue et globale des représentations *gist*.

La *FTT* distingue donc ces deux types de représentations essentielles du sens de l'information (précises vs., globales). La théorie a été développée au fil de nombreuses études empiriques traitant majoritairement des domaines de la mémoire et de la prise de décision (pour ce dernier domaine, voir Weber & Johnson, 2009). La *FTT* est également

soutenue par la neuroscience. Les bases de la *FTT* ont été étudiées sur une large variété de tâches mettant en évidence l'existence des représentations verbatim et gist, leur distinction, indépendance et impact sur différents types de traitement (voir Figure 7).

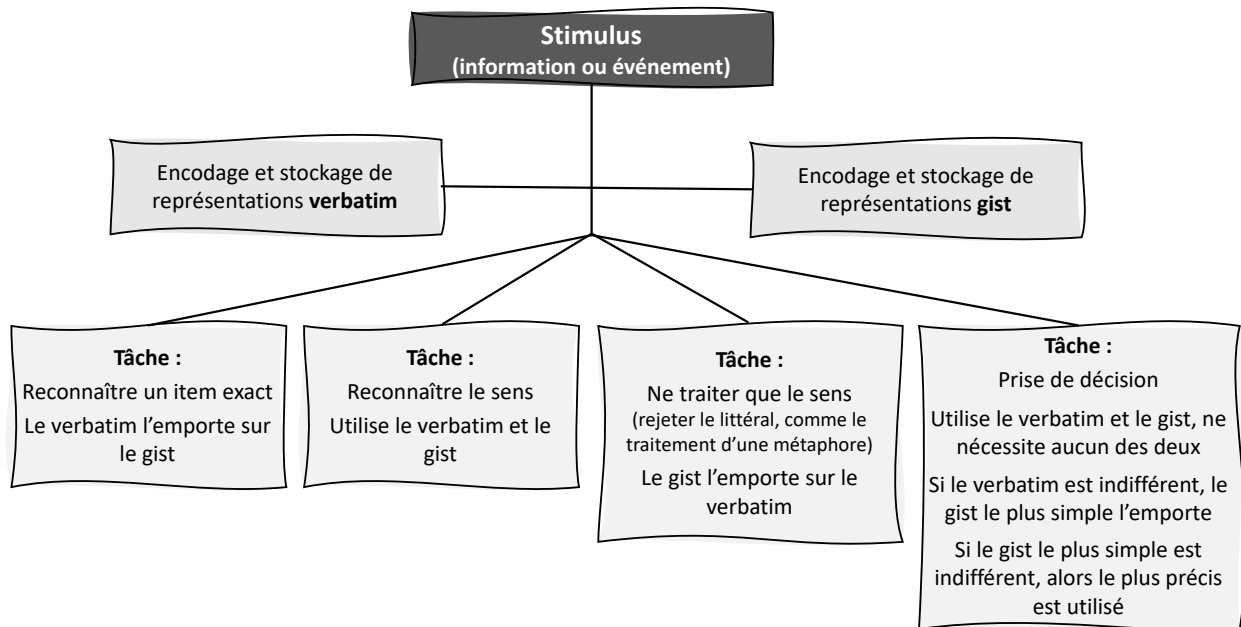


Figure 7. Principes de la *FTT* tels que testés dans la recherche sur la mémoire, jugement et prise de décision. Adaptée de Reyna (2012a).

Les représentations verbatim sont donc essentielles à la représentation précise des informations et à leur traitement analytique. Le raisonnement cognitif recourt aux mêmes représentations (Reyna & Brainerd, 1992, 1995). Si la tâche nécessite une précision des informations, les représentations verbatim sont d'office privilégiées pour leur précision et pour rejeter les interférences possibles qui pourraient être générées par les représentations gist. Si les gist venaient à prédominer sur les verbatim dans ce contexte, on constate alors l'apparition de faux souvenirs (Reyna & Kiernan, 1995). La reconnaissance d'un item peut découler autant de représentations verbatim que de gist. Dans le premier cas on reconnaît l'item comme étant « vrai » ou « ancien » grâce au souvenir littéral qu'on en a gardé, dans le second en reconnaissant sa cohérence dans le

contexte (Brainerd et al., 2009; Reyna & Mills, 2007). Les instructions données durant la tâche peuvent conduire à favoriser l'une ou l'autre des représentations. Le délai a également son importance. Plus le temps entre la présentation d'une information et sa reconnaissance est long, plus les représentations gist seront favorisées, étant plus stables et plus faciles à rappeler après de longs délais (Reyna, 2008; Reyna et al., 2006). Il est donc normal que les détails de ce type de tâche soient particulièrement étudiés dans les situations de témoignages où le rappel d'informations précises, littérales et dénuées d'interprétation est primordial. A l'inverse, résumer et interpréter le contenu d'un livre nécessitera préférentiellement l'implication de représentations gist.

Ainsi, lorsque la tâche ne nécessite pas de compréhension précise, elle repose plutôt sur les représentations gist, qui ont alors la double utilité de servir à la compréhension et à rejeter les réponses basées sur un sens littéral. Ceci est tout autant utile à la compréhension de grande poésie que de paroles de la vie de tous les jours. Le poème « *Tout ce qui est or ne brille pas* »¹ ne peut être compris correctement s'il est interprété littéralement, à commencer par son titre. Dans ce contexte-là, les représentations gist surpassent les verbatim (Reyna, 1996). Dans tous ces types de tâches, le choix se fait entre accepter l'information présentée dans sa littéralité ou n'en accepter que le sens. Il est enfin possible qu'une tâche ne nécessite pas de représentations en particulier, bien qu'elles ne soient créées automatiquement pour chaque information. Le choix est alors fait spontanément en fonction de quelle représentation est la plus efficace dans le cadre présenté (Reyna, 2013; Reyna & Brainerd, 2011; Reyna & Rivers, 2008). Passé l'adolescence, les représentations gist sont plus souvent privilégiées, tout

¹ Traduit de Tolkien, J. R. R. (1954). *The fellowship of the ring*. George Allen & Unwin. Livre I, Chapitre 10.

particulièrement en cas de plus grande expertise dans le domaine en question (Reyna & Lloyd, 2006). Il suffit donc finalement de peu de principes pour couvrir un large panel de tâches de mémoire, raisonnement, jugement et prise de décision (voir Reyna, 2012a pour une revue complète).

Cette utilisation prépondérante des traces gist est à l'origine des faux souvenirs (Brainerd & Reyna, 2002; Reyna & Brainerd, 1998; Reyna et al., 2016). Ces représentations sont effectivement susceptibles d'être confondues (car groupées par significations) ou sujettes à intrusion d'autres souvenirs similaires. Les deux types de traces sont donc impliquées en fonction de la demande de la tâche, mais également stockées et récupérées séparément (Reyna & Brainerd, 1995, 1998). Le Chapitre 6 aborde plus en détail la manière dont la disponibilité des mécanismes attentionnels affecte l'apparition des faux souvenirs. La *FTT* se complémente par l'ajout de modèles mathématiques capables de distinguer et d'estimer la présence de représentations verbatim et gist dans une tâche de mémoire, ainsi que les faux souvenirs.

2.1. Les faux souvenirs

La mémoire est un système dynamique en perpétuel changement et construction. Les faux souvenirs peuvent se former à chaque étape de la mémorisation, soit l'encodage, le stockage et le rappel (Begley & Brant, 1994; Hyman & Loftus, 1998). L'intervalle de temps entre l'événement et le rappel du souvenir joue un grand rôle dans la transformation du souvenir. Si cet intervalle est court, le risque de confusion est plus faible (Tousignant et al., 1986). Les faux souvenirs ont également tendance à rester stables une fois formées, contrairement aux vrais qui déclinent plus rapidement (Brainerd et al., 2011). On se remémore alors une information ou un événement auquel on n'a en

fait jamais été confronté. Il est donc possible pour des participants adultes de se souvenir avoir rencontré les personnages Bugs Bunny et Ariel à Disney World durant leur enfance, rencontres impossibles du fait de l'appartenance du lapin à un autre studio d'animation et de l'introduction du personnage de la petite sirène à une date ultérieure à leur visite dans le parc d'attraction (Braun et al., 2002).

Contrairement à une croyance répandue dans le grand public, la mémoire n'est donc pas un centre de stockage permanent où même les souvenirs les plus anciens peuvent être accessibles dans leurs formes exactes, que ce soit volontairement ou par des moyens de stimulations cérébrales ou d'hypnose (Loftus & Loftus, 1980). Certains souvenirs disparaissent et le monde du marketing a autant fait que celui de la recherche pour démontrer qu'il suffit de peu d'éléments pour les recouvrer, les mettre à jour, influencer les émotions qui en découlent ou même en créer de nouveaux (Braun et al., 2002; Loftus, 2003).

Mais au-delà d'événements bénins, l'émergence de faux souvenirs ou d'altérations mnésiques peuvent se manifester dans des situations plus graves, comme dans les cas de stress post-traumatique (Dégeilh et al., 2013). Le risque d'apparition de faux souvenirs augmente également à la fin de l'adolescence. (Brainerd, Reyna, et al., 2002; Holliday et al., 2008, 2011). En effet, les enfants ne disposent pas encore des compétences et connaissances nécessaires pour détecter spontanément les connexions de sens entre événements ou éléments. Ils sont donc moins sensibles aux faux souvenirs qui impliquent des relations de sens (Reyna & Brainerd, 2011). Toutes ces informations font des faux souvenirs un champ important des domaines judiciaires et médicaux, mais nous apportent également des éléments de réponse quant au fonctionnement de la mémoire.

Ainsi, on observe souvent lors d'une expérience le rappel ou la reconnaissance d'items non-présentés lors de la phase d'étude. Ce phénomène a été largement étudié grâce au paradigme Deese-Roediger-McDermott (DRM, Deese, 1959; Roediger & McDermott, 1995). Ce paradigme présente des listes de plusieurs mots fortement associés sémantiquement par un même thème (e.g., *chant, concert, violon, piano, note*, etc.) mais sans présenter le mot-thème qui les relie tous (dans l'exemple, *musique*). Les études rapportent une hausse de rappels erronés ou de fausses reconnaissances de mots associés à ce thème, et du mot-thème tout particulièrement. En comparaison, les listes qui ne présentent pas cette similarité sémantique induisent significativement moins de faux souvenirs (Brainerd & Reyna, 2005; Gallo, 2006).

La *FTT* donne un cadre théorique expliquant de l'apparition de ces faux souvenirs. Les représentations verbatim permettent de rejeter les distracteurs interférant avec les souvenirs corrects, alors que l'utilisation de représentations gist tend plutôt à accepter les distracteurs cohérents. Ainsi, les représentations verbatim de *chant, concert, violon, piano* et *note* permettent de rejeter le distracteur *musique* si elles sont plus fortes que les représentations gist qui ont été créées par ce contexte répété (voir Brainerd & Reyna, 2005; Reyna et al., 2016). La proportion de rappels erronés ou fausses reconnaissances de distracteurs cohérents est presque aussi élevée que la proportion de rappels et de reconnaissances corrects. Brainerd et Reyna (2002) montre qu'en cas de vrais souvenirs, les représentations gist et verbatim se sont renforcées mutuellement. Dans le cas de faux souvenirs en revanche, les deux types de traces s'opposent, les gist formant des faux souvenirs et les verbatim les supprimant. La phénoménologie, c'est-à-dire l'expérience consciente d'un souvenir comme étant vif (verbatim) ou vague (gist), a beaucoup été utilisé dans la distinction des deux types de représentations impliquées dans une certaine

tâche, tout particulièrement dans le cadre de témoignage (Brainerd et al., 2001). Le renforcement des représentations gist, par exemple par la présentation répétée de distracteurs se rapportant tous au même champ sémantique, augmente le flou dans la sensation de souvenirs généralement associé à ces représentations plus vagues. Certains biais de raisonnement, de jugement et de prise de décision, ainsi que l'âge, peuvent également augmenter le raisonnement basé sur les représentations gist, soit une pensée basée plutôt sur l'intuition que sur la rationalité (voir notamment Tversky & Kahneman, 1983 à propos des biais de conjonction, de représentativité et de formulation; et Wessel et al., 2013 sur les stéréotypes sociaux). Dans tous les cas, les représentations gist sont à l'origine de l'apparition spontanée de faux souvenirs.

La *FTT* permet donc de différencier l'encodage et l'accès à deux types de représentations fondamentalement différentes. Verbatim et gist ont toutes deux un impact contrasté sur l'apparition de faux souvenirs et leur degré d'implication peut varier en fonction des demandes de la tâche, de potentiels indices de récupération et des modalités de présentation des informations sur lesquelles sont formées ces représentations. On peut se demander cependant quelle est la part relative de chaque type de représentations dans certaines tâches, comment celles-ci sont impliquées dans l'apparition de faux souvenirs, si elles sont impactées par un coût cognitif, etc. Afin de répondre à un nombre infini de questions et préciser toujours plus nos connaissances sur ces représentations verbatim et gist, des modèles de mesure ont été créés.

2.2. Distinguer gist et verbatim : Modèle de reconnaissance conjointe

Les modèles multinomiaux en arbres de traitement (*MPT*, de l'anglais *Multinomial Processing Tree*) permettent de quantifier les processus cognitifs qui sous-tendent

certaines comportements. La méthode d'échantillonnage Monte-Carlo par chaînes de Markov régit les fréquences observées pour un set de réponses prédéfinies. En somme, les *MPT* définissent un nombre de succès possibles sur une action sur la base d'essais successifs, ainsi que la probabilité pour qu'une action transite d'un état vers un autre sans jamais retourner à son état initial. Les modèles à seuil unique (*1HT*, Swets, 1961), à deux seuils (*2HT*, Snodgrass & Corwin, 1988) et à seuil bas (Krantz, 1969) ont été des *MPT* de base pour l'évaluation des processus impliqués en reconnaissance, assumant progressivement plusieurs seuils définissant l'état des souvenirs. Au fil de notre compréhension des processus, les *MPT* ont été largement développés afin d'explorer plus en profondeur ces processus qui sous-tendent le fonctionnement cognitif et tester les hypothèses sur lesquelles se basent ces modèles (pour une revue récente, voir Erdfelder et al., 2015). Parmi eux, les modèles trichotomiques du rappel (Brainerd et al., 2009) et de reconnaissance conjointes (Brainerd et al., 1999), deux modèles dont la fiabilité a été éprouvée à de nombreuses reprises et que nous avons pu utiliser dans les études présentées dans ce travail de thèse aux Chapitres 6 et 7.

Le modèle de reconnaissance conjointe (*CR*) est directement issu de la *FTT* et permet d'opérationnaliser de manière directe la distinction entre représentations gist et verbatim au sein de la *FTT* (Brainerd et al., 1999; Brainerd et al., 2001; Reyna & Brainerd, 1998). Ces paramètres estimant les représentations verbatim et gist proviennent des processus observés de jugement de similarité versus de jugement d'identité. Le modèle s'appuie en effet sur des performances de reconnaissance d'items et leur classification entre « item reconnu comme cible » et « item jugé comme relié à une cible » pour fournir des données statistiques permettant d'évaluer la fiabilité des hypothèses posées sur les paramètres évalués. Au terme de l'étude d'une liste d'items, les deux choix possibles pour

catégoriser un item lors de la phase de reconnaissance de paradigmes classiques sont généralement *Ancien* (i.e., cible) vs *Nouveau*. Le modèle *CR* ajoute cette troisième option « *relié à la cible* » correspondant à la condition dans laquelle un item nouveau peut être relié ou non à un item cible. Le seul souvenir de l’item cible ne suffit donc pas à la tâche, il faut y ajouter le souvenir du contexte (sémantique, phonologique, etc., selon l’instruction donnée). L’application du modèle *CR* permet alors de distinguer trois processus lors de la phase de récupération : Le souvenir de la cible (verbatim), le souvenir du contexte (gist) et les biais de réponse. La récupération de traces verbatim mène toujours à une bonne reconnaissance des items cibles et des items reliés. A l’inverse, les traces gist peuvent conduire à la formation de faux souvenirs, car la similarité entre les items distracteurs reliés et les items cibles peut mener à considérer des distracteurs reliés comme d’anciennes cibles. Par exemple, le distracteur *plume* pourrait facilement être faussement catégorisé comme item cible si le gist *oiseau* est présent en mémoire.

Manipuler certaines variables influe également sur les paramètres en augmentant ou diminuant les probabilités de récupérations gist ou verbatim. Par exemple, l’augmentation du nombre de présentations d’un même item renforce la probabilité de récupération d’une trace verbatim de celui-ci, mais sans impact sur la récupération gist qui se suffit d’une seule présentation pour se constituer (Brainerd, Reyna, et al., 2003). La récupération des informations gist reste également possible durant plusieurs jours après l’étude d’une liste d’items, alors que la force des représentations verbatim sur les mêmes items diminue avec le temps (Brainerd et al., 1999; Brainerd, Reyna, et al., 2003). Le recours aux représentations gist dans la récupération de souvenirs augmente également fortement chez les personnes âgées, un effet provenant du fait que les représentations verbatim sont plus fortement affectées par l’âge (Abadie et al., 2021). Cette dernière

observation met d'ailleurs en lumière l'importance d'outils tels que le modèle *CR*, car elle permet de tester des hypothèses théoriques (voir notamment Brainerd & Reyna, 2004; Brainerd & Reyna, 2015; Reyna & Brainerd, 2011). Les caractéristiques du matériel présenté impactent également les paramètres observés. Ainsi, des items à valence émotionnelle plutôt que neutres (Howe et al., 2010; Ochsner, 2000), un niveau de traitement plus profond (Lindsay & Kelley, 1996) ou la similarité sémantique au sein de la liste d'items à étudier (Stahl & Klauer, 2008) tendent à augmenter la propension de faux souvenirs (voir également Abadie et al., 2013; Abadie et al., 2016; Rhodes & Anastasi, 2000; Thapar & McDermott, 2001; Toglia et al., 1999 sur le long-terme; et Dewhurst et al., 2009 sur le court terme; Chang & Brainerd, 2021 pour une revue).

Stahl and Klauer (2008) proposent une version simplifiée du modèle *CR* (*SCR* de l'anglais *Simplified Conjoint Recognition*). Là où le modèle *CR* originel de Brainerd et al. (1999) nécessitait la formation de trois groupes de participants (une par consignes en tâche de reconnaissance), le *SCR* peut tous les regrouper dans un seul groupe de participants tout en suivant cette même consigne de reconnaissance entre items *cibles*, *reliés* et *non-reliés* du paradigme *CR* original. Un paramètre de conjecture supplémentaire (a) est également ajouté par rapport au modèle originel pour estimer le jugement d'un item déjà catégorisé comme familier. La Figure 8 représente les processus impliqués lors du jugement d'un item selon le modèle *SCR*. Ainsi, lorsqu'un item cible est présenté, sa représentation verbatim peut être récupérée et la reconnaissance de cet item cible en tant que cible est alors correcte (probabilité exprimée en V_t). Si la trace verbatim de la cible ne peut pas être récupérée ($1 - V_t$), le gist peut potentiellement l'être (probabilité G_t). Si tel est le cas, l'item est catégorisé comme familier. Reste ensuite à catégoriser l'item comme cible (probabilité a) ou comme distracteur relié (probabilité $1-a$). Si la récupération de la

trace gist a également échoué ($1-V_t \times 1-G_t$), il faut d'abord catégoriser l'item comme familier (b) ou nouveau ($1-b$) avant d'appliquer le paramètre a . Le même pattern de procédure s'applique pour un item relié. En revanche, pour un item non-relié, aucune trace verbatim ou gist ne peut être récupérée, l'item présenté n'ayant jamais été présenté dans la liste d'étude. La classification de ce type d'item se base donc uniquement sur les paramètres b et a . L'Annexe B regroupe toutes les équations correspondant aux probabilités de reconnaissances possibles dans le modèle SCR et les équations pour chaque paramètre du modèle.

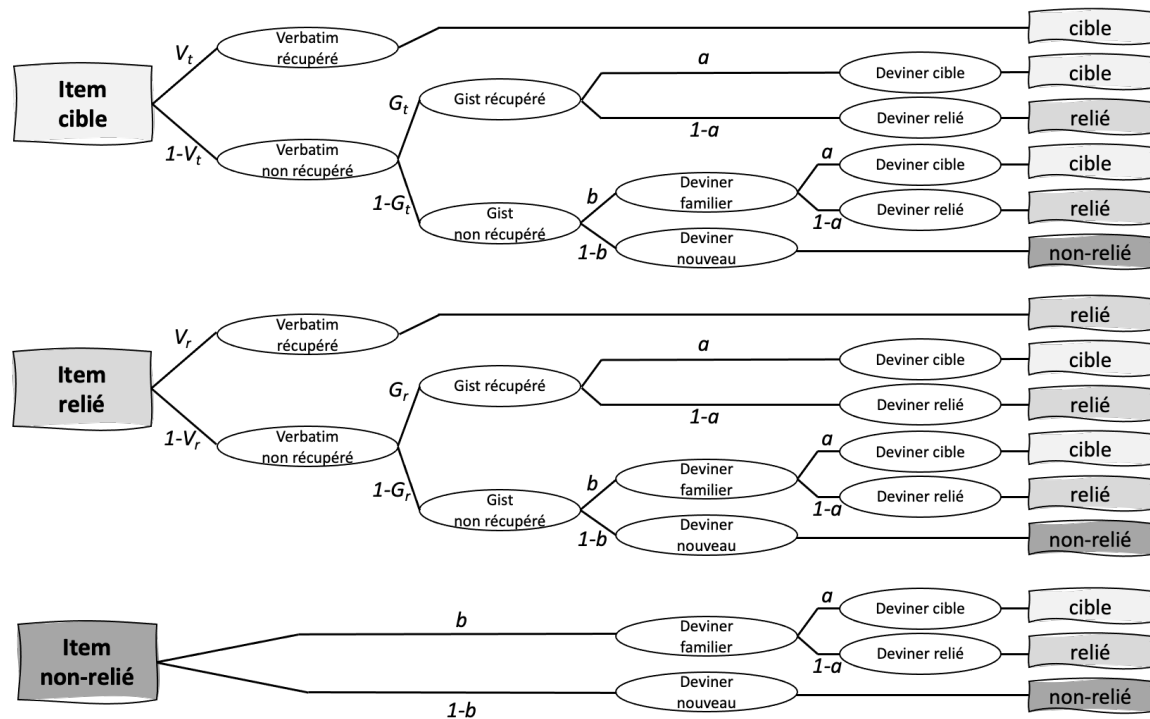


Figure 8. Arbres de probabilité du modèle SCR. Les rectangles de gauche représentent les items à mémoriser, ceux de droites indiquent les réponses données au moment de la tâche de reconnaissance. Les processus cognitifs sont V_i pour verbatim, G_i pour gist, avec les indications t pour item cible (*target*) et r pour item relié. Le paramètre b représente la probabilité de répondre que le sens de l'item est familier ou nouveau (non-relié) en l'absence de traces mnésiques. Le paramètre a représente la probabilité de répondre que l'item jugé comme familier était un item cible ou un item relié en l'absence de traces mnésiques. Les indications dans les ovales indiquent le processus en cours à chaque embranchement. Adapté de Stahl and Klauer (2008).

De nombreuses études ont été réalisées au moyen des modèles *CR* et *SCR*, seuls modèles actuellement capables de différencier les vrais des faux souvenirs. Brainerd, Bialer and Chang (2021) compile un corpus de plus de 500 ensembles de données de reconnaissance conjointe et observe leurs prédictions et résultats dans une méta-analyse. Ce corpus d'études se classe en trois groupes principaux. Les prédictions quant aux relations entre paramètres observés (verbatim, gist et paramètre de conjecture *a* et *b*) ; la latitude dans laquelle peuvent agir ces paramètres et leur localisation spatiale en termes neurologiques. Les résultats de cette méta-analyse convergent vers la présence d'une double représentation de l'information. Les applications de modèles mathématiques sur les données démontrent bien les contributions aux performances de mémoire des représentations verbatim et gist, et tout particulièrement dans la formation de faux souvenirs (Brainerd et al., 2009; Reyna et al., 2016).

Stahl et Klauer (2008) ont conduit plusieurs études précisant les modulations des représentations verbatim et gist dans les jugements d'identité et de similarité d'items. Ils constatent notamment que présenter deux fois un item durant une phase d'apprentissage augmente la récupération des représentations verbatim pour ces items en comparaison avec ceux qui n'ont été présentés qu'une seule fois. Ce double temps d'exposition favorise la formation de représentations verbatim, mais une seule suffit à créer des représentations gist qui ne sont ensuite pas affectées par des présentations répétées. En revanche la manipulation du matériel au sein de la liste à mémoriser peut impacter les représentations gist et le jugement basé sur la similarité. Dans une nouvelle expérience, Stahl et Klauer (2008) proposent à leurs participants des listes de mots cible reliés au sein d'une même catégorie sémantique (e.g., *pomme* et *poire* dans la catégorie *fruit*). Ils constatent que la répétition d'une catégorie sémantique augmente la récupération des représentations gist et donc l'application d'un jugement d'item sur la base d'un jugement

de similarité. La division de l'attention entraîne quant à elle une diminution des représentations verbatim associées aux cibles (Brainerd, Payne, et al., 2003; Odegard & Lampinen, 2005) et l'âge modifie également nos préférences d'utilisation entre représentations verbatim et gist, nous dirigeant vers une préférence des jugements de similarité gist une fois l'adolescence passée (voir Brainerd et al., 2008; et Holliday et al., 2011 pour une inversion développementale de cet effet; Reyna & Brainerd, 2011). En somme, les modèles *CR* et *SCR* permettent l'observation statistique de différentes variables sur les représentations verbatim et gist.

Partie 3. Processus de double récupération dans le rappel des traces en mémoire

« *Et tout d'un coup le souvenir m'est apparu. Ce goût c'était celui du petit morceau de madeleine (...). Mais, quand d'un passé ancien rien ne subsiste, après la mort des êtres, après la destruction des choses, seules, plus frêles mais plus vivaces, plus immatérielles, plus persistantes, plus fidèles, l'odeur et la saveur restent encore longtemps, comme des âmes, à se rappeler, à attendre, à espérer, sur la ruine de tout le reste, à porter sans fléchir, sur leur gouttelette presque impalpable, l'édifice immense du souvenir* ». La madeleine de Proust dans son roman de 1913 évoque la réminiscence d'un souvenir à partir d'éléments partiels. Dans son cas, le goût de la madeleine évoque des souvenirs d'enfance. Des souvenirs peuvent ainsi être récupérés, inconsciemment ou non, à partir d'odeurs, de goûts, de couleurs, d'éléments de vie, de gestes, de lieux, etc. Ce processus de restauration de l'ensemble d'un souvenir à partir d'un élément de celui-ci se nomme la *redintegration*².

² Terminologie en anglais difficilement traduisible par des termes en français qui ne correspondraient pas déjà à d'autres phénomènes existants. La *redintegration* s'apparente à un processus de reconstruction des informations. Ce processus est décrit plus avant en Chapitre 3, partie 2.3.

Ce processus agit juste avant la production de la réponse (Hulme et al., 1999; Hulme et al., 1997). Les études impliquant un matériel verbal observent qu'une pré-connaissance de la structure phonologique des mots à mémoriser facilite le processus de *redintegration* (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 1995; Schweickert, 1993; Schweickert et al., 1999). De plus, la familiarité avec le matériel à rappeler (par exemple l'identification lexicale de mots vs non-mots) améliore également cette récupération à partir d'éléments partiels (Hulme et al., 1999; Hulme et al., 1997; Kowialiewski & Majerus, 2018b). Il s'agit de l'expérience que nous faisons lorsque les premières notes d'une chanson nous en rappellent les paroles. La *redintegration* (ou reconstruction) fait partie des hypothèses qui expliqueraient l'influence des connaissances à long-terme sur les performances en WM. Cette hypothèse est discutée plus avant dans le Chapitre 3 de ce travail de thèse et fait l'objet d'hypothèses dans l'étude présentée en Chapitre 6.

3.1. Accès direct et familiarité

Mandler (1980) différencie pour la première fois les processus de récupération en mémoire en deux catégories : l'accès direct (aussi nommé recollection) et la familiarité (ou non-recollection). L'accès direct permet la récupération consciente et directe des informations, à l'inverse de la familiarité qui se base plutôt sur l'estimation d'un sentiment de déjà-vu. Le jugement de familiarité s'opère rapidement par rapport à l'accès direct qui est plus élaboré et explicite (pour une revue complète, voir Yonelinas, 2002). La récupération d'un souvenir sur la base de familiarité peut nous conduire à reconnaître une personne sans se rappeler de son nom. Plusieurs paradigmes ont été développés afin de dissocier les processus de recollection et de familiarité dans des tâches de reconnaissance (Nyberg et al., 1996; Tulving, 1982, 1985b; Tulving & Schacter, 1990). Parmi eux, le paradigme *Remember / Know* (en français *Se rappeler / Savoir*; Gardiner,

1988; Tulving, 1985b) dans lequel il est demandé aux participants de décrire leur expérience de récupération du souvenir d'une manière proche de la phénoménologie décrite précédemment ; dans le modèle de Jugement de Confiance de Yonelinas (1994, 1997, 1999; 2002; Yonelinas et al., 1996) où l'accès direct dépend d'abord de la force de la trace mnésique; et dans la Procédure de Dissociation des Processus (PDP, de l'anglais *Process Dissociation Procedure*) de Jacoby (1991, 1998) qui oppose les deux processus pour en estimer les taux d'application. Plusieurs études les appliquent et montrent une indépendance entre le processus d'accès direct et celui de familiarité au moment de la récupération (pour une revue, voir Yonelinas, 2002). L'utilisation de l'accès direct diminue notamment avec l'âge, mais pas celle de la familiarité (Benjamin & Craik, 2001; Jennings & Jacoby, 1993, 1997). De plus, seul le processus d'accès direct est affecté par des variables telles que la pression temporelle ou le coût cognitif de la tâche (Benjamin & Craik, 2001; Jacoby, 1991).

Malgré des apports empiriques importants, une faiblesse notable du paradigme *Remember / Know* et du modèle de Jugement de Confiance repose sur leur aspect métacognitif³. Les consignes données aux participants sont primordiales à la bonne exécution des tâches imposées et la dissociation des processus par les participants ou selon leurs dires est complexe (voir Richardson-Klavehn et al., 1992; Richardson-Klavehn et al., 1994). On peut aussi se demander si les réponses indiquant un processus de familiarité découlent véritablement de ce processus ou ne sont pas simplement un jugement du souvenir dont l'accès direct a été qualitativement plus faible qu'un autre (Gardiner & Parkin, 1990).

³ La métacognition se définit comme le fait de penser à ses propres pensées. Elle permet de contrôler, réguler et évaluer ses propres activités cognitives.

Les études impliquant les paradigmes précédemment évoqués (PDP, *Remember / Know*, Jugement de confiance) permettent d'aborder plusieurs questions empiriques. Leurs résultats soutiennent notamment l'existence d'une double récupération dans le rappel. Cependant, la fiabilité de ces résultats est quelque peu amoindrie par les faiblesses méthodologiques ou statistiques de ces paradigmes. Tout comme pour l'évaluation des représentations gist et verbatim, un nouveau modèle *MPT* a été développé afin de distinguer les processus impliqués dans la récupération.

3.2. Distinguer accès direct, reconstruction et jugement de familiarité : Modèle Trichotomous Theory of Recall

Barnhardt et al. (2006) mêlent les estimations des processus d'accès direct et de reconstruction avec l'observation de l'ordre des mots dans un rappel libre par leurs participants. Leur première étude proposait une liste de 20 mots de la même catégorie sémantique (par exemple, 20 noms de capitales), au sein de laquelle étaient mélangés cinq autres mots sans aucun lien sémantique ni entre eux ni avec les 20 autres. Ils constatent que ces mots non-reliés étaient rappelés majoritairement avant les mots reliés. Ceci s'explique par la saillance contrastée de ces mots non-reliés aux autres qui passent par un processus d'accès direct car étant difficilement intégrables au processus de reconstruction qui s'applique sur les 20 autres mots reliés. Dans une seconde expérience, Barnhardt et al. (2006) reprennent les liste DRM (voir partie 2.1 du présent chapitre) selon deux conditions : Dans une première, le mot thème (par exemple *musique* pour la liste *chant, concert, violon, piano, note*, etc.) est présenté parmi les autres mots qui lui sont reliés. Dans la deuxième condition, le mot thème *musique* n'est pas présenté dans la liste, sachant qu'un rappel erroné d'un tel leurre non-présenté est courant. De fait, les chercheurs postulent qu'en cas de rappel du mot thème dans la condition où il n'avait pas

été présenté, ce rappel ne peut découler que d'un processus de reconstruction au sein duquel le leurre a atteint un seuil satisfaisant (mais erroné) de jugement de familiarité pour être rappelé. Dans la condition où ce leurre avait bel et bien été présenté, son rappel peut découler autant d'un processus d'accès direct que d'une reconstruction (cette fois-ci correcte). Cette prédiction est confirmée par les auteurs qui constatent que dans la condition où le mot thème n'était pas présenté mais tout de même rappelé, la position du leurre au sein du rappel était plus tardive (dû au fait qu'il a été reconstruit au moyen des autres mots reliés et découle directement de leur association sémantique) en comparaison avec sa position lorsqu'il s'agit d'un rappel correct (voir Brainerd et al., 2009 pour un compte-rendu d'études sur les processus d'accès direct et de reconstruction antérieures au modèle *Trichotomous*).

En résumé, la distinction entre accès direct et reconstruction sur le rappel apporte son lot d'informations quant à l'étude des fausses mémoires et des processus impliqués lors du rappel. Cependant, en l'absence de modèle computationnel, ces observations présentent les mêmes inconvénients que ceux des paradigmes évoqués précédemment : Une mesure indirecte, interprétée et une impossibilité d'analyses statistiques directes sur les paramètres observés. L'implémentation de ces processus par Brainerd et ses collaborateurs en 2009 dans la théorie trichotomique du rappel (de l'anglais *Trichotomous theory of recall*) permet alors une observation statistique de cette récupération à double processus sur des tâches de rappel. Cette théorie est appliquée au travers d'un modèle *MPT* permettant la différenciation des mécanismes de récupération des représentations en accès direct des mécanismes de récupération pour les représentations reconstruites, rejoignant ainsi un vaste panel d'études mettant en évidence ces deux processus distincts actifs lors de la récupération (voir par exemple

Kintsch & Morris, 1965). Elle étoffe alors la distinction entre accès direct et familiarité de Mandler (1980) en l'implémentant dans un modèle probabiliste.

Le *Trichotomous* s'intègre dans la *FTT* aussi bien que les modèles *CR* et *SCR* développés précédemment. Ses spécificités d'application permettent de l'appliquer sur des données de rappels plutôt que de reconnaissances, ce qui élargit le champ des recherches possibles. Les processus de double-récupération de souvenirs et l'observation de faux souvenirs peuvent être examinés au moyen du modèle *Trichotomous* sur des paradigmes de rappels à long et à court-termes. Ces paramètres d'accès direct, de reconstruction et de jugement sont largement étudiés notamment sur le sujet du déclin de la mémoire chez les personnes âgées, que ce soit au moyen du modèle *Trichotomous* ou du paradigme *Remember / Know*. Les conclusions montrent notamment que le recours à l'accès direct diminue de plus en plus au fil du vieillissement, tandis que la reconstruction (ou familiarité selon le champ théorique) reste stable au fil du temps (voir Anderson et al., 2008; Parks, 2007; Toth & Parks, 2006)

Au sein du *Trichotomous*, les items d'une liste sont rappelés selon trois paramètres de récupération distincts : L'accès direct, la reconstruction, combinée à un processus de jugement de familiarité (Barnhardt et al., 2006; Brainerd, Payne, et al., 2003; Brainerd, Wright, et al., 2002; Reyna & Mills, 2007). L'accès direct correspond à la récupération dite recollective des traces. La seule forme de surface du mot suffit à sa récupération, comme si elle flottait encore dans l'esprit conscient, prête à être utilisée à la manière des représentations verbatim. Le rappel de ces traces est donc souvent précis et rapide, mais est toutefois davantage sensible aux interférences durant le rappel (Brainerd & Reyna, 1993; Reyna & Mills, 2007) et au déclin temporel (Reyna & Kiernan, 1994) en

comparaison au processus de reconstruction. Il est également impossible de ne stocker que des traces accessibles en mémoire de manière directe (i.e., recollective) sans créer une lourde charge mentale. En WM, ce processus d'accès direct peut être comparé à l'utilisation soutenue du focus attentionnel de Cowan et al. (2005) et à la récupération directe en mémoire primaire (analogue à la WM) de Unsworth et Engle (2007; 2007b). De précédentes observations semblent indiquer que la WM est reliée au processus d'accès direct (Hedden & Park, 2003; Oberauer, 2005; Unsworth & Brewer, 2009). A l'inverse, le processus de reconstruction se compare plutôt au processus de recherche en mémoire secondaire (analogue à la LTM) à partir d'indices (Unsworth, 2007) et montre une prédominance d'utilisation dans les tâches de rappel à long-terme (Brainerd et al., 2014; Brainerd & Reyna, 2010; Brainerd et al., 2009). La question de la quantification des processus d'accès direct et de reconstruction en WM est abordée sur une série de quatre expériences dans le Chapitre 6, pour la première fois à notre connaissance sur des tâches d'empans complexes.

La reconstruction s'opère sur les traces qui n'ont pas pu être récupérées en accès direct. On les nomme également « non-recollectives ». Reconstruire ces traces est plus coûteux cognitivement parlant, plus long et nécessite de regrouper toutes les informations partielles restantes à propos de l'information. Si l'accès direct permet d'accéder directement aux représentations verbatim, la reconstruction permet plutôt la récupération de traces gist. Brainerd et al. (2009) donnent l'exemple de l'information partielle résiduelle à propos d'un item à rappeler « *c'était un animal de compagnie* ». Le processus de reconstruction génère alors des candidats possibles correspondant à cette information (par exemple, *chat*, *chien* et *hamster*, mais peu probablement *requin*) qui contient potentiellement la bonne réponse. Ces propositions correspondent

généralement au gist invoqué par le souvenir résiduel. Si l'information partielle génère un grand panel de candidats, le processus a moins de chance d'aboutir (par exemple, *animal de compagnie* englobe moins de caractéristiques possibles qu'*animal*). S'applique alors le dernier processus impliqué dans la théorie *Trichotomous* : Le jugement de familiarité. Ce processus réduit la liste des candidats potentiels au rappel en opérant un contrôle de confiance sur chacun d'eux (Brainerd, Wright, et al., 2002; Reyna & Mills, 2007). Si le niveau de familiarité d'un des items candidats atteint un seuil de confiance suffisant, la reconstruction aboutit alors à un rappel (correct ou non).

La théorie *Trichotomous* distingue donc chacun de ces processus sur tous les paradigmes de rappel standards (libres, sériels, indicés ou par paires associées) et sans jamais recourir à un jugement métacognitif de la part des participants. L'influence des paramètres d'accès direct, reconstruction et jugement est exprimée dans l'Équation 2 ci-après

$$p_i(R_c) = D_i + (1 - D_i R_i J_i) \quad (\text{Équation 2})$$

dans laquelle la probabilité de rappel correct d'un item cible $p_i(R_c)$ dépend de la probabilité que l'item soit dans un état d'accès direct D_i ; de la probabilité de reconstruction R_i et de la probabilité J_i que cette reconstruction atteigne un seuil de jugement de confiance suffisant. Les paramètres de rappel pour un item se basent sur plusieurs essais i de rappels successifs. La théorie *Trichotomous* impose donc la mise en place d'un cycle d'étude (S) et de test de rappel (T) successifs S_1T_1, S_2T_2, S_iT_i . Pour chaque item, les données de succès ou d'échec de rappel à chaque essai sont compilées. La Figure 9 illustre cette équation sur un cycle de trois études et trois tests S_1T_1, S_2T_2, S_3T_3 et selon le modèle *Alternative error* (Erreur alternative).

Étant donné qu'il existe trois cycles étude-test, le cheminement de chaque item peut conduire à huit aboutissements A_i distincts de suites de rappels corrects (C_i) et d'erreurs (E_i) : $C_1C_2C_3$, $C_1C_2C_3$, $C_1E_2C_3$, $C_1E_2E_3$, $E_1C_2C_3$, $E_1S_2E_3$, $E_1E_2C_3$ et $E_1E_2E_3$.

L'aboutissement A_1 correspond à un état d'accès direct (état L , où $p_i(R_c) = 1$). Une conclusion de reconstruction est observée au terme des équations A_3 , A_5 et A_7 où les traces ont été reconstruites et rappelées (état P_c , où $0 < p_i(R_c) < 1$), et au terme des équations débouchant aux aboutissements A_2 , A_4 et A_6 où elles n'ont pas été rappelées avec succès malgré la reconstruction (P_e , où $0 < p_i(R_c) < 1$). A l'aboutissement A_8 , ni recollection ni reconstruction ne sont observées, l'item reste donc dans un état non-appris et jamais rappelé (U , où $p_i(R_c) = 0$). Selon le principe des trois états absorbants de la chaîne de Markov, une fois qu'un item a quitté l'état U de non-apprentissage, il n'y revient jamais. De la même manière, une fois qu'un item atteint l'état d'accès direct L , il ne quitte plus cet état. L'état L peut être atteint directement depuis U dès le premier essai de rappel ou au terme d'une ou plusieurs reconstructions P . Les équations détaillées pour chaque aboutissement selon l'*Alternative error* sont listées en Appendice A.

Cette succession de cycles d'études et de rappel s'exprime dans l'équation complète du modèle *Trichotomous* en Équation 3 ci-après :

$$W = [L(1), P_E(1), P_C(1), U(1)] = [D_1, (1 - D_1) \times R_1(1 - J_1), (1 - D_1)R_1J_1, (1 - D_1)(1 - R_1)]; \quad (\text{Équation 3})$$

	$L(n+1)$	$P_E(n+1)$	$P_C(n+1)$	$U(n+1)$
$L(n)$	1	0	0	0
$P_E(n)$	D_{3E}	$(1 - D_{3E})(1 - J_{3E})$	$(1 - D_{3E})J_{3E}$	0
$P_C(n)$	D_{3C}	$(1 - D_{3C})(1 - J_{3C})$	$(1 - D_{3C})J_{3C}$	0
$U(n)$	D_2	$R_2(1 - D_2)(1 - J_2)$	$R_2(1 - D_2)J_2$	$(1 - D_2)(1 - R_2)$

où les noms des paramètres D_i , R_i et J_i déjà évoqués ne changent pas et où W indique la probabilité pour un item d'être dans un état défini de rappel (L , P_C , P_E ou U) et M la probabilité pour cet item de transiter d'un état à un autre lors des cycles successifs.

Les paramètres de chaque *MPT* tels que les modèles *CR*, *SCR* et *Trichotomous* ont été implémentés dans des programmes informatisés. Parmi les plus connus, citons *AppleTree* (Rothkegel, 1999), *MBT* (Hu, 1999), *GPT* (Hu & Phillips, 1999), *HMMTree* (Stahl & Klauer, 2007) et *MultiTree* (Moshagen, 2010). Ce dernier est actuellement avec *HMMTree* le programme fournissant les analyses de puissance a priori et post-hoc les plus accessibles d'utilisation. Les études présentées en Chapitres 6 et 7 utilisent *MultiTree* pour observer les effets de variables sur le rappel et la reconnaissance à court-terme.

Partie 4. Une influence mutuelle entre WM et LTM

Les moyens par lesquels WM et LTM s'influencent mutuellement restent sujet à débat. Jusqu'à présent, les relations entre les deux systèmes de mémoire ont été principalement examinées par l'analyse des mécanismes qui permettent le regroupement (*chuncking*) de traces à maintenir en mémoire (Allen et al., 2009; Chen & Cowan, 2005) et des mécanismes de séquençage et de maintien de l'ordre sériel (Gupta & Cohen, 2002; Page & Norris, 1998). Les relations entre LTM et WM ont également été examinées par le prisme d'effets facilitateurs au maintien en WM découlant directement de la LTM (Hulme et al., 1997; Thorn et al., 2005) et au travers de l'implication du système langagier (système à long-terme) sur le maintien d'items verbaux à court-terme (Majerus, 2013; Service, 2009). Différentes approches pour une même conclusion : La WM et la LTM ont un impact mutuel sur le fonctionnement de l'autre.

Notre postulat de base a été d'impliquer des effets de LTM dans des tâches de WM en examinant les modulations qui pourraient être observées sur le mécanisme attentionnel en WM. L'observation du rôle de l'attention nous semble être une première étape indispensable à préciser dans l'établissement des relations entre WM et LTM. Les modèles computationnels *SCR* et *Trichotomous* développés précédemment nous permettent d'examiner les effets de modulations d'effets à long-termes et de disponibilité attentionnelles sur d'autres processus, en l'occurrence les représentations verbatim et gist ainsi que les processus d'accès direct, de reconstruction et de jugement de familiarité.

Résumé du Chapitre 2

La LTM conserve des représentations sur un délai considérablement long en comparaison à la WM. Ces représentations peuvent être de différentes natures. Dans nos études, la classe déclarative a constitué notre principale source d'intérêt du fait de la nature verbale des représentations qui y sont stockées. La LTM contient autant nos souvenirs d'expériences récentes que celles datant de dizaines d'années. Cependant, des faux souvenirs peuvent se former spontanément ou par induction du contexte.

La *FTT* apporte de nombreux éléments expliquant l'apparition de ces faux souvenirs, démontrant que pour chaque information existe deux représentations distinctes : *Verbatim* et *gist*. La forme de surface de l'information, précise et littérale, est représentée par les traces verbatim et son sens global dans les traces gist. Les deux traces permettent respectivement un traitement analytique et exact versus un traitement plus intuitif et sujet à confusion de l'information. Néanmoins, les représentations gist sont nécessaires car plus efficaces dans la vie de tous les jours, plus stables face au déclin et cognitivement moins coûteuses que les verbatim.

Les représentations verbatim permettent, lorsqu'elles sont accessibles, un accès direct à l'information (recollection). Les représentations gist sont plutôt employées dans les processus de reconstruction et de jugement de familiarité envers l'information si son accès direct n'est pas possible. Ce processus est plus long car il implique de réunir toutes les informations résiduelles à propos de l'information recherchée.

Plusieurs paradigmes expérimentaux et modèles multinomiaux permettent de quantifier la contribution relative de ces processus. Les modèles *CR* et *SCR* permettent de faire la distinction entre les représentations verbatim et gist impliquées lors d'une tâche de reconnaissance d'items en WM, ce qui est particulièrement informatif dans le cadre de l'étude des fausses mémoires. Le modèle probabiliste *Trichotomous* permet de quantifier les processus d'accès direct, de reconstruction et de jugement au terme d'essais d'études et de rappels successifs d'items en WM.

De précédentes études rapportent une utilisation prédominante du processus de reconstruction en LTM et d'accès direct en WM (voir Chapitre 6).

Chapitre 3. Comment la mémoire à long-terme affecte-elle la mémoire de travail : Un rôle de l'attention ?

L'analogie qui prête au fonctionnement cognitif celui d'un ordinateur est parfois utilisée pour décrire la mémoire de travail (WM) et la mémoire à long-terme (LTM). Les utilités et limitations de ces deux systèmes mémoriels peuvent effectivement facilement être comparées à des systèmes informatisés. Dans tout bon fonctionnement efficace, il est nécessaire de disposer d'une base de données solide, un disque dur que représenterait la LTM, et d'un espace de travail, une mémoire vive que représenterait la WM. Cependant, si quelques clics suffisent pour savoir combien de giga d'espaces libres sont disponibles sur notre disque dur et sur notre mémoire vive, connaître les limites de notre système mémoriel cognitif est plus ardu. Au niveau humain, les limites diffèrent d'un individu à l'autre, dépendent de notre âge et des contextes dans lesquels nous évoluons. Sur votre ordinateur, une logique similaire se répète. Ainsi, selon l'âge, la qualité de votre machine et les demandes que vous lui faites, l'utilisation simultanée de trop d'applications surcharge ses systèmes. Ajoutez à cela la lecture d'une vidéo ou le changement d'un paramètre quelconque et voilà que votre document Word non-sauvegardé depuis des heures disparaît. Ce symptôme de capacité de traitement ralentie, ou même de crash, est typique d'une sollicitation trop élevée de la mémoire vive et n'est pas exclusive aux systèmes informatiques. Il est probable que vous ayez vous-mêmes vécu cette sensation d'avoir trop de choses en tête pour pouvoir traiter les informations avec votre efficacité habituelle. Dans ce genre de situations, une stratégie possible est d'impliquer sa LTM. Sauvegarder son document régulièrement permet de ne pas le perdre complètement. Transposer nos fichiers *Word, Excel et PowerPoint* en format *PDF* permet de fermer toutes

ces différentes applications pour n'en utiliser plus qu'une seule commune à tous les fichiers. Nous avons vu dans les chapitres précédents comment les systèmes de WM et de LTM fonctionnent. La question fondamentale de leur interaction est maintenant abordée dans ce nouveau chapitre. La première partie développe les effets lexico-sémantiques connus pour impacter la mémorisation, tels que les effets de fréquence, lexicalité et d'association sémantique. Ensuite, quatre hypothèses importantes au sujet des interactions entre les deux systèmes de mémoire sont étudiées.

Partie 1. Les effets lexico-sémantiques améliorent les performances à court-terme

De nombreuses études ont démontré que le maintien en WM d'informations disposant de représentations en LTM est facilité par la présence de ces représentations (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Loaiza, Duperreault, et al., 2015; Poirier et al., 2011; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a; Saito et al., 2020; Tse, 2009; Tse et al., 2011). Par exemple, une suite de lettres formant des abréviations ou acronymes connus (e.g., *SOS*, *SPQR*, *NASA*, etc.) est mieux rappelée à court et à long-terme qu'une suite de lettres ne formant aucun sens connu (Cowan, 2008; Miller, 1956). Cet effet de lexicalité s'observe également sur le rappel de pseudo-homophones qui sont mieux rappelés en comparaisons à des non-mots ou des mots de langue inconnue ou éloignée (Besner & Davelaar, 1982; Jefferies et al., 2006a, 2006b) et s'étend même au rappel de mélodies non-familiales (Nees et al., 2017) Hulme et al. (1991) comparent la mémorisation des mots italiens et de mots anglais en observant les performances de participants anglophones dans une tâche de WM. Ils observent un rappel plus faible pour les mots en italien, inconnus des participants. La connaissance du sens des mots augmente les performances de rappel. En effet, si leur signification est inconnue, les non-mots et les mots inconnus ne

bénéficient pas de représentations à long-terme solides pouvant appuyer le rappel en facilitant leur reconstruction. Cette absence d'identification lexicale ne facilite pas non plus un rafraichissement optimal des items concernés, contrairement aux items reliés par des représentations de LTM et qui peuvent ainsi être rafraichies rapidement, voir même en un seul ensemble, ce qui ralenti plus efficacement leur déclin (Hulme et al., 1999).

Parmi les effets lexico-sémantiques influençant le rappel, l'effet de fréquence a également été largement étudié (Hulme et al., 1997; Kowialiewski & Majerus, 2018a; Poirier & Saint-Aubin, 1996; Saint-Aubin & Leblanc, 2005; Stuart & Hulme, 2000; Watkins & Watkins, 1977). Les mots plus fréquemment utilisés dans le langage (e.g., *maison* et *plante*) sont plus facilement rappelés que des mots moins fréquents (e.g., *logis* et *mandragore*), leurs représentations LTM étant moins consolidées en fonction de leur faible utilisation. Dans la même idée, les mots plus concrets ou tangibles et dont la création d'une image mentale (effet d'imageabilité) est plus facile (e.g., *tasse* et *balai*) sont également mieux rappelés que les mots abstraits à l'imageabilité plus complexe (e.g., *liberté* et *âme*; Acheson et al., 2010; Bourassa & Besner, 1994; Campoy et al., 2015; Miller & Roodenrys, 2009; Romani et al., 2008; Walker & Hulme, 1999).

Ces effets des connaissances à long-terme sont robustes et s'observent autant sur les paradigmes de rappel (Besner & Davelaar, 1982; Guérard & Saint-Aubin, 2012; Hulme et al., 1991; Tse et al., 2011) que de reconnaissance (Gathercole et al., 2001; Jefferies et al., 2006b; Romani et al., 2008). Ces effets lexico-sémantiques découlent du bénéfice des fortes représentations en LTM, ainsi que de l'activation de toutes les représentations présentant des caractéristiques communes dans le réseau sémantique (Atkins & Reuter-Lorenz, 2008; Kowialiewski & Majerus, 2018a). Dans le cas des mots à haute fréquence,

l'activation de leur représentation pourrait être facilitée par une présence plus importante et plus fréquemment activée dans les réseaux sémantiques (McClelland & Elman, 1986), mais pourrait également bénéficier d'une grande présence dans les réseaux sémantiques en étant associé à davantage d'autres représentations que les mots non-fréquents (Hulme et al., 2003). La pondération entre ces deux hypothèses reste à définir (voir Saint-Aubin & Poirier, 2005; Tse & Altarriba, 2007). Kowialiewski et Majerus (2018a) montrent également que l'activation des représentations des mots cibles et celles des mots reliés se produisent de manière intuitive et donc non stratégique en WM (verbale dans cette étude).

Chez les enfants, l'effet de lexicalité a été observé dès 6 ans (Gathercole et al., 2001; Roodenrys et al., 1993), mais est moins présent chez les enfants de 5 ans (Turner et al., 2000). Majerus et Van der Linden (2003) observent une augmentation des performances de rappel de mots chez des enfants âgés de 6 à 12 ans et expliquent ce résultat par l'augmentation de la taille du vocabulaire avec l'âge. Le fait que l'apprentissage de nouveaux mots soit facilité par le stock lexical déjà présent augmente d'autant plus l'importance des réseaux sémantiques dans les capacités de mémoire des enfants.

Les connaissances à long-terme contribuent également aux performances de mémoire visuelle (Ricker & Cowan, 2010). La présentation répétée d'items visuels tels que des visages (Horton et al., 2008) ou des localisations spatiales (Couture & Tremblay, 2006) crée tout autant d'apprentissages à long-terme que la présentation répétée d'items verbaux (voir Poirier et al., 2019 pour une double-dissociation claire entre les systèmes entre traitement verbal et visuo-spatial). Afin d'exclure l'hypothèse que cet effet de répétition ne provienne que de traces résiduelles en WM, Brady et al. (2009) recréent un

effet de fréquence avec du matériel visuel. Des couleurs appariées en paires étaient présentées aux participants, et certaines paires apparaissaient plus fréquemment que d'autres tout au long de l'expérience. Dans le cas de ces appariements fréquents, Brady et al. (2009) observaient de meilleures performances par rapport aux paires plus rares (voir également Oberauer et al., 2017). En résumé, et bien que la majorité des études sur l'apport des connaissances à long-terme portent sur les performances à court-terme verbales, il est clair que les performances visuelles bénéficient aussi de ces connaissances à long-terme et qu'il reste encore à comprendre ce qui permet l'apparition de ces effets.

1.1. L'effet d'association sémantique

Dans chaque étude présentée dans cette thèse, nous avons manipulé la présence d'effets de LTM principalement au moyen d'associations sémantiques plus ou moins fortes entretenues entre les mots présentés (en anglais *associative relatedness effect*). Cet effet apparaît en cas de haute probabilité d'association entre deux mots ou plus. Cette probabilité se base principalement sur la fréquence de cooccurrence de ces mots dans le langage. On peut facilement créer des listes de mots reliés autour d'un même thème au travers d'associations libres. Ce type de tâche demande de donner un ou plusieurs mots qui viendraient à l'esprit immédiatement en réponse à un mot thème (voir par exemple Duscherer et al., 2009, pour des normes d'associations verbales en français; et Nelson et al., 2004 pour des normes en anglais). Ces réponses dépendent de la force d'association sémantique entre les mots (e.g., *chien* et *chat* sont fortement associés, alors que *chien* et *requin* le sont peu, bien qu'intégrant la même catégorie sémantique des animaux). Cette association se distingue d'un regroupement de mots de la même catégorie sémantique (e.g., *perruche*, *perroquet* et *moineau* qui appartiennent tous à la catégorie sémantique des oiseaux). Si on a quelques connaissances sémantiques préalables à propos des oiseaux,

les mots *moineau*, *plume* et *œuf* sont également fortement reliés entre eux par les connaissances autour des oiseaux, même s'ils n'appartiennent pas à la même catégorie sémantique (voir Thompson-Schill et al., 1998; Tse et al., 2011).

Dans une tâche de rappel immédiat, des listes de mots appartenant à la même catégorie ou sémantiquement associés entre eux seront mieux rappelées que des listes de mots sans lien sémantique (Poirier & Saint-Aubin, 1995; Saint-Aubin & Poirier, 1999a). Une hypothèse expliquant cet effet est que l'existence préalable d'un lien sémantique entre les items présentés peut faciliter à la fois l'encodage et le rappel de ces derniers. Poirier et al. (2011) comparent des listes de mots partageant ou non la même catégorie sémantique (e.g., *bleu – noir* vs., *bleu – pied*) et en variant la force de l'association entre items à l'intérieur de ces variables (e.g., *œil – noir* vs., *œil – pied*) dans une tâche de WM. Leurs résultats montrent que l'appartenance à une même catégorie sémantique (*bleu – noir* / *œil – pied*) et l'association sémantique (*œil – noir*) favorisent toutes les deux les performances, sans toutefois interagir. Ces analyses confirment de précédentes observations impliquant des effets lexico-sémantiques et suggèrent que le rappel en WM s'aide des connaissances activées de la LTM pour lui fournir des indices de récupération, notamment les propriétés sémantiques des items à rappeler. La prise de conscience des liens catégoriels ou sémantiques entre items permet de réduire le nombre de candidats possibles au rappel à un seul ou plus petit réseau sémantique. Ainsi, la réponse choisie est souvent celle qui correspond le plus aux représentations à long-terme activées (voir également Oberauer, 2009a).

Cet effet d'association sémantique a été répliqué de nombreuses fois. Il résiste autant dans des conditions où le coût cognitif de la tâche secondaire est important (Hulme

et al., 1999) que sous suppression articulatoire (Shivde & Anderson, 2011) ou quand le nombre de mots présentés augmente (Oberauer et al., 2004). Cependant, plusieurs études montrent que le maintien de l'ordre de présentation de listes de mots reliés sémantiquement est moins bon qu'en cas d'absence de lien sémantique (Poirier et al., 2011; Poirier & Saint-Aubin, 1995; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a, 1999b). Cet effet n'a toutefois pas été observé systématiquement (voir Oberauer, 2009a) et mériterait donc de nouvelles investigations. La présence d'associations sémantiques au sein d'une liste de mots conduit également à l'apparition de faux souvenirs, qui augmentent avec la force des associations sémantiques (McEvoy et al., 1999; Tehan, 2010).

Notre question réside dans la manière dont ces effets de LTM peuvent être impliqués dans des tâches de WM. La majeure partie des modèles théoriques s'accordent sur l'hypothèse selon laquelle le mécanisme attentionnel joue un rôle prépondérant dans la relation entre les deux mémoires.

Partie 2. Comment les représentations à long-terme sont-elles utilisées en mémoire de travail ?

L'attention est à la base des processus d'apprentissage et de mémorisation. On la définit comme la capacité à sélectionner et se concentrer sur des stimuli jugés comme importants (James, 1890). L'attention peut se distinguer en un processus automatique de vigilance ou en un processus actif contrôlé. Il existe en prime plusieurs catégorisations d'attention (Posner & Snyder, 1975; Shiffrin & Schneider, 1977). Celle à laquelle se rapproche le plus le processus attentionnel impliqué en WM est l'attention contrôlée, impliquée dans toutes les activités nécessitant du contrôle exécutif (voir Engle, 2002). Le

nombre d'éléments qu'il est possible de traiter sous attention contrôlée est limité, et dépend notamment des différences interindividuelles dans le nombre d'éléments qu'un individu est capable de percevoir et maintenir dans son focus attentionnel. Au niveau intra-individuel, ce nombre d'éléments, leur nature (verbale vs., visuelle par exemple), l'âge et le fait qu'un traitement doive potentiellement être effectué en même temps que l'activité de maintien, etc., influent sur nos capacités attentionnelles (Cowan, 2011; Cowan et al., 2014; Doherty et al., 2019). Il nous arrive alors d'écarter volontairement certains éléments pour mieux nous concentrer sur ceux qui ont été choisis, que ce soit pour éviter une situation de surcharge cognitive ou pour optimiser nos performances. Ce contrôle attentionnel est primordial pour choisir quels éléments inclure et exclure du focus attentionnel et continuer à le mettre à jour au fil de la tâche en cours et en fonction des nouveaux éléments qui nous parviennent. Ces nouveaux éléments peuvent provenir de notre environnement, mais aussi de la LTM.

Les études impliquant les mécanismes attentionnels de WM (focus, contrôle ou rafraichissement attentionnel, selon la littérature) s'étoffent de jour en jour. Cependant, il reste encore de nombreux points à explorer pour en comprendre totalement le fonctionnement. Au cours des dernières années, la question s'est posée de savoir de quelle manière LTM pouvaient intervenir en WM. Les effets lexico-sémantiques ayant une action visible sur les performances tant à long qu'à court-terme, ils constituent une porte d'entrée idéale pour observer l'interaction entre les deux systèmes mémoriels. De son côté, le mécanisme de rafraichissement attentionnel se base sur l'attention pour permettre le traitement et le maintien d'informations multimodales (Camos, 2015, 2017; Vergauwe et al., 2009, 2010b; Vergauwe, Camos, et al., 2014).

Selon la littérature, le rafraichissement attentionnel pourrait être semblable à un processus d'**élaboration** enrichi par les connaissances à long-terme (Craik & Lockhart, 1972; Greene, 1987; Klatsky, 1988; Loaiza & McCabe, 2012). Selon d'autres théories, le rafraichissement peut se définir comme la **récupération** (*covert retrieval*) des représentations de la mémoire secondaire vers la mémoire primaire (systèmes comparables à la LTM et à la WM, voir Loaiza & McCabe, 2012; Loaiza & McCabe, 2013; McCabe, 2008). Une troisième description présente le rafraichissement comme un processus de **reconstruction** dans lequel les connaissances à long-terme peuvent être utilisées pour faciliter la reconstruction des représentations en WM (Barrouillet & Camos, 2015; Hulme et al., 1997; Neale & Tehan, 2007; Schweickert, 1993). Une dernière hypothèse décrit le rafraichissement comme le fait de repenser brièvement aux représentations précédemment activées en les ramenant dans le focus attentionnel (Cowan, 1995, 1999a; Vergauwe & Langerock, 2017), ou plus récemment comme le fait de parcourir rapidement l'ensemble du contenu actif en WM pour le **réactiver** (Vergauwe & Cowan, 2015). L'étude présentée en chapitre 5 compare plusieurs de ces hypothèses en manipulant la disponibilité ou les opportunités de rafraichissement attentionnel et l'implication des connaissances à long-terme dans des tâches de WM. La suite de cette partie de chapitre développe le contexte empirique derrière chacune de ces hypothèses.

2.1 Un effet d'élaboration des traces ?

Plusieurs études suggèrent que le traitement sémantique en WM pourrait être modéré par des facteurs attentionnels (Loaiza et al., 2011; Rose et al., 2014; Rose & Craik, 2012). D'après Craik et Lockhart (1972), l'aspect crucial dans la qualité de la mémorisation est la manière dont l'information a été traitée et élaborée durant son apprentissage. Le traitement d'une information peut aller d'une analyse superficielle (par

exemple l'aspect structurel ou phonétique d'un mot) à profonde (comme dans le cas de l'analyse sémantique du mot). On a donc d'un côté un encodage de surface de l'information (ce à quoi elle ressemble) à l'autre extrême sa signification. Un traitement plus profond de ces représentations (effet LOP, de l'anglais *level of processing*) a un effet bénéfique sur les performances en WM.

Craik et Tulving (1975) ont mené une dizaine d'expériences afin d'examiner l'effet du niveau de profondeur de traitement sur la mémorisation. Des participants devaient observer une série d'items verbaux et répondre à une question pour chacun d'entre eux. Ces questions pouvaient porter sur l'aspect visuel des items, où les participants devaient indiquer s'ils étaient écrits en lettres minuscules ou majuscules ; sur l'aspect phonologique, où il s'agissait d'indiquer si les items rimaient avec un autre mot donné ; ou sur l'aspect sémantique, où les participants devaient juger si les items s'intégraient ou non dans une phrase donnée. Aucune demande de mémorisation ne rentrait en jeu jusqu'à la fin de cette phase de questions. Dans une dernière phase, les participants recevaient une nouvelle liste de 180 mots au sein de laquelle les items originaux avaient été mélangés à des mots nouveaux. La nouvelle tâche était alors de reconnaître les items originaux. Craik et Tulving (1975) ont alors observé de meilleures performances pour les items qui avaient été traités sémantiquement que pour ceux qui l'avaient été visuellement ou phonologiquement. Le niveau de profondeur de traitement d'une information influence donc sa qualité de mémorisation. Un niveau d'analyse plus profond aboutit à une trace plus élaborée de l'information et plus résistante au déclin qu'un traitement superficiel. La signification extraite d'une information au travers d'une analyse approfondie a même plus d'impact sur la qualité de la trace que la répétition d'analyses superficielles (Craik & Tulving, 1975).

La limite dans la caractérisation d'un traitement comme profond ou superficiel constitue la principale faiblesse de ce champ théorique. On observe notamment que le contexte dans lequel est fait le traitement (même implicite) a une grande importance. L'effet LOP peut même s'inverser dans le cas où l'apprentissage des informations n'a aucun lien avec les exigences de la tâche finale. Dans le cadre d'une tâche de reconnaissance standard d'une liste d'items, le traitement phonologique (superficiel) d'items aboutira bien à un rappel plus faible qu'un traitement sémantique (profond). Toutefois, si cette tâche de reconnaissance est remplacée par une tâche dans laquelle les participants doivent sélectionner de nouveaux mots rimant avec ceux de la liste traitée précédemment, alors le traitement phonologique, bien que jugé superficiel, aboutit à de meilleures performances (Eysenck & Keane, 2020; Morris et al., 1977)

Les études réalisées dans le cadre de la WM rapportent un effet de LOP plus grand lorsque le mécanisme attentionnel en WM est détourné vers une tâche concurrente. Lorsque les items peuvent être maintenus en mémoire primaire (WM), cet effet diminue (Rose et al., 2014; Rose et al., 2015). Cette observation a mené certains chercheurs à décrire rafraichissement et effet d'élaboration comme un système unique de contrôle du contenu de la WM, notamment au travers du prisme du modèle théorique des mémoires primaire et secondaire (PSM, de l'anglais primary-secondary memory framework, James, 1890; Unsworth & Engle, 2007a). Selon ce modèle, les représentations sont prioritairement maintenues en mémoire primaire (WM). Quand sa capacité est dépassée, que ce soit par le nombre d'items à maintenir ou par des tâches secondaires nécessitant le stockage temporel d'informations pour être réalisées, les représentations sont déplacées vers la mémoire secondaire (LTM). Leur récupération doit alors se faire directement depuis la LTM afin d'être rappelées. Dans cette logique, il est attendu que les

effets de LTM tels que le LOP deviennent plus importants dans les cas où un coût attentionnel concurrent (*CL*) en WM a forcé les représentations à migrer en LTM, soit à l'endroit même où sont stockées les connaissances impliquées lors d'un traitement profond de l'information.

Cependant, si rafraichissement et effet d'élaboration (tels que le LOP) ont été décrits comme un même processus de contrôle sur le contenu de la WM, les résultats de deux expériences récentes de Bartsh et al. (2018) suggèrent qu'il s'agit en fait de deux processus distincts. Dans cette étude (voir Figure 10), une liste de six mots était mémorisée. Puis dans la phase de traitement, les participants revoyaient de manière séquentielle les trois premiers ou les trois derniers mots de la liste présentée. Dans une première condition « répéter sans élaboration », ces mots étaient indiqués littéralement et aux mêmes positions que dans la liste d'origine. La consigne donnée aux participants consistait simplement à repenser aux mots indiqués. Une deuxième condition, « répéter avec élaboration », demandait aux participants de créer une image mentale mettant en relation les trois items présentés. Une troisième et quatrième conditions, « rafraichir sans / avec élaboration », reprenaient respectivement les mêmes consignes mais seules les positions sérielles des mots étaient indiquées par les symboles « # ?# ?# » au lieu des mots eux-mêmes.

Au terme de chaque condition, la dernière tâche était de reconnaître les mots de la moitié de liste représentée en phase de traitement parmi des leurres (ici, des mots de la seconde moitié de liste) et des mots nouveaux. La tâche comparait donc les performances lorsque les mots sont simplement relus dans leurs formes littérales et celles quand les mots devaient être rafraichis à partir d'un indice de position sérielle ; ainsi que les effets de l'élaboration découlant de la formation d'image mentale d'une relation entre les items.

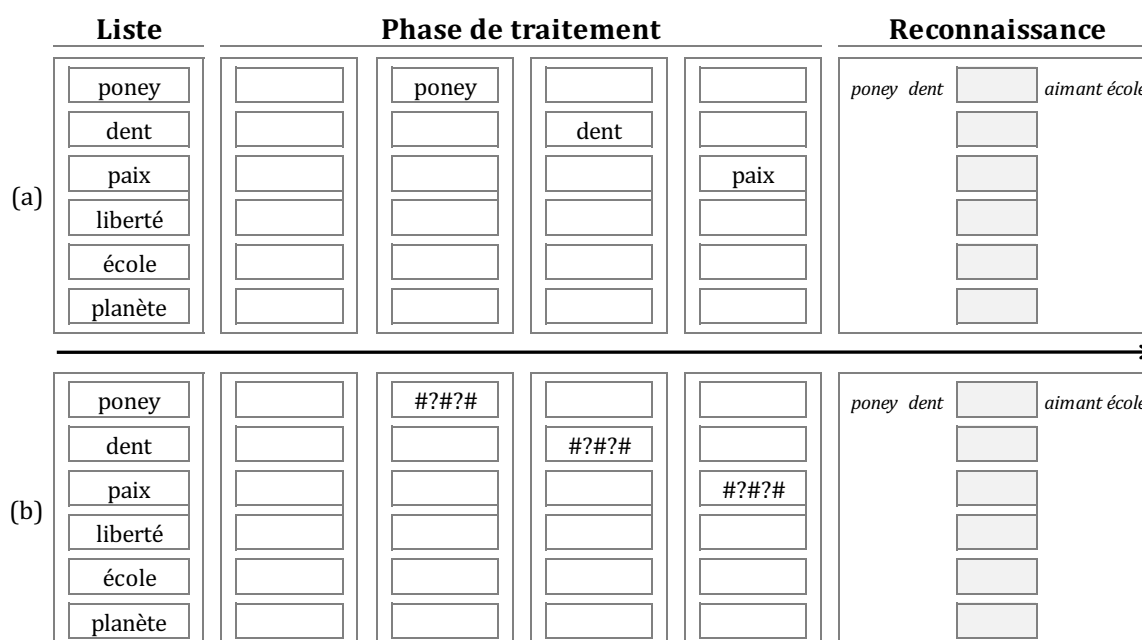


Figure 10. Paradigme des expériences de Bartsh et al. (2018). La tâche présentait une liste des six mots avant un intervalle blanc. La première ou la deuxième moitié de ces mots était présentée à nouveau dans la phase de traitement, soit de manière littérale (a, conditions « répéter »), soit en indiquant simplement leur position (b, conditions « rafraichir »). Une moitié des participants recevaient la tâche de simplement se souvenir des mots indiqués (conditions « sans élaboration »), l'autre moitié avait pour consigne de se représenter mentalement les trois items en interaction (conditions « avec élaboration »). La tâche se concluait par une phase de reconnaissance (immédiate ou différée) des mots correspondant à la moitié de la liste étudiée en phase de traitement. Adaptée de Bartsh et al. (2018).

Les listes répétées aboutissaient à de meilleurs scores de reconnaissance immédiate que les listes rafraichies, alors qu'aucun effet n'était observé en reconnaissance différée. Cette absence d'effet en reconnaissance différée peut être interprétée comme le fait que les bénéfices du rafraichissement sur la LTM ne pourraient se produire que lorsque le coût attentionnel en WM est faible. Cette explication potentielle nécessitant de nouvelles observations (voir notamment Souza et al., 2015), elle est notamment explorée dans l'étude présentée au chapitre 5. Ensuite, les conditions

impliquant l'élaboration des mots présentés permettent bien d'améliorer les performances en reconnaissance différée, en accord avec de précédentes études, mais n'ont pas grande influence sur les performances de reconnaissance immédiate.

En résumé, le mécanisme de rafraichissement attentionnel pourrait être comparable à un processus d'élaboration des traces. Les connaissances à long-terme associées aux informations à mémoriser fournissent la matière première essentielle à cette élaboration qui ne peut se produire en absence de représentation. Il a été observé que les effets de LTM, tel que le LOP, se renforcent en situation de fort coût cognitif et diminuent dans le cas contraire. Ces observations trouvent une explication dans le cadre du modèle PSM prédisant un transfert des traces à maintenir de la WM vers la LTM lorsqu'elles sont trop nombreuses pour la capacité de la WM ou lorsque la demande attentionnelle en WM est trop forte pour assurer leur maintien. De fait, en situation de fort coût attentionnel, les traces à maintenir se retrouvent dans la même structure mémorielle que les connaissances à long-terme qui pourraient venir les enrichir. L'enrichissement des traces s'en trouverait ainsi facilité, ainsi que leur rappel. Le rafraichissement et l'élaboration semblent donc tout deux sous-tendre le maintien en WM et la formation de représentations en LTM. Plusieurs études répliquent ces observations selon lesquelles l'élaboration des traces tire un bénéfice de la LTM et que le rafraichissement permet le maintien des représentations en WM. Il est donc courant de présenter le rafraichissement et l'élaboration comme un même processus. Cependant, des résultats récents tels que ceux de Bartsh (2018) tendraient plutôt à les distinguer du fait de l'effet bénéfique d'élaboration observé seulement sur les performances de rappel différé et non pas de rappel immédiat. L'élaboration ne bénéficierait donc à la mémoire qu'après un certain délai, contrairement au rafraichissement qui lui montre un effet bénéfique dès le rappel immédiat.

2.2 Un effet de récupération des traces en LTM vers la WM ?

Le rafraichissement attentionnel peut également être décrit comme le fait de récupérer consciemment les représentations stockées en LTM vers la WM, faute d'avoir pu les traiter en WM directement (Loaiza & McCabe, 2012, 2013; McCabe, 2008). Cette action de récupération (de l'anglais *covert retrieval*) se produit durant les intervalles entre traitements, lesquels durent généralement quelques dizaines de millisecondes. Si la tâche en cours ne nécessite aucun traitement et ne dépasse pas les capacités de la WM dans le nombre d'items à maintenir, cette action de récupération n'est alors pas nécessaire, car toutes les représentations peuvent rester en accès direct en WM. Quand cette récupération a lieu, son action favoriserait la formation de liens entre les éléments à rappeler et les connaissances à long-terme qui leur sont associées (Loaiza & Borovanska, 2018). Les items qui ont été présentés au sein de tâches secondaires durant lesquelles la WM est distraite par des traitements autres bénéficient alors d'un avantage car leur maintien a nécessité plus de rafraichissements, et donc plus de récupérations. Ainsi, les items ayant bénéficié de plus d'opportunités de rafraichissement dans une tâche de WM seront mieux rappelés dans un rappel différé. Les items qui ont nécessité moins de rafraichissement (e.g., présentés en tâche d'empan simple plutôt que complexe) seraient moins bien établis en LTM et conduiraient alors à de plus faibles rappels différés (effet McCabe, Loaiza, Duperreault, et al., 2015; Loaiza & McCabe, 2012, 2013; Loaiza, Rhodes, & Anglin, 2015; McCabe, 2008). Le rappel immédiat reste cependant meilleur dans les tâches d'empans simples, pour autant que le nombre d'items présentés ne dépasse pas les capacités de WM. Cet effet *McCabe* découle exclusivement des opportunités de rafraichissement. En effet, la suppression articulatoire (i.e., l'obstruction du mécanisme de répétition articulatoire) n'a pas d'incidence sur la possibilité de récupération des traces mémorielles (Loaiza & McCabe, 2013).

Selon cette hypothèse, le rafraichissement équivaudrait à un processus de récupération consciente des traces stockées en LTM vers la WM. Si le rafraichissement peut être consacré uniquement au maintien des items en WM et non pas partagé avec des traitements concurrents, son action de récupération n'est pas nécessaire car les traces ont pu être maintenues en accès direct en WM. Dans le cas contraire, ces traces ont donc davantage de risques souffrir de négligence attentionnelle et de décliner.

Loaiza, Duperreault, et al. (2015) ont observé que les bénéfices de la récupération sont bien spécifiques au rappel différé. Les auteurs ont utilisé l'effet de lexicalité en proposant des listes de mots et de non-mots à mémoriser (e.g., *plante, lune, lave* et *roi* vs., *slante, luve, lade* et *zoi*, ici transposés en français mais en anglais dans l'étude originale). Ces listes de mots étaient présentées dans une tâche d'empan simple ou d'empan complexe dans lesquelles la présentation de chaque mot s'alternait avec la vérification d'une opération mathématique (voir Figure 11.).

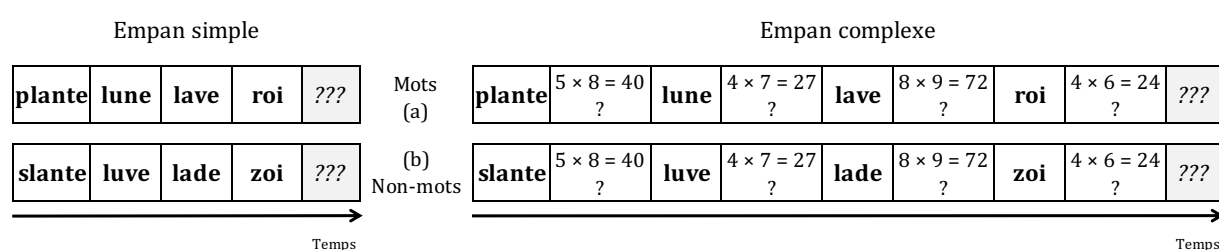


Figure 11. Exemple de tâches d'empan simple (à gauche) et d'empan complexe (à droite) avec une liste de mots (a) et de non-mots (b). Adaptée de Loaiza, Duperreault, et al. (2015).

La première expérience impliquant cette procédure mesurait le rappel immédiat libre des listes d'items étudiés. Les résultats ont répliqué l'effet connu de lexicalité, les mots connus étant mieux rappelés que les non-mots. De plus, cet effet de lexicalité restait

observable dans les deux types d'empan, bien que plus faible dans le cas de l'empan complexe par rapport à l'empan simple (voir également Grillon et al., 2008; Mitchell et al., 2000). Les auteurs en ont conclu que la présence de représentations à long-terme dans une tâche de WM est déterminante des performances possibles lors du rappel.

Les facteurs de LTM pourraient donc être des modérateurs de l'efficacité de la WM, même si la réciproque n'est pas certaine. Plusieurs études rapportent une réduction des effets de LTM sur le rappel immédiat dans les tâches de WM où l'attention doit être partagée entre plusieurs traitements. Les mots ne bénéficiant alors pas de représentations à long-terme solides tels que les mots peu fréquents et les non-mots tirent davantage parti des opportunités de rafraichissement. Dans le cas des rappels différé cependant, plusieurs études n'aboutissent pas aux mêmes résultats. En rappel différé par exemple, l'effet de fréquence mesuré par Abadie et Camos (2018) était plus important dans la tâche de WM où les items étaient peu rafraichis que dans la tâche d'empan complexe où les opportunités de rafraichissement étaient plus nombreuses (voir également Rose et al., 2014; Souza & Oberauer, 2017), à l'inverse des observations faites par Loaiza, Duperreault, et al. (2015) et Loaiza, Rhodes, et Anglin (2015). Ces résultats suggèrent l'intervention d'un processus de consolidation après l'encodage d'un item (Jolicœur & Dell'Acqua, 1998) plutôt que de son rafraichissement entre chaque étape de traitement (voir également Ricker & Hardman, 2017; Ricker et al., 2018).

Au vu de ces différents résultats, il est raisonnable de supposer que si la récupération n'est pas modulée par l'attention, alors elle se distingue du rafraichissement. L'effet *McCabe* doit donc encore être exploré pour définir si oui ou non il peut refléter l'action du rafraichissement attentionnel, mais les dernières observations citées

supposent une indépendance dans les fonctionnements du rafraichissement et de la récupération. Leur fonctionnement peut être conjoint en WM, mais la récupération ne serait que le moyen par lequel les facteurs peuvent influencer la WM (voir également Loaiza & Halse, 2019)

2.3. Le rafraichissement comme processus de reconstruction des traces ?

Parmi les pistes possibles, la reconstruction⁴ des représentations pourrait expliquer les effets de LTM dans les tâches de WM (Clarkson et al., 2016; Guitard et al., 2018; Hulme et al., 1997; Poirier et al., 2011; Schweickert, 1993; ou voir chapitre 2, partie 2). Avant qu'une trace mémorielle n'ait totalement disparue, que ce soit par déclin de la trace (Page & Norris, 1998) ou à cause d'interférences (Nairne, 1990), les bribes d'informations qui en restent peuvent servir de fondations pour sa reconstruction. Schweickert (1993) donne l'exemple du mot *crocodile* qui pourrait être reconstruit à partir du souvenir fragmenté « *cr_odi_e* ». Les connaissances à long-terme du mot et des animaux en général permettent et aident à la reconstruction de cette trace. Le rôle de la LTM dans la reconstruction est de compléter les lacunes des informations résiduelles au moyen des représentations à long-terme (Brown & Hulme, 1995; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011). Sur certains aspects, la reconstruction est donc similaire au processus d'élaboration qui enrichit les traces déclinant en WM par des connaissances en LTM (Craik & Lockhart, 1972; Craik & Watkins, 1973, voir partie 2.1 du présent chapitre), à la différence que la reconstruction utilise les connaissances en LTM pour compléter les traces en WM. Les analyses effectuées grâce aux modèles *MPT* décrits en Chapitre 2

⁴ Nommé parfois « *redintegration* » selon les auteurs. A noter que le concept de *redintegration* définit souvent un processus implicite alors que la reconstruction est souvent présentée comme un processus actif et soumis à une décision finale de rappel.

montrent que même les éléments ayant peu ou pas encore souffert de déclin ou d'interférences passent tout de même par un processus de reconstruction qui serait inhérent à la récupération des éléments. Cependant, si la trace est peu affectée, celle-ci nécessitera peu de reconstruction et aura de bonnes chances d'être rappelée correctement (Roodenrys & Miller, 2008). Ce processus de reconstruction constitue donc une explication potentielle aux effets de connaissances à long-terme tels que ceux de similarité sémantique, fréquence, lexicalité, etc. Au moment du rappel, une trace associée à des connaissances à long-terme bénéficie de plus d'éléments favorisant sa reconstruction qu'une trace qui en serait dépourvue. Le rappel qui en résulte serait alors meilleur en présence de ces éléments.

Le rôle du rafraichissement dans la reconstruction a été peu étudié en comparaison aux effets de LTM sur la WM dans leur globalité. Ritchie et al. (2015) proposent notamment une tâche d'empan complexe variant le nombre d'items présentés et leurs intervalles de rétention (manipulation du coût cognitif). La tâche se faisait sous suppression articulatoire, assurant ainsi l'utilisation du rafraichissement attentionnel comme mécanisme de maintien (voir Chapitre 1, partie 2.4). Dans une première expérience, les items à mémoriser permettaient de manipuler un effet LTM de lexicalité et, dans une seconde expérience, un effet de similarité sémantique. Les auteurs ont constaté qu'un coût cognitif en WM trop élevé menait à une dégradation trop importante des traces pour assurer leur reconstruction. Les traces maintenues en concurrence avec un fort coût cognitif, mais gérable, perdaient en qualité et la probabilité de devoir engager un processus de reconstruction pour les récupérer augmentait en conséquence. En revanche, les effets LTM de lexicalité et de similarité sémantique diminuaient quand le coût cognitif augmentait. Cette interaction entre effets de LTM et coût cognitif suppose

une médiation des apports des connaissances à long-terme en fonction de la disponibilité du rafraichissement. Ces résultats répliquent ceux d'une étude similaire de Neale and Tehan (2007) où la présence de reconstructions augmentait à mesure que le coût cognitif augmentait également.

En résumé, cette hypothèse suppose que le rafraichissement tient un rôle de processus de reconstruction. Les connaissances à long-terme facilitent la précision du rappel à la fois en renforçant les représentation (processus d'élaboration) et en offrant des indices complétant la reconstruction qui est faite autour des souvenirs résiduels de la trace mémorielle (Poirier et al., 2011; Thorn et al., 2005). Plus une trace est liée à des représentations à long-terme, plus sa reconstruction est facilitée. Des critiques à cette hypothèse reposent principalement sur le fait qu'une trace dépourvue de représentations à long-terme (e.g., un non-mot ou un mot rare) pourrait simplement être plus difficile à encoder (DeLosh & McDaniel, 1996; Hulme et al., 2003). En somme, les conclusions récentes conçoivent la contribution des effets LTM sur la WM comme double, influençant tant la reconstruction que l'encodage avec élaboration des traces (voir Ishiguro & Saito, 2020 pour une revue)

A noter tout de même que le contexte théorique global de la reconstruction rend l'exercice de prédiction complexe en raison du fait qu'il est devenu pratiquement infalsifiable⁵. Le niveau de dégradation des items peut toujours justifier une absence de

⁵ La problématique de l'impossibilité de falsification dans la validation de résultats n'est pas plus décrit ici, mais en cas d'intérêt sur le sujet, voyez notamment la méta-analyse de Turella, L., Pierno, A. C., Tubaldi, F., & Castiello, U. (2009). Mirror neurons in humans: Consisting or confounding evidence? *Brain & Language*, 108(1), 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.11.002> pour un exemple concret en neuroscience.

reconstruction ou des bénéfices d'effets à long-terme (les traces étaient trop dégradées) ou leur présence (les traces résiduelles étaient suffisantes).

Les processus liés à la reconstruction peuvent être observés au moyen de plusieurs modèles. Les premiers étaient le modèle Brain-State-In-A-Box (Anderson et al., 1977) et la théorie de la mémoire associée distribuée (Lewandowsky & Murdock, 1989). Dans l'étude des processus de reconstruction impliqués en WM présentée au Chapitre 6 de ce travail, nous avons cependant préféré l'utilisation du modèle *MPT* issu de la *Trichotomous Theory of Recall* (Brainerd et al., 2009), qui était jusque-là appliqué conjointement aux paradigmes de rappels à long-terme (voir Chapitre 2, partie 2.4.1). En effet, ce modèle nous a permis l'implémentation de nos variables manipulant des effets de LTM et de disponibilité attentionnelle dans une tâche de WM, ainsi qu'une manipulation intéressante du contexte de présentation des items à rappeler.

2.4. Le rafraichissement permet-il la réactivation des traces en WM ?

Certaines études récentes (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018) ne répliquent aucune interaction significative entre effets de connaissances à long-terme et disponibilité attentionnelle en WM. Cette absence d'effet d'interaction suggère que la contribution de la LTM aux performances en WM n'est pas modérée par la disponibilité attentionnelle, l'effet des connaissances à long-terme persistant malgré les modulations des conditions attentionnelles testées. De fait, le rafraichissement attentionnel ne semble pas lié à la LTM, bien que celle-ci apporte son soutien dans des tâches de WM. Cette conclusion défend l'idée selon laquelle le rafraichissement agirait davantage comme un processus de réactivation du contenu de la WM (Cowan, 1992; Sternberg, 1966; Sternberg et al., 1978; Vergauwe & Cowan, 2014, 2015).

Dans ce cadre-là, on peut s'attendre à ce que les effets de LTM facilitent également l'encodage des items dans le focus attentionnel. La demande attentionnelle générée par des traitements concurrents consomme les mêmes ressources attentionnelles que celles dévolues au maintien de traces en WM (Vergauwe et al., 2009, 2010a). De fait, toute demande attentionnelle simultanée détournerait l'attention des éléments en mémoire, conduisant à leur oubli. L'attention est donc utilisée dans le but de prévenir le déclin des traces en WM, ce qui est rendu particulièrement visible par le fait que plus l'attention est détournée de ces traces vers d'autres traitements, plus les traces déclinent, entraînant alors une diminution des performances (voir Barrouillet et al., 2011). En conséquence, les effets de LTM exerceraient une influence sur les performances de rappel en affectant l'encodage des éléments de mémoire dans le composant central de WM, mais ne changent pas en fonction de la disponibilité de l'attention. De plus, la disponibilité attentionnelle modérerait le niveau d'accessibilité des items en WM, ce qui se refléterait sur les durées de rappel avec des temps plus courts pour les items liés à un haut niveau d'accessibilité.

Vergauwe et Cowan (2015) observent un lien étroit entre rafraîchissement attentionnel et réactivation des traces en WM. La tâche présentée consistait en séries incrémentées de quatre à six lettres écrites à l'encre rouge (cibles), chacune suivies de quatre lettres écrites à l'encre noire (distracteurs) et présentées selon un paradigme d'empan complexe avant une tâche de rappel immédiat (voir Figure 12). Les participants étaient répartis selon quatre conditions d'instructions à suivre dans la tâche secondaire à effectuer lors de la présentation des distracteurs durant la phase de traitement. Une première consigne (a) était d'ignorer les distracteurs (lettres noires). La deuxième consigne (b) demandait d'indiquer la localisation spatiale des distracteurs à l'écran, ce qui impliquait un traitement, mais aucune récupération de représentations en WM ou LTM.

La troisième instruction (c) demandait aux participants d'indiquer la position de la lettre noire présentée dans l'ordre alphabétique par rapport à la lettre « O » (avant ou après). Cette tâche implique une capture attentionnelle du fait de la récupération de l'alphabet en LTM. Enfin, la dernière consigne (d) demandait d'indiquer si la lettre noire présentée faisait partie ou non de la liste de lettres rouges (cibles) à mémoriser au cours de l'essai. Cette tâche impliquait donc elle aussi une capture attentionnelle, mais cette fois par la récupération des traces en WM.

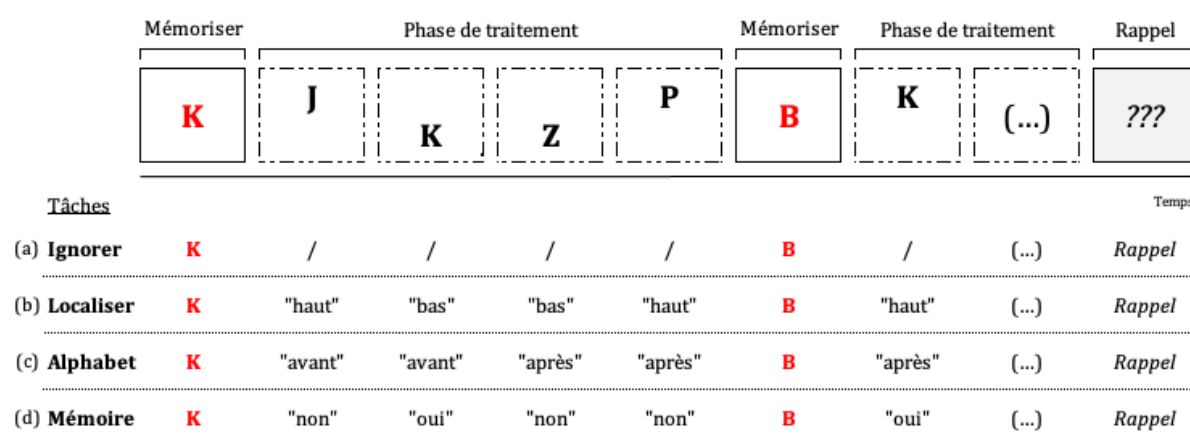


Figure 12. Illustration de la tâche utilisée par Vergauwe et Cowan (2015). Les participants mémorisaient des séries de quatre à six lettres présentées en encre rouge et répondaient à une tâche secondaire sur les mots présentés en noir (i.e., phase de traitement). Cette tâche variait selon les instructions a, b, c et d. La figure illustre pour chaque instruction les décisions attendues selon les items présentés. A la fin de chaque essai, les participants devaient rappeler par écrit les lettres rouges qu'ils avaient mémorisées. Adaptée de Vergauwe et Cowan (2015).

Les auteurs ont constaté un effet global de la capture attentionnelle. Les performances de rappel à la suite de la consigne d'ignorer les distracteurs étaient effectivement meilleures que celles obtenues à la suite des trois autres consignes. Les performances de rappel entre les tâches de localisation et de mémoire sont identiques,

mais les deux supérieures à celles obtenues à l'issue de la tâche alphabétique. Si le rafraichissement attentionnel et la réactivation des traces en mémoire dépendaient tous les deux de la récupération en WM, cette différence de rappel entre les tâches de localisation et alphabétique ne devraient pas être observées. Mais il est constaté que la capture attentionnelle induite par la récupération en WM est nettement moins délétère aux performances de rappel que celle impliquée par la récupération des traces en LTM. Les représentations contenues en WM ne sont donc pas réactivées ou rafraichies en même temps que celles disponibles en LTM.

Cette observation se faisait également dans l'analyse de la durée de capture attentionnelle impliquée par chacune des tâches (voir Barrouillet et al., 2007; ou chapitre 1, partie 2.2). Quand les récupérations sont de différentes natures, c'est la somme de ces processus qui est divisée par le temps total alloué à la tâche. Les coûts cognitifs des tâches alphabétiques et de mémoire dans l'expérience de Vergauwe et Cowan (2015) étaient plus élevés en comparaison à la tâche de localisation pour laquelle il était significativement plus faible. Enfin, le coût cognitif pour la tâche n'impliquant aucune réaction était inexistant. Cependant, contrairement aux autres, la tâche de mémoire aboutissait à des performances de rappel plus élevées que ce qui aurait été prédit par le coût cognitif qu'elle implique. Si l'action de réactivation des traces en WM ne provoquait aucun rafraichissement des traces, les performances de rappel devraient être prédites à coup sûr par le coût cognitif de la tâche associée.

Dans l'expérience de Vergauwe et Cowan (2015) cependant, les performances de rappel de la tâche de mémoire étaient bien meilleures que ce qui aurait été prédit selon son coût cognitif, ce qui représente une évidence claire de lien entre rafraichissement

attentionnel et récupération en WM. Cette conclusion est également en accord avec les études ne démontrant aucun lien entre représentations à long-terme et rafraichissement attentionnel (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018; Oberauer, 2009b, voir également chapitres 5 et 6).

L'hypothèse de réactivation est soutenue par plusieurs études rapportant une absence d'interaction entre les manipulations du rafraichissement et des effets de LTM, ce qui soutient une absence de modération mutuelle. Ainsi, on pourrait suggérer que la présence de connaissances à long-terme faciliterait l'encodage des traces en WM, et le rafraichissement empêcherait leur déclin. Cependant, il a été constaté que la réactivation des traces entraine une forme de rafraichissement, laquelle reste encore à préciser.

Le Tableau 1 récapitule les points clés de chaque hypothèse.

	Définition du rafraichissement	Si aucun CL en WM	Si fort CL en WM	Effet LTM sur la WM	Interaction CL-LTM
Elaboration	Elaboration des traces	Diminution de l'effet LTM	Augmentation de l'effet LTM	Enrichissement des traces associées	Oui
	Voir : Rose et al., 2014, 2015; Unsworth & Engle, 2007a				
Récupération	Récupération consciente des représentations en LTM vers la WM	Pas d'effet notable sur les performances	Augmentation des performances en WM pour les éléments récupérés	Permettent des associations item-contexte et la récupération en blocs (chuncking)	Oui
	Voir : McCabe, 2008; Loaiza, Duperrault, et al., 2015				
Reconstruction	Permet le processus de reconstruction / redintégration	Pas d'effet notable sur les performances	Diminution des effets LTM Augmentation du besoin de reconstruction	Indices facilitant la reconstruction des traces résiduelles	Oui
	Voir : Schweickert, 1993; Hulme et al., 1997; Neale & Tehan, 2007; Abadie & Camos, 2018				
Réactivation	Empêche le déclin des traces	Augmentation des performances	Diminution des performances en WM	Facilite l'encodage en WM	Non
	Voir : Cowan, 1992; Vergauwe & Cowan, 2015, Camos et al., 2019				

Tableau 1. Récapitulatif des hypothèses présentées : Définitions brèves du rafraichissement, des observations faites en cas d'absence et de fort coût cognitif (CL) en WM, des effets de la LTM sur la WM et prédiction d'un effet d'interaction entre le CL et l'effet de LTM en rappel immédiat.

Résumé du Chapitre 3

Les effets de LTM tels que ceux de lexicalité, de fréquence et de similarité sémantique sont reconnus comme facilitant les performances de rappel en WM. Ces effets découlent de représentations à long-terme plus solides ou plus nombreuses permettant d'appuyer l'encodage, la réactivation, le maintien ou la reconstruction des items à mémoriser. La présence de ces effets de LTM semble également faciliter le rafraichissement de ces items, ce qui ralentit leur déclin. De plus, ces effets résistent aux variations de coûts cognitifs et de suppression articulatoire. Les études présentées dans cette thèse manipulent toutes l'effet d'association sémantique décrit dans le chapitre et varient les opportunités de rafraichissement. Les effets de ces variables sont examinés sur les performances et les processus qui sous-tendent la WM.

Le champ d'étude concernant la nature du rafraichissement attentionnel et son implication dans l'impact des connaissances à long-terme en WM est vaste et comprend actuellement quatre hypothèses majeures. Premièrement, le rafraichissement pourrait permettre l'enrichissement des traces en WM au moyen des connaissances à long-terme (Rose et al., 2014). Ensuite, le rafraichissement pourrait être décrit comme la récupération de représentations de la LTM vers la WM (Loaiza, Duperreault, et al., 2015). Une troisième hypothèse décrit le rafraichissement comme un processus de reconstruction des traces en WM, lequel serait facilité par les effets de LTM (Hulme et al., 1997). Enfin, le rafraichissement pourrait consister en la réactivation des traces maintenues en WM au sein du focus attentionnel (Vergauwe & Cowan, 2015).

Chaque hypothèse prédit une forme d'interaction différente entre la disponibilité du rafraichissement et les effets de LTM (voir récapitulatif en Tableau 1). Contrairement aux autres, l'hypothèse de réactivation des traces ne suppose aucune interaction directe entre rafraichissement et effets de LTM. Un rafraichissement optimal permet un bon maintien des traces et les connaissances à long-terme facilitent leur encodage et permettent de les réactiver plus facilement en raison de leur forte activation de base.

Chapitre 4. Vue d'ensemble des études

Bien qu'il reste encore beaucoup à faire pour mieux comprendre les relations entre WM et LTM, plusieurs observations ont montré que chaque système de mémoire exerce une influence sur l'autre en améliorant ou en diminuant sa fonctionnalité. Il est supposé que le rafraichissement attentionnel agît grâce à une attention exécutive pour réactiver les traces mnésiques avant leur déclin, mais son fonctionnement et son implication potentielle dans l'apport de la LTM en WM reste sujet à interrogations. Les effets de LTM en général sont bien connus pour avoir un impact significatif sur le rappel immédiat. Comme démontré récemment par Kowialiewski et Majerus (2018), ces effets de LTM ne dépendent pas d'un contrôle stratégique et ne peuvent donc pas être expliqués par certains processus d'élaboration ou de réactivation. Leurs effets peuvent cependant refléter certaines propriétés du fonctionnement de la WM et faire évoluer les différentes conceptions quant aux liens entre les deux systèmes de mémoire. Chaque hypothèse développée précédemment présente donc des limitations mais apporte également des éléments de réponse importants. Certaines d'entre elles ne s'excluent d'ailleurs pas mutuellement. La comparaison de telles hypothèses ainsi que celle des prédictions émanant de plusieurs modèles théoriques permettent d'étayer plusieurs hypothèses théoriques.

Dans ce travail de thèse, nous proposons d'explorer plusieurs de ces hypothèses dans le but de clarifier les conditions d'utilisation des connaissances à long-terme pour maintenir l'information en WM et le rôle du rafraichissement attentionnel dans cette implication. L'impact des deux variables a été testé sur les performances de rappel de participants, ainsi que sur d'autres mesures telles que les temps de rappel, les erreurs

commises et les processus impliqués dans le rappel. La première de ces variables était apportée par le matériel verbal à mémoriser. Certaines listes présentaient des mots en forte ou faible association sémantique (e.g., *lapin*, *oreille* et *carotte* vs *cochon*, *bras* et *courgette*). L'idée selon laquelle le rafraichissement influencerait la manière dont les effets de LTM affectent le fonctionnement de la WM est partagée par plusieurs modèles théoriques majeurs. La manipulation de ce mécanisme en WM constituait ainsi notre seconde variable. Le coût attentionnel des tâches secondaires a donc été systématiquement manipulé en deux niveaux (faible vs., fort), en parallèle à la présence ou l'absence d'association sémantique entre les mots à mémoriser. Chacune de ces expériences a été effectuée par les participants sous suppression articulatoire afin d'endiguer le mécanisme de répétition articulatoire et donc forcer l'utilisation du rafraichissement attentionnel. Nos variables étaient intégrées à des paradigmes d'empans complexes suivis de tâches de rappel immédiat, à l'exception de l'étude présentée en Chapitre 6 qui ajoutait un rappel différé et de l'étude présentée en Chapitre 7 qui présentait une tâche de reconnaissance plutôt que de rappel afin de permettre l'application du modèle *SCR*. Les modèles multinomiaux présentés en partie 2.4 du Chapitre 2 nous ont permis d'observer les processus de rappel impliqués dans notre étude présentée en Chapitre 6 et la présence de représentations verbatim et gist en Chapitre 7 (voir Tableau 2 en fin de chapitre pour un récapitulatif des trois études).

4.1. Modération des effets à long-terme par la disponibilité attentionnelle

Notre première étude portait sur une question : Le rafraichissement attentionnel modère-il l'implication de la LTM dans une tâche de WM ? En WM, maintien et traitement dépendent tous deux de la même ressource limitée qu'est l'attention (Barrouillet,

Bernardin, et al., 2004). Pour être capable de maintenir les informations tout en traitant d'autres tâches, une alternance attentionnelle entre les deux processus est nécessaire.

On sait du rafraichissement attentionnel qu'il est indépendant du mécanisme de répétition articulatoire, insensible à la suppression articulatoire et capable de maintenir toutes les modalités de représentations. Ce mécanisme nécessite beaucoup de ressources attentionnelles pour maintenir les traces en mémoire (Camos & Barrouillet, 2014). En effet, lorsque le rafraichissement attentionnel est dévié vers une tâche secondaire, le temps qu'implique son traitement est déterminant. Plus ce temps est long, plus la trace mémorielle se détériore. Si tous ces aspects sont bien connus, ce qui arrive précisément lors d'un rafraichissement et la manière dont ce mécanisme agit exactement reste sujet à questionnements. La manière dont les représentations de LTM peuvent intervenir dans les performances de WM reste également floue. Une hypothèse serait que la LTM puisse être impliquée au moment du processus de rafraichissement.

Notre première étude visait donc à comparer les prédictions de plusieurs modèles théoriques quant à un potentiel effet d'interaction entre disponibilité du rafraichissement attentionnel et effets de LTM. Dans un paradigme d'empan complexe, nos participants devaient mémoriser des mots reliés sémantiquement ou non tout en traitant une tâche secondaire à faible ou fort coût cognitif. Si la disponibilité attentionnelle et les connaissances à long-terme montraient chacune un effet bénéfique sur les performances de rappel, nous n'avons observé aucune interaction entre les deux variables, répliquant ainsi de précédentes observations (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018). Ce résultat s'accorde également aux prédictions du modèle à processus emboîtés définissant l'action du rafraichissement attentionnel comme la réactivation des

traces maintenues en WM (Vergauwe & Cowan, 2015, voir chapitre 3, partie 2.4). L'étude se complétait d'une analyse des temps de rappel, des types d'erreurs et d'une perspective développementale en comparant l'effet de ses variables sur des participants adultes et enfants. Une seconde expérience a répliqué les résultats de la première en imposant un nombre fixe d'items à rappeler et un coût cognitif des tâches secondaires plus élevé.

La LTM soutient donc certainement les performances en WM, mais de toute évidence pas au moyen d'un mécanisme de maintien en WM. La LTM favorise donc les performances en WM au moyen d'un autre système ou mécanisme que celui du rafraichissement attentionnel, peut-être par un processus de reconstruction ou au travers de l'encodage des traces. Nous avons cependant observé des temps de rappel significativement plus courts pour les mots reliés sémantiquement que pour les mots non-reliés. Aussi il nous a semblé intéressant d'explorer la piste de la reconstruction en observant les processus impliqués dans le rappel dans une deuxième étude.

4.2. Les processus d'accès direct et de reconstruction en mémoire de travail

Notre deuxième étude présentée dans le Chapitre 6 poursuivait notre questionnement en investiguant la nature des processus impliqués dans la récupération en WM en fonction de la disponibilité attentionnelle et des effets à long-terme impliqués dans la tâche. Ces deux variables ont été progressivement introduites dans une tâche d'empan complexe dans deux premières expériences. Les performances de rappel immédiat ont répliqué les observations faites lors de la première étude présentée en partie 4.1 et l'absence d'interaction entre effet de LTM et disponibilité attentionnelle. Les participants réalisaient trois essais successifs d'étude et de rappel des mêmes listes d'items verbaux, ce qui a permis l'utilisation du modèle *MPT* issu de la *Trichotomous*

Theory of Recall (Brainerd et al., 2009). Ce modèle a permis d'observer une prédominance du processus d'accès direct (recollection) aux traces en WM. Le processus de reconstruction restait peu employé en WM. L'accès direct était cependant plus faible lorsque la charge attentionnelle était plus grande. L'implication de connaissances à long-terme n'a bénéficié qu'à l'accès direct et n'a eu aucun impact sur la reconstruction. Les deux expériences suivantes variaient ensuite les modalités de présentation des mots et des essais afin d'éprouver différentes modalités d'apprentissage et de consolidation des traces.

Ces résultats démontrent que les effets de LTM et de rafraichissement attentionnel affectent tous deux l'accès direct aux items à rappeler. Cependant, ces deux effets ne découlent pas nécessairement des mêmes sources. Tel que vu précédemment, le rafraichissement attentionnel contribue au maintien de l'information, mais les connaissances à long-terme n'influent ni son fonctionnement, ni son efficacité. Il est possible que les connaissances à long-terme contribuent à l'encodage des traces en WM en favorisant un regroupement d'items autour d'un concept. Cette dernière hypothèse est traitée dans la dernière étude présentée au Chapitre 7.

4.3. Influence des interférences phonologiques et sémantiques sur les traces verbatim et gist en mémoire de travail

Au vu des résultats obtenus dans l'étude précédente, nous nous sommes intéressées à l'effet de l'association sémantique sur l'encodage. Pour ce faire, nous avons choisi d'examiner les effets de modulations de la nature des représentations impliquées dans une tâche de reconnaissance en fonction des effets d'interférences induits au moment de l'encodage des items. Du matériel plus ou moins interférant, d'ordre sémantique ou phonologique, a été utilisé afin d'impacter la nature représentationnelle

des items à mémoriser (voir également Oberauer, 2009 pour une procédure très similaire). Les interférences d'ordre sémantique (e.g., devoir traiter des distracteurs tels que *satin*, *velours* et *laine* lorsqu'il faut mémoriser *coton*) créent des confusions au sein des représentations *gist* en brouillant le signal de la trace. Les distracteurs similaires deviennent familiers du fait de leur *gist* commun à eux tous, mais aussi à l'item cible à mémoriser. A l'inverse, des distracteurs tels que *nappe*, *vache* et *bal* lorsqu'il faut mémoriser *gare* ne partagent que des similarités de surface (ici, leur phonème central), mais aucune similarité de sens. Ces interférences de type phonologique n'ont donc pas d'impact sur le *gist*, mais la proximité de surface entre les items crée des confusions entre les représentations verbatim générées. Cette interférence phonologique se reflète sur les performances de rappel (effet de similarité phonologique, *PSE*, tel que déjà évoqué au Chapitre 1, partie 1.1). Deux hypothèses théoriques expliquent cet effet *PSE* (Camos et al., 2011). Premièrement, les items partageant une grande similarité phonologique pourraient être simplement moins bien encodés. Ensuite, il est possible que cette similarité perturbe la discrimination des items candidats au rappel au moment de leur récupération (voir également Gathercole & Baddeley, 1993; Roodenrys et al., 2022; Salamé & Baddeley, 1982).

L'application du modèle *SCR* dans cette étude nous a permis d'observer les effets de nos variables sur les paramètres de représentations verbatim et *gist* impliqués dans la reconnaissance d'items (voir Chapitre 2, partie 2.2). Nous avons manipulé les conditions d'interférences en variant la présence d'interférences sémantiques ou phonologiques dans la tâche (i.e., présenter la cible *orage* en l'associant aux mots *brouillard*, *goutte*, *nuage* et *averse* dans la condition sémantique, et présenter la cible *zone* associée à *taupe*, *paume*, *faute* et *dose*). Dans les études précédentes, une attention particulière avait été portée sur

le fait qu'aucune interférence ne soit présente au sein de notre matériel afin de ne pas biaiser les effets observés. Dans cette étude, nous cherchions à induire, mais contrôler ces interférences, car la similarité phonologique affecte les représentations verbatim tandis que la similarité sémantique affecte les gist. Nous avons également cherché à observer les fluctuations de ces effets d'interférences sur chaque type de représentations en fonction de la disponibilité attentionnelle. Le rythme de présentation de mots distracteurs induisant des effets d'interférences a donc été varié dans ce but. A la fin de chaque essai, six items étaient présentés dans une tâche de reconnaissance. Les participants devaient indiquer pour chaque cible s'il s'agit d'une cible présentée durant l'essai (dans la suite de l'exemple précédent, *orage* ou *zone*), d'un distracteur relié sémantiquement ou phonologiquement selon la condition en cours de réalisation (e.g., *pluie* ou *sauce*) ou d'un distracteur non-relié (e.g., *sifflet* ou *juge*).

Les résultats ont montré des performances de reconnaissance à court terme très élevées, bien que diminuées en présence d'interférences phonologiques en comparaison aux sémantiques. Les mots distracteurs étaient rarement confondus avec les mots cibles, mais en cas d'interférences phonologiques, des distracteurs reliés à une cible étaient majoritairement catégorisés comme des mots nouveaux (i.e., les participants ne reconnaissaient pas un mot distracteur ayant le même phonème central qu'une cible en tant que distracteur relié), démontrant un affaiblissement des représentations verbatim pour ces items. A l'inverse, la présence d'interférences sémantiques augmentait la bonne reconnaissance de ces items distracteurs sémantiques, indiquant ainsi l'établissement renforcé des représentations gist. Dans les deux conditions d'interférence, la présence de similarité entre cibles et distracteurs reliés augmentait les paramètres associés au gist, mais n'impactait pas ceux liés au verbatim. Une disponibilité attentionnelle plus faible

n'affectait pas les performances de reconnaissance, mais diminuait la formation de traces gist dans le cas de d'interférence phonologique.

4.4. Plan d'analyse statistique et logiciels utilisés

Bien que présentées de manières différentes, chaque expérience comprenait au minimum un facteur manipulant un effet de LTM (i.e., par associations sémantiques) et un facteur impliquant des mécanismes de WM (i.e., par variation de coût cognitif). Selon les études, ces deux facteurs principaux ont été croisés avec des effets d'âge et des paramètres obtenus de l'application des modèles *SCR* et *Trichotomous*.

Les analyses ont été réalisées au moyen d'ANOVA à mesures répétées Bayésiennes (Rouder et al., 2012). Ces analyses statistiques ont été faites sur le logiciel JASP (Love et al., 2019). Les modèles *SCR* et *Trichotomous* ont été appliqués grâce au logiciel *MultiTree* (Moshagen, 2010). Les expériences elles-mêmes ont été présentées au moyen des logiciels E-Prime 2.0 et 3.0 (Psychology Software Tools Inc. [E-Prime 2.0], 2012) dans des salles d'expérimentation de l'Université de Fribourg et équipées du matériel nécessaire, garantissant ainsi de bonnes conditions d'études. Dans les cas où des enfants participaient à l'études, ceux-ci participaient aux mêmes tâches et aux mêmes entraînements que les participants adultes et le matériel nécessaire a été apporté directement dans les écoles contribuant aux expériences et réalisées dans des salles adaptées.

Ce projet de recherche a été validé par le comité d'examen institutionnel de l'éthique de la recherche de l'Université de Fribourg (voir Annexe C). Un consentement signé des participants ou celui d'un parent ou tuteur légal pour les participants mineurs était demandé en début de passation (voir Annexe D). Les trois études regroupent un total de 407 participants, dont 68 enfants âgés de 8 à 12 ans.

	Exp.	Participants	Part.	Nb. mots	Vis WM	Vis LTM	Type de rappel	VDs	
Chapitre 5	Exp 1	33 adultes	a	2 à 6 par essai	Coût cognitif (couleur vs. pair-impair)	Similarité sémantique	Immédiat + Avec enregistrement des temps de rappel	Performances + RT / ACC + Types d'erreurs + Temps de rappel	
		36 enfants	b						
	Exp 2	33 adultes	a	4 par essai	Vitesse de présentation	Similarité sémantique			
		32 enfants	b						
	Suppression articulatoire : Répétition des syllabes "babibou"								
Chapitre 6	Exp 1	25 adultes	a	6 par essai	Vitesse de présentation	/	Rappel immédiat	Performances + Positions sérielles + Trichotomous	
	Exp 2	60 adultes	a	6 par essai	Vitesse de présentation	Similarité sémantique	Rappel immédiat		
			b	72 au total			Rappel différé		
	Exp 3	60 adultes	a	6 par essai	Vitesse de présentation	Similarité sémantique	Rappel immédiat		
			b	72 au total			Rappel différé		
	Exp 4	32 adultes	a	6 par essai	Vitesse de présentation	Similarité sémantique	Rappel immédiat		
			b	72 au total			Rappel différé		
	Suppression articulatoire : Lecture des mots et des chiffres à haute voix								
	Chapitre 7	Exp 1	96 adultes	a	4 par essai	Vitesse de présentation	Similarité sémantique	Reconnaissance	Performances + Modèle CR
				b		Vitesse de présentation	Similarité phonologique	Reconnaissance	
Suppression articulatoire : Lecture des mots et des distracteurs à haute voix									

Tableau 2. Récapitulatif des études présentées, avec leurs nombres d'expériences, leurs participants, matériels, variables indépendantes et dépendantes, types de rappel ainsi que modalités de suppression articulaire impliqués. L'impact de ces facteurs est observé sur les performances de rappel et de reconnaissances et d'autres VDs complémentaires.



PARTIE EXPÉRIMENTALE



Chapitre 5. Role of attention in the associative relatedness effect in verbal working memory: Behavioral and chronometric perspectives

Titre en français : Rôle de l'attention dans l'effet d'association sémantique en mémoire de travail : Perspectives comportementales et chronométriques.

Ce chapitre a été publié précédemment selon la référence « Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2022). Role of Attention in the Associative Relatedness Effect in Verbal Working Memory: Behavioral and chronometric perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*. Online preview. <https://doi.org/10.1037/xlm0001102> ». La mise en page a été adaptée à celle de ce travail de thèse.

Cette étude a été soutenue par le Fond National Suisse de la Recherche (grant n° 100019_175960) accordé à la Prof. Valérie Camos et a reçu l'approbation du comité d'examen institutionnel de l'éthique de la recherche de l'Université de Fribourg. Les listes de mots et de données sont disponibles sur <https://osf.io/sqz52/>.

Résumé

La mémoire à long-terme (LTM) sémantique est connue pour affecter le rappel durant des tâches de mémoire de travail (WM). Cependant, la manière dont la LTM intervient en WM reste inconnue. De plus, les résultats disponibles sont inconstants concernant la façon dont l'attention module l'influence de la LTM sur la WM. Afin d'examiner cette question, l'implication de représentations à long-terme dans une tâche d'empan complexe a été manipulée au travers la variation de l'association sémantique entre items à mémoriser, pendant que la demande attentionnelle de la tâche concurrente était variée. Enfants et jeunes adultes ont également été comparés, car les enfants sont moins efficaces que les adultes dans leur utilisation du rafraichissement pour le maintien. Malgré l'impact de ces trois facteurs principaux sur les performances de rappel, lesquelles étaient meilleures pour les mots reliés que pour les mots non-reliés, au terme d'une tâche concurrente à faible demande plutôt que forte ; et chez les adultes en comparaison aux enfants, il n'y avait aucune interaction entre association sémantique et demande attentionnelle, ni chez les enfants, ni chez les adultes. Nous avons répliqué ces résultats dans une seconde expérience avec une plus forte demande attentionnelle de la tâche concurrente. De plus, les analyses des temps de rappel ont montré que les adultes étaient plus rapides que les enfants dans le rappel des mots, et que les deux groupes d'âges étaient plus rapides pour les mots reliés (vs., non-reliés). Finalement, les erreurs observées étaient majoritairement des omissions et des transpositions, mais plus prédominantes en cas de forte demande attentionnelle concurrente. Ces résultats suggèrent que la disponibilité attentionnelle ne module pas l'effet de la LTM sur la WM. La manière dont les modèles existant de WM peuvent rendre compte de ces résultats et de la manière dont la LTM peut agir sur le fonctionnement de la WM sont discutés.

Abstract

Long-term semantic memory (LTM) is known for affecting recall during working memory (WM) tasks. However, the way LTM intervenes in WM remains unknown. Moreover, the available findings are incongruent concerning how attention modulates the impact of LTM on WM. To examine this issue, the involvement of LTM representations in a complex span task was manipulated through variations of the associative relatedness of memory items, while the attentional demand of the concurrent task was varied. Children and young adults were also compared, because children are less efficient in using refreshing for maintenance than adults. Despite the impact of the three main factors on recall performance, which was better for related than unrelated words, with the low rather than the high demanding concurrent task and for adults than children, there was no interaction between associative relatedness and attentional demand, neither in children nor in adults. We replicated these results in a second experiment with a more attention-demanding concurrent task. Moreover, analyses of recall latency showed that adults were faster than children at recalling words and both age groups were faster for related (vs. unrelated) words, but there was no effect of the concurrent attentional demand on recall latency and no interaction. Finally, errors were mostly omissions and transpositions, both more prevalent under high concurrent attentional demand. The present findings suggest that the availability of attention does not modulate the effect of LTM on WM. We discuss how WM models can account for this finding and how LTM can act on WM functioning.

1. Introduction

The contribution of semantic long-term memory (LTM) is well known for improving recall performance in working memory (WM) tasks (Hulme et al., 1991; Schweickert, 1993). However, the way in which LTM intervenes in a WM task remains a topic of debate (see Thorn & Page, 2009, for a review). The present study aimed at examining the role of attention as a potential moderator of the effect of semantic LTM on WM functioning. For this purpose, we manipulated both the availability of attention during WM maintenance and the associative relatedness of the memoranda. Associative relatedness, which depends on semantic LTM, is known for impacting the ease of retrieving information from LTM (Collins & Loftus, 1975; Nelson & Zhang, 2000), whereas attention is depicted in many models as having a central role in WM maintenance (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2015; Cowan, 2001; Engle, 2002; Unsworth & Engle, 2007a). However, there are inconsistent findings in the current literature that support different theoretical conceptions of how attention moderates LTM impact on WM. Hence, the present study aimed at examining this question.

1.1. The role of attention in mediating semantic LTM impact on WM

Several studies have shown that factors known for improving retrieval from LTM, such as lexicality, familiarity, frequency and relatedness, also impact recall performance in WM tasks (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a). The past five years showed the emergence of studies dedicated to the role of attention in mediating the LTM impact on WM. Many, if not all, of them were triggered by the interest in the functioning of attentional refreshing. Attentional refreshing is conceived as one of the main mechanisms to maintain verbal information in WM (Camos, 2015, 2017). Among the WM maintenance mechanisms, the

most studied one is verbal rehearsal that maintains verbal information through phonological traces by using of language processes. Beside this domain-specific maintenance mechanism, attentional refreshing is thought to use (so-called executive) attention to reactivate any types of memory traces. This domain-general mechanism increases the activation of recently presented, encoded, or retrieved information to keep it in an accessible state from moment-to-moment, thereby preventing it to fade out from immediate awareness (Camos et al., 2018). Directing attention to memory representations boosts, prolongs, and strengthens their activation, leading to better recall performance for the refreshed relative to non-refreshed representations. Although there is some consensus on the definition of attentional refreshing, its functioning remains unclear (Camos et al., 2018), and to explore its links with LTM, several studies examined how LTM effects were modulated by variations on its availability.

Rose et al. (2014) reported that the level-of-processing effect, one of the best-known LTM effect (i.e., better retrieval of deeply processed rather than shallowly processed words) affects recall in a WM task if attention is distracted by a concurrent task, but not when items can be maintained in primary (short-term) memory (see also, Rose et al., 2015). Other studies contrasted LTM effect in simple vs. complex span tasks, the difference between the two tasks being indicative of the involvement of refreshing. Indeed, authors like McCabe (2008) or Loaiza and McCabe (2012) have put forward that the difference between the simple and the complex span tasks relies on the fact that complex span tasks provide refreshing opportunities, but not simple span tasks. According to these authors, refreshing is thought to use pauses between processing episodes in complex span tasks to retrieve into the focus of attention information that was displaced in secondary (long-term) memory during the processing episodes. There are no

refreshing opportunities in a simple span task since there is no concurrent task and information is immediately recalled. Within this framework, Loaiza, Duperreault, et al. (2015) tested the lexicality effect in a simple and an operation span task. While words were better recalled than non-words in both span tasks, the lexicality effect was reduced in the operation span task compared to the simple span task. Similarly, Abadie and Camos (2018) reported a smaller word frequency effect in a complex than in a simple span task. The same interaction between word frequency and task has been previously reported by Engle et al. (1990), when comparing the frequency effect in a simple vs. an operation span task. Overall, these studies reported a reduction of the impact of LTM effects on WM performance in complex span task, a task in which there are more refreshing opportunities than in simple span task according to McCabe (2008).

As suggested by Rose et al. (2014), such an interaction can find an explanation within the primary-secondary memory framework (James, 1890; Unsworth & Engle, 2007a, 2007b), in which items are primarily maintained in primary memory. When the current task exceeds the capacity of the primary memory (e.g., when the items to be maintained are too numerous or when refreshing opportunities are reduced like in simple span tasks or through distraction of attention), memory items are displaced from primary memory into secondary memory, and they must be retrieved from LTM for further recall through a cue-dependent search. Consequently, effects known for impacting LTM should be particularly evident when recall relies on retrieval from LTM, i.e., when refreshing is prevented (Rose et al., 2014). This could explain the findings reported by Engle et al. (1990), Rose et al. (2014), Loaiza, Duperreault, et al. (2015) and Abadie and Camos (2018). However, besides these studies that reported an interaction between a LTM effect and the availability of attention for maintenance, others failed to observe any interaction

(Camos et al., 2019; Campoy, et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018). Examining the concreteness effect (i.e., more imageable words are better recalled than less imageable words) in immediate recall tasks, Campoy, et al. (2015) varied the availability of attentional resources by asking participants to concurrently perform either a simple tapping or a highly demanding random tapping task. As expected, the increase in attentional demand reduced recall performance, but the concreteness effect was not moderated by the concurrent tasks. Similarly, Camos et al. (2019) showed that the frequency and lexicality effect were not modulated by the attentional demand of the concurrent task in complex span tasks, although both LTM effects affected recall performance. These authors also showed that frequency and lexicality effects did not moderate refreshing speed, which supports some independence of refreshing functioning from LTM. Using different types of manipulation, Loaiza and Camos (2018) provided further evidence of the independence of refreshing from LTM. In complex span task, the presentation of semantic cues during the recall phase had a beneficial effect on word recall performance compared to phonological cues. However, this benefit of the semantic cues did not vary as a function of the attentional demand of the concurrent task or even the intention to learn. Indeed, when participants were submitted to surprise recall test, semantic cue benefit remained the same as when they were instructed to actively maintain words for recall.

As proposed by Camos et al. (2019), the absence of interaction between LTM effect and the availability of attention can find an account within Cowan (1999b) Embedded-Processes (EP) model. In this model, WM is defined as the currently activated part of LTM, WM being a subset of LTM. Among this subset, 3-4 chunks of information are maintained in a high state of accessibility by a limited capacity focus of attention (Cowan et al., 2005).

In this framework, one can expect that factors known for facilitating the retrieval from LTM (what we call here LTM effects) would also ease the encoding of items in WM. In other words, items easily retrievable from LTM have a higher probability to be activated and to constitute the content of WM. However, performing a concurrent task would more or less distract attention depending on its nature. This would lead to forgetting memory items. To counteract forgetting, memory traces are refreshed or reactivated through a rapid scanning of the central component of WM (Vergauwe & Cowan, (2014; 2015), akin to the mechanism proposed by Sternberg (1966; see also, Sternberg, et al., 1978). The sequential scanning would be performed on the set of memory items that constitute the central capacity-limited component of WM and would reactivate the memory traces of these items. As a consequence, LTM effects should impact recall performance, because they affect the probability to enter into WM, but LTM effects should not vary with the availability of attention, which should impair the efficiency of the scanning among the subset of items that were in WM.

To summarize, there is some discrepancy within the literature about the interaction between LTM effects and the availability of attentional refreshing, and two streams of findings can be depicted. While some studies reported that LTM effects were amplified when refreshing opportunities were reduced (Abadie & Camos, 2018; Engle et al., 1990; Loaiza et al., 2015; Rose et al., 2014), others failed to report any interaction between LTM effects and manipulation of attention (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018). These contradictory findings contribute to the fact that the functioning of attentional refreshing is still unclear (Camos et al., 2018), but also support different theoretical conceptions on how attention mediates LTM effects in WM based on either the primary-secondary framework or the embedded-processes model. Hence, the

present study aimed to re-examine this question by testing how variations in attentional refreshing moderate the relatedness effect. Like the previously mentioned studies, we examined recall performance. However, to help clarifying this discrepancy, we seek through other measures of cognitive functioning indexes of the role of attention on LTM effect in WM.

1.2. Recall latency and errors as indexes of memory functioning

The most obvious index of memory functioning is recall performance, and as such, it is the most commonly studied. However, examining recall latency and recall errors can be adequate indicators of the way memory is functioning. For example, in free recall tasks, it has been shown that recall probability and recall latency are independent measures (Rohrer & Wixted, 1994), while recall latency and recall errors account for unique variance (Unsworth, 2009).

Recall latency in WM span tasks has been the subject of several papers (Cowan, 1992; Cowan et al., 1994; Cowan et al., 2003; Cowan et al., 1998; Hulme et al., 1999; Towse et al., 2008); after a seminal study by Cowan (1992). These papers resulted on a set of congruent findings. First, the duration between the recall signal and the utterance of the first recalled word is systematically longer than the recall latencies for the other words. Authors referred often to this duration as a preparatory pause during which participants recapitulate the word list before they start recalling the words. As a consequence, this latency should increase with the list length, something that is sometimes observed (Cowan et al., 1994, 1998), but not systematically (Cowan, 1992). Moreover, preparatory intervals can be more complex to interpret than other inter-word pauses as they can reflect not only the retrieval of the memory list, but also some articulatory planning needed to output responses (Jarrold

et al., 2000). Second, recall latency for the serial positions after the first one also increases with list length (Cowan, 1992; Cowan et al., 1994, 1998, 2003), an increase that is stronger in younger children (Cowan et al., 1998). These inter-word pauses are considered as an index of retrieval processes that contribute to recall performance (Cowan, 1992; Towse & Cowan, 2004). According to Rose et al (2014), when recall is rapid, this suggests that words were “*reported directly from the focus of attention*” (p. 695) and recall did not involve retrieval processes from secondary memory. On the contrary, when recall is slow, this suggests that it “*involved cue-dependent search and retrieval from LTM*” (p. 695). In addition, it has been shown that differences in the size of the search set could also be responsible for increasing recall latencies with list length (Rohrer & Wixted, 1994).

Finally, children are slower than adults (Cowan et al., 1994), which is considered as resulting from their slower scanning pace (Keating et al., 1980). It can also be suggested that children have larger search sets than adults resulting in longer recall latencies and a greater impact of list length on latencies. Studies within the primary-secondary memory framework that examined individual differences in WM showed that individuals with low WM capacity exhibited longer recall latencies due to larger search set size (Unsworth, 2009). Similar results can be expected in children as they have lower WM capacity compared to adults.

The impact of LTM effect on recall latency was rarely examined, and the two available studies used the lexicality effect (Cowan et al., 2003; Hulme et al., 1999). This effect impacts recall latency, with longer inter-word pauses to recall lists of non-words compared to lists of words, and whatever the serial position (i.e., first and other serial positions). These findings are explained by a LTM support to WM performance. Because familiar items (like words) have stronger lexical representations in LTM, they are more easily reconstructed

than unfamiliar items (non-words) during the pauses between recalling successive items, leading to shorter inter-word pauses and better recall (Hulme et al., 1999).

Concerning recall errors, they are not systematically reported in studies using WM span tasks. Nevertheless, in two experiments using lists of related words, Atkins and Reuter-Lorenz (2008) observed that semantic errors (i.e., recalling an unpresented theme word or an associated word) exceeded other types of errors, in particular they occurred more often than phonological intrusions and other unrelated intrusions. These semantic errors were greater when participants had to complete a high-demanding concurrent task while maintaining memory words than when there was no concurrent task.

Except this study, when errors were examined in WM tasks, this was mostly in recognition test (e.g., Abadie & Camos, 2019; Flegal et al., 2010; McBride et al., 2019; Shulman, 1972). Because the nature of the test has a direct impact on the types of errors (for example, recall test elicited obviously more omissions than recognition test in which it is not possible), it is difficult to use previous data on recognition test to support the examination of errors in recall test. However, we can take advantage of the work done in a related task, the simple span task, for which errors were reported in several studies using recall test (e.g., Murdock, 1976; Saint-Aubin et al., 2005; Tse, 2009; Tse et al., 2011).

Well replicated findings are that transpositions (i.e., recalling a word in a different serial position than the one in which it was presented) and intrusions (i.e., recalling an item from another list), especially semantic intrusions (i.e., recalling semantically related extra-list item) are more frequent in related than in unrelated word lists (Murdock, 1976; Saint-Aubin et al., 2005; Tse, 2009). However, it should be noted that intrusions are rare, often

less than 1% when lists were not only semantically related word lists (Tse et al., 2011). These findings were often considered as evidence for the item redintegration theory. This theory predicts higher number of order errors for related lists, because degraded memory trace of an item has higher probability to overlap with features of another item in related lists. Hence, recall errors, as recall latency, can give insights about WM functioning.

1.3. The present study

In the present study, we conducted two experiments aimed at examining the mediating role of attention on the associative relatedness effect in WM. Semantic relatedness affects recall performance in serial recall task, with semantically related word lists better recalled than semantically unrelated word lists (Poirier et al., 2011; Poirier & Saint-Aubin, 1995; Saint-Aubin & Poirier, 1999a; Tse, 2009). Two effects can be distinguished among the semantic relatedness effects: categorical relatedness that links words belonging to the same semantic category (e.g. *apple-banana-pear*) and associative relatedness, which is characterized by a high probability of associations between two or more words despite the fact that they do not belong to the same semantic category (e.g., *rabbit-carrot-ear*; Tse et al., 2011). This latter type of associations is mainly based on the recurrent use or appearance of these words together. Two words can be highly associated while being semantically dissimilar (e.g. *rabbit-carrot*), or weakly associated and yet semantically similar (e.g. *carrot - cabbage*; Thompson-Schill et al., 1998). The present study focused on the latter type of associative relatedness.

In both experiments, we manipulated the impact of LTM by presenting lists of either associatively related or unrelated words. In Experiment 1, these word lists were introduced in a complex span task in which adults and 11-year-old children had to perform either a low

(a color judgment task) or a high (a parity judgment task) attention-demanding concurrent task. These tasks have been previously used in WM tasks with adults and children to vary the concurrent attentional demand (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). Increasing the attentional demand of the concurrent task performed during the delay of retention reduces the availability of attention for maintenance purpose, and in particular for refreshing memory items. To ensure that the observed effects only rely on the use of attentional refreshing, we hindered the use of articulatory rehearsal by imposing a concurrent articulation during the retention interval. Indeed, articulatory suppression by a concurrent articulation prevents the use of this subvocal repetition by inner speech strategy (Baddeley, 1986), with no impact on attentional refreshing in adults (e.g., Camos et al., 2009) and children (Mora & Camos, 2015; Oftinger & Camos, 2016, 2017, 2018)

We compared two age groups, children and adults, because development is a particularly powerful, quasi-experimental, manipulation of ability level. Indeed, it has been shown that children have a less efficient use of refreshing (Barrouillet et al., 2009; Camos & Barrouillet, 2011; Gaillard et al., 2011; Portrat et al., 2009b). This was especially supported by the fact that WM recall performance in children was less affected than in adults by the increase of concurrent attentional demand. Indeed, by increasing the attentional demand of the concurrent task in complex span task, it has been shown that the decrease in children's recall performance was smaller than in adults; the slope related attentional demand to recall performance being steeper in adults and older children (14-year-old) than in younger children (8-, 10-, 12-years of age). Moreover, Barrouillet et al. (2009, Exp. 2) assessed the rate of refreshing (i.e., the number of items refreshed per second) of two groups of children, 8- and for 14-year-olds, in a complex span task. They showed that the rate of refreshing is twice as high for 14- than for 8-year-old children, which suggests a stronger or more

efficient use of refreshing in older children. In a previous experiment, the same authors showed that 14-year-old children have the same pattern of performance as young adults, with a similar impact of variation in concurrent attentional demand on recall performance, suggesting that age 14 is an end point in the development of the refreshing mechanism. Hence, testing children would allow us to assess LTM effect in WM in conditions of poor use of attentional refreshing, and according to one of the previously described sets of findings, this should strongly promote LTM effect.

Experiment 2 aimed at replicating Experiment 1 findings with younger children, a stronger manipulation of concurrent attentional demand and a more precise measure of recall latency. In both experiments, in addition to recall performance, we also assessed recall latency and recall errors, because these measures can also reflect how retrieval in a WM task can be influenced by LTM knowledge.

As previously explained, we expected to replicate well-known effects of age, with poorer recall performance in children than adults, of associative relatedness with better recall performance for related word lists than unrelated word lists, and of concurrent attentional demand, its increase leading to reduced recall performance. This latter effect should be stronger in adults than in children, because the former are more efficient in using attention for maintenance purposes than the latter. However, the main purpose of the current study is related to other interactions. The main point of interest of the present study concerned the effect of associative relatedness as a function of the availability of attentional refreshing, which can be impaired either experimentally through variations in attentional demand of the concurrent task or through the comparisons between age-groups as children spontaneously present a poorer use of refreshing. As previously

described, the literature reported two streams of results: either LTM effect is increased under the impairment of refreshing or LTM effect is immune to it. Each of these patterns of findings found an account within either the primary-secondary memory framework or the embedded-processes model, respectively. Moreover, because children are less affected by variation in attentional demand, it can be extrapolated that, if the increase of LTM effect under high attentional demand, as expected by the primary-secondary framework, was observed, it should be greater in adults than in children. Finally, and although this was never reported in the literature, it remains possible that LTM effect would be enhanced under low concurrent attentional demand, as suggested by the time-based resource sharing model (Barrouillet & Camos, 2015).

Contrasting with the numerous studies on recall performance in WM tasks, there have been fewer investigations of recall times and recall errors. Previously observed findings should be replicated. Concerning recall latency, children should be slower than adults, the first recall latency should be longer than the others, latency should increase with list length and in unrelated word lists. Finally, the increase of latency with list length should be larger in children than in adults. Concerning recall errors, semantic errors should be more frequent in condition with high concurrent attentional demand and in related word lists, and the occurrence of order errors should increase in related compared to unrelated word lists.

Concerning the predictions issued from the two streams of findings and their supporting model, we can only speculate, as no explicit predictions have been made on recall latency and errors. Nevertheless, this helps in organizing the report of the findings. We can first expect that the same interactions (or absence of interactions) predicted for

recall performance should affect the other aspects of memory behavior, like latency and error. Second, the impact of concurrent attentional demand can also be envisioned. On the one hand, within the primary-secondary memory framework, Rose et al.'s (2014) suggested items retrieved from primary memory should then be retrieved faster than those in secondary memory. Therefore, recall latency should be longer under high attentional demand. On the other hand, the embedded-processes model would expect that concurrent attention-demand does not affect recall latencies, because items are recalled from the central component of WM in which items are in a high state of accessibility. Finally, intrusions, and in particular semantic intrusions, can occur more easily when items are retrieved from secondary than primary memory, which should be more frequent under high concurrent attentional demand, according to Rose et al.'s (2014) proposal. Our predictions and main results are summarized in Table 3.

2. Experiment 1

In this first experiment, we manipulated the impact of LTM by presenting lists of either associatively related or unrelated words. Following an increasing length procedure, these word lists were introduced in a complex span task in which adults and 11-year-old children had to perform either a low (a color judgment task) or a high (a parity judgment task) attention-demanding concurrent task. These tasks have been previously used in WM tasks with adults and children to vary the concurrent attentional demand (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). To ensure that the observed effects only rely on the use of attentional refreshing, we hindered the use of articulatory rehearsal by imposing a concurrent articulation, i.e., continuously repeating three syllables aloud. As explained in the introduction, the role of attention in mediating the LTM impact on WM was examined in recall performance, as well as in recall latency and recall error.

Table 3: Summary of predictions and main results

DVs	Replication of known effects		Based on primary-secondary memory framework		Based on embedded-processes model	
Recall Performance	Age: Poorer performance in children than in adults	✓	A stronger relatedness effect in children than in adults	(✓)	No interaction between relatedness and age	(✓)
	Concurrent attentional demand: Poorer performance in high than low attentional demand	✓	A stronger relatedness effect in high concurrent attentional demand than in low demand	x	No interaction between relatedness and concurrent attentional demand	✓
	Relatedness: Poorer performance in unrelated than related word lists	✓	A stronger increase of the relatedness effect in high (vs low) concurrent attentional demand in adults than in children	x	No 3-way interaction	✓
	Interaction Concurrent attentional demand by Age: a stronger effect in adults than in children	(✓)				
Recall Latency	Age: Children are slower than adults	✓	Age: Longer latency in children due to their poor use of refreshing or to larger search set size	✓	Age: Longer latency in children due to their slower scanning pace	✓
	Serial position: Longer latency for first serial position than the others	✓	Concurrent attentional demand: Longer latency in high than in low attentional demand	x	No effect of concurrent attentional demand	✓
	List length: Increased latencies with list length	(✓)				
	Relatedness: Longer latency in unrelated than related word lists	✓				
	Interaction Age by List length: A stronger increase with length in children than in adults	x	Interaction Age by List length: A stronger increase with length in children than in adults due to larger search set size	x		
Recall Errors	Relatedness: More semantic and transpositions in related than unrelated word lists	(✓) ✓				
	Concurrent attentional demand: More semantic errors in high than low attentional demand for related word lists	x				
	<i>Concurrent attentional demand: More omissions and transpositions in high than low attentional demand</i>	✓ ✓	Concurrent attentional demand: More intrusions in high than low attentional demand	*		
	<i>Relatedness: More omissions in unrelated than related word lists</i>	✓				

Note: Effects in Italics are not predictions based on the literature but observed in the current study. ✓ indicates that the effect was observed in both experiments, (✓) indicates that the effect was observed in one of the two experiments or descriptively present in recall errors, x indicates that the effect was not observed, and * indicates an inconclusive effect.

2.1 Method

2.1.1. Participants

Participants included 33 undergraduate students of the University of Fribourg (28 females, $M_{age} = 20.9$ years, $SD = 1.83$) and 36 children from local schools (18 females, $M_{age} = 11.1$, $SD = .82$). All of them were French native speakers. They gave either a signed informed consent or a legal tutor agreement for children. Adults received course credits for participating. Children did not receive any reward for their participation, but they voluntarily participate to ensure their motivation. None of them took part in the pre-test of the material (see Supplementary Material in Appendix E).

2.1.2. Material

To our knowledge, no study in French ever created lists of several words to test the associative relatedness effect in WM tasks. Thus, we created our own lists of words using verbal association norms by De La Haye (2003) and by Duscherer et al. (2009). From these norms, 160 one to three syllable words were selected and divided into two sets of 80 words. In each set, we created four lists of associatively related words for each length (from two to six). The words were then mixed to create an equivalent number of lists of two to six unrelated words (see Supplementary Material for the pre-test of the material). Each participant saw each word only once in the experiment, either in a related or unrelated list. The related lists of one set and the unrelated lists of the other set were administrated to each participant. For the concurrent tasks, series of blue and red digits ranging from one to eight were randomly generated with a rate of 50% of each color and 50% of each parity.

2.1.3. Procedure

The task was programmed on E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools Inc. [E-Prime 2.0], 2012). Participants performed a complex span task during which they maintained lists of words while performing a concurrent task, either the color (low attentional demand) or parity (high attentional demand) judgment task on series of digits (Figure 13).

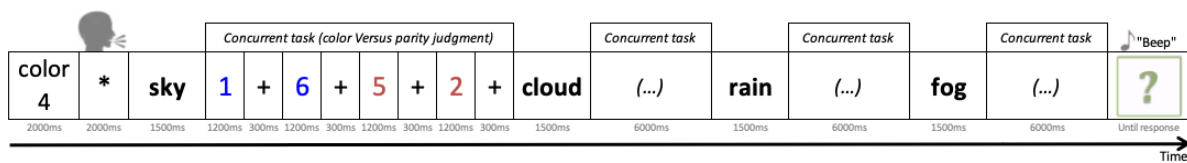


Figure 13. Example of a trial with a related list of four words in Experiment 1 in which participants had to remember the word list, while performing either a color-judgment (low demanding) or a parity judgment (high demanding) concurrent task. Each trial began by an indication of the concurrent task (color or parity) to be performed on digits and the number of memory words to be maintained. Starting at the asterisk ready signal, participants repeatedly uttered *ba-biboo* until the appearance of a question mark and a beep prompted aloud recall of the words in the order of presentation.

Each trial began with the presentation of an asterisk for 2000 ms indicating the start of the concurrent overt articulation. Throughout each trial, participants repeated aloud the syllables *ba-bi-boo*, the experimenter tracking their continuous utterance. This concurrent articulation hinders articulatory rehearsal (Camos et al., 2009; Cowan et al., 1998), and favors the use of attentional refreshing (Camos et al., 2011). After the ready signal, the first to-be-remembered word appeared. Each word was presented during 1500 ms, followed by four digits presented for 1200 ms each with 300-ms inter-stimuli interval (ISI), during which a fixation cross kept participant fixating the screen. Word lists were

presented in increasing length from two to six with four lists of related and four lists of unrelated words in each length. Within each length, the eight lists were randomly displayed, with the constraints that four lists were assigned to each concurrent task, with half of them being related word lists and the other half unrelated word lists. In a counterbalanced way, participants studied each length, starting either by the color or parity judgement task, and completed the secondary tasks by pressing on *l* (for red or odd digits) and *s* (for blue or even digits) keys on a Swiss keyboard. At the end of a trial, a question mark with a beep prompted the oral recall of words in their order of presentation. The experimenter took note of the recall on protocol sheets. Participants were also asked to press the spacebar on the keyboard each time they recalled a word to record recall latencies. Because complying with this latter instruction could be difficult for children, the experimenter was in charge of pressing the key each time a child recalled a word. The length of word lists as well as the concurrent task to be performed (color or parity judgment task) were indicated on screen at the beginning of each trial.

The experiment started with two training phases. The first one was dedicated to the color and parity judgment tasks performed each on 20 digits, after an example on three digits. The second training phase was analogous to the complex span task, using lists of forenames instead of words. Participants performed four lists of length two, half with the color judgment task and half with the parity judgment task; the order of the two conditions being counterbalanced across participants. Finally, in a post-test at the end of the experiment, participants judged the associative relatedness of the word lists that they had not studied in the experiment (see Supplementary Material in Appendix E for the results of this post-test).

2.2. Results

To control that participants complied with the instructions and paid enough attention to the concurrent tasks, data from participants with an accuracy rate lower than 65% were excluded. This led to exclude the data from two children. Moreover, data from participants with a span score differing from the average span of their age group by more than 3SDs were also excluded. This resulted in the exclusion of the data of one adult. The data from one additional child were excluded due to a computer error and another one refused to finish the experiment. Additional participants replaced these missing participants in order to have an equal sample size ($N=32$) in children and adults. The reported analyses were performed on this sample.

All analyses were performed with JASP. (Version 0.8.3.1, Love et al., 2019). For each dependent variable, a Bayesian Analysis of Variance (ANOVA) was performed using the default settings. The BF_{10} of each model (e.g., main effects only, main effects + interaction effects) was obtained by comparing it to the null model. For each dependent variable, we first report the best model, i.e., the model with the largest BF_{10} . Then, we report the $BF_{inclusion}$ value for each factor in the model (i.e., a main effect or an interaction effect), which indicates the likelihood of the data under models that included a given factor compared to all models stripped of the factor. Table 4 provides the mean and SD for each dependent variable and Table 5 summarizes the $BF_{inclusion}$ of main effects and interactions. Before reporting the results on recall performance, latency and error, we performed analyses on the concurrent task performance.

Table 4. Descriptive statistics of all dependent variables (DVs) in Experiment 1 as a function of age group (adults vs. children), the concurrent task (color vs. parity judgment task) and associative relatedness of word lists (related vs. unrelated words).

DVs		Adults				Children			
		Color		Parity		Color		Parity	
		Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated
Recall	Span	4.0 (0.9)	2.9 (0.8)	3.8 (1.1)	2.69 (0.9)	3.2 (1.1)	2.2 (0.9)	3.1 (1.1)	1.7 (0.7)
	Serial recall	73.4 (15.3)	56.7 (17.2)	68.7 (17.2)	51.10 (20.5)	60.4 (19.4)	41.1 (20.5)	53.8 (21.5)	36.1 (17.4)
	Free recall	90.2 (7.4)	75.8 (12.6)	90.6 (8.5)	75.10 (13.5)	82.1 (10.0)	61.6 (15.2)	79.5 (12.8)	54.1 (16.7)
Concurrent task	ACC	93.1 (5.8)	93.3 (5.5)	89.0 (6.0)	87.8 (7.7)	89.0 (6.2)	88.4 (7.9)	76.1 (12.2)	74.1 (12.6)
	RT	586 (81.2)	610 (86.3)	664 (75.1)	681 (77)	652 (71.7)	672 (66.3)	743 (74.7)	748 (67.6)
Recall latency	Latency 1	1965 (485)	2043 (611)	1951 (413)	2270 (719)	4616 (3204)	4904 (3315)	4030 (1698)	6502 (5845)
	Latency 2	1052 (371)	1241 (554)	999 (387)	1306 (559)	1073 (549)	2948 (1853)	1092 (695)	2285 (2369)
	Latency 3	855 (408)	1655 (998)	1953 (356)	1883 (1385)	1710 (2177)	2642 (3343)	2012 (2285)	2786 (3136)
	Latency 4	1718 (1278)	2396 (2489)	1666 (1280)	2281 (1928)	2412 (3735)	3666 (5389)	2198 (3402)	3963 (5385)
Type of errors	Omission	5.4 (6.4)	18.0 (10.1)	5.9 (6.2)	19.9 (11.3)	15.4 (9.6)	36.5 (15.6)	17.9 (11.7)	39.8 (17.8)
	Transposition	17.4 (9.8)	18.4 (8.8)	22.9 (14.3)	22.6 (13.1)	21.5 (12.7)	17.2 (11.2)	24.5 (14.2)	18.8 (10.7)
	Semantic	3.1 (3.9)	1.8 (2.4)	2.1 (2.2)	1.3 (1.6)	1.8 (2.8)	1.8 (2.7)	2.7 (4.4)	1.4 (2.0)
	Phonological	0 (0)	0.3 (0.8)	0 (0)	0.4 (0.9)	0 (0)	0.2 (0.6)	0.3 (0.9)	0.3 (1.0)
	Intrusion	0.6 (1.6)	4.1 (4.3)	0.4 (0.9)	3.7 (4.7)	0.3 (1.1)	2.9 (4.4)	0.6 (1.6)	2.4 (2.8)

Note. Recall performance is expressed as span and as percentage of correct serial and of free recall. The concurrent task performance is expressed as percentage of correct responses (ACC). RT stands for reaction time in milliseconds in the concurrent task. Omission, transposition, semantic, phonological, and intrusion refer to the percentage of recall errors for each type of errors. Standard deviations are in brackets.

Table 5. $BF_{inclusions}$ of all variables of interest for recall performance (span, percentage of serial and free recall), recall latency, recall error, percentage of accuracy (ACC) and reaction time (RTs in ms) in the concurrent tasks in Experiment 1.

Effect	Span	Serial recall	Free recall	Recall latency	Recall error	ACC	RTs
Concurrent task	43.3	313	1.97	0.15	7.98	1.45×10^{25}	3.34×10^{38}
Relatedness	1.26×10^{31}	2.10×10^{37}	1.63×10^{71}	1.90	1.22×10^9	0.36	69.7
Age	195	79.0	4447	1.09	78.4	2477	116
Concurrent task x Relatedness	0.27	0.12	0.26	0.19	0.13	0.32	0.42
Concurrent task x Age	0.19	0.09	2.87	0.20	0.16	1.34×10^8	0.29
Relatedness x Age	0.21	0.13	93.5	0.28	0.21	0.23	0.25
Concurrent task x Relatedness x Age	0.46	0.12	0.23	0.39	0.18	0.24	0.28
List length	-	3.93×10^{88}	4.69×10^{12}	-	-	-	-
List length x Concurrent task	-	0.004	0.008	-	-	-	-
List length x Relatedness	-	0.62	4311	-	-	-	-
List length x Age	-	0.003	1.37	-	-	-	-
List length x Concurrent task x Relatedness	-	0.14	0.04	-	-	-	-
List length x Concurrent task x Age	-	0.01	0.03	-	-	-	-
List length x Relatedness x Age	-	0.02	0.03	-	-	-	-
List length x Concurrent task x Relatedness x Age	-	0.03	0.14	-	-	-	-
Serial position	-	-	-	1.57×10^7	-	-	-
Serial position x Concurrent task	-	-	-	0.06	-	-	-
Serial position x Relatedness	-	-	-	0.16	-	-	-
Serial position x Age	-	-	-	4.11×10^5	-	-	-
Serial position x Concurrent task x Relatedness	-	-	-	0.12	-	-	-
Serial position x Concurrent task x Age	-	-	-	0.11	-	-	-
Serial position x Relatedness x Age	-	-	-	1.26	-	-	-
Serial position x Concurrent task x Relatedness x Age	-	-	-	0.19	-	-	-
Types of error	-	-	-	-	0.05	-	-
Types of error x Concurrent task	-	-	-	-	0.18	-	-
Types of error x Relatedness	-	-	-	-	1.45×10^{20}	-	-
Types of error x Age	-	-	-	-	2.22×10^{11}	-	-
Types of error x Concurrent task x Relatedness	-	-	-	-	0.23	-	-
Types of error x Concurrent task x Age	-	-	-	-	0.41	-	-
Types of error x Relatedness x Age	-	-	-	-	77.30	-	-
Types of error x Concurrent task x Relatedness x Age	-	-	-	0.29	-	-	-

2.2.1. Performance in Concurrent Tasks

Percentage of correct responses (ACC) and reaction times (RTs) in the concurrent tasks were submitted to default Bayesian mixed ANOVA, with concurrent task (color vs parity judgement task) and relatedness (related vs. unrelated lists) as within-subject factors, and age group (adults vs. children) as a between-subject factor.

Concerning the percentage of correct responses, the best model included the main effects of concurrent task and age group and the interaction between the two factors ($BF_{10} = 3.57 \times 10^{36}$). As expected, the percentage of correct responses was higher in the color ($M = 91\%$, $SD = .06$) than in the parity judgement task ($M = 82\%$, $SD = .12$), and in adults ($M = 91\%$, $SD = .05$) relative to children ($M = 82\%$, $SD = .09$). Moreover, follow-up Bayesian paired t-tests showed that the impact of concurrent task was larger in children ($BF_{10} = 5.07 \times 10^6$) than in adults ($BF_{10} = 1551$).

Concerning RTs, the additive model including the main effects of the three factors was the preferred model ($BF_{10} = 1.27 \times 10^{41}$). As expected, participants were faster when performing the color ($M = 630$ ms, $SD = 76$) than the parity judgment task ($M = 709$ ms, $SD = 74$). They were also faster to perform the concurrent task when maintaining lists of related ($M = 661$ ms, $SD = 76$) than unrelated words ($M = 678$ ms, $SD = 74$). Unsurprisingly, children were slower than adults ($M = 704$ ms, $SD = 70$ vs. $M = 635$ ms, $SD = 80$, respectively).

2.2.2. Recall Performance

Recall performance was first scored as span, with span being equal to $1 + (1/4 \times N)$ with N the total number of trials in which all words were correctly recalled in their correct

serial position (e.g., Barrouillet et al., 2009; Smyth & Scholey, 1992). Because this measure may not be sensitive enough to grasp small recall differences, recall performance was also scored as percentage of serial recall and of free recall, i.e., irrespective of serial position.

Bayesian mixed ANOVA with concurrent task and relatedness as within-subject factors and age group as between-subject factor indicated that the additive model including the main effects of the three factors was the best model to account for span ($BF_{10} = 7.26 \times 10^{33}$). As can be seen in Table 3 and as predicted, span was higher when participants performed the color ($M = 3.07, SD = .11$) rather than the parity judgment task as concurrent task ($M = 2.81, SD = .10$), when they maintained related rather than unrelated word lists ($M = 3.50, SD = .12$ and $M = 2.37, SD = .09$, respectively) and in adults ($M = 3.34, SD = .93$) than in children ($M = 2.54, SD = .92$). However, the analysis provided substantial evidence against the interactions of interest between relatedness and concurrent task, and between relatedness and age. There was also weak evidence against the interaction between the three factors.

A similar analysis was performed on the percentage of correct serial recall with one additional within-subject factor, the list length (2 to 6). As for span, the best model included the main effect of the four factors ($BF_{10} = 1.07 \times 10^{118}$). However, this model was only weakly preferred to the second-best model, which also included the four main effects and the interaction between relatedness and list length ($BF_{10} = 6.58 \times 10^{117}$). The effect of age group, relatedness, and concurrent task were similar as those in span (Tables 4 and 5). The percentage of serial recall decreased with list length ($M = 80\%; SD = 24.5, M = 71\%; SD = 25.2, M = 57\%; SD = 28.1, M = 49\%; SD = 26.7$ and $M = 41\%; SD = 25.8$ for list length 2 to 6, respectively). The post-hoc analyses showed that the list length effect was

substantially stronger for the unrelated word lists (decreasing from 73 to 33% for lists 2 to 6) than for the related word lists (from 85 to 49%; $BF_{10} = 1.86 \times 10^{36}$).

The same analysis on the percentage of free recall led to a slightly different pattern of findings. The best model included the four main effects and interactions between concurrent task and age group and between relatedness and age group, as well as interactions between list length and relatedness and list length and age group ($BF_{10} = 1.31 \times 10^{90}$). The four main effects were similar as those in span and serial recall analyses. Although the evidence for the concurrent task x age group interaction was weak (Table 4), we nevertheless conducted follow-up Bayesian paired t-tests in each age group. Evidence was gathered for an effect of concurrent task in children ($BF_{10} = 20.5$), while there was substantial evidence against this effect in adults ($BF_{10} = 0.19$). Concerning the relatedness by age group interaction, follow-up Bayesian t-tests indicated that the effect of relatedness was larger in children ($BF_{10} = 2.06 \times 10^{11}$) than in adults ($BF_{10} = 9.56 \times 10^8$). Moreover, as shown by another follow-up Bayesian paired t-tests, list length had no effect when recalling related words ($BF_{10} = .04$), but impacted recall of unrelated words ($BF_{10} = 1.72 \times 10^6$). Lastly, follow-up Bayesian ANOVA was performed in each age group showing that children were far more impacted by list length ($BF_{10} = 7.03 \times 10^9$) than adults ($BF_{10} = 1.91$). As in span and percentage of serial recall, there was substantial evidence against the interaction of interest between concurrent task and relatedness and also against the interaction including concurrent task, relatedness and age group.

2.2.3. Recall Latency

Recall latency was collected for each recalled word when recalled in correct serial position, and, for each participant, averaged per position in each condition for each length.

Data diverging from more than 3 SDs from the mean (1.99% of the recall latencies) were replaced by the average of this condition for the same position and list length in the same age group. Moreover, because recall performance decreased across list lengths and to have a high percentage of RTs per presented words in adults as well as in children, we restricted our analyses to list lengths 2 to 4 (97%, 93%, and 80% in adults, and 90%, 84% and 69%, in children, respectively).

The Bayesian ANOVA with relatedness, concurrent task and serial positions (1 to 4 averaged across list lengths 2 to 4) as within-subject factors and age group as a between-subject factor showed that the best model included the main effects of relatedness, serial position and age group, as well as the serial position x age group interaction ($BF_{10} = 7.02 \times 10^{12}$). However, this model was only weakly preferred to the second-best model which did not include the relatedness effect ($BF_{10} = 3.71 \times 10^{12}$). Accordingly, there was weak evidence that related words were faster recalled than unrelated words ($M = 1933$ ms, $SD = 1009$ and $M = 2741$ ms, $SD = 1511$, respectively). Serial position had a decisive impact on recall latencies. Post-hoc comparisons indicated that participants took far more time to recall the first word ($M = 3535$ ms, $SD = 2454$) than the second ($M = 1368$ ms, $SD = 667$; $BF_{10} = 1.88 \times 10^6$), the third ($M = 1821$ ms, $SD = 307$; $BF_{10} = 3.26 \times 10^5$), and the fourth ($M = 2454$ ms, $SD = 2773$; $BF_{10} = 3.16$). Except these differences, there was weak evidence of differences between the other serial positions ($BF_{10} < 1.69$). Although there was weak evidence that children ($M = 3926$ ms, $SD = 1145$) were slower than adults ($M = 1647$ ms, $SD = 403$) to recall words, the analysis showed decisive evidence for an interaction between serial position and age group. Bayesian independent t-tests provided decisive evidence that children ($M = 5689$ ms, $SD = 2741$) were slower than adults ($M = 2100$ ms, $SD = 417$) at recalling words at each position ($BF_{10} = 1.05 \times 10^5$, 5.75, and 14.75 for

positions 1, 2 and 3, respectively), except for position 4 ($BF_{s10} = .95$). There was substantial evidence against the main effect of concurrent task, and the interactions between relatedness and concurrent task, and weak evidence against the interaction between relatedness, concurrent task and age group.

To complete the analyses of recall latencies, two additional Bayesian ANOVAs with relatedness, concurrent task and list length (two to four words) as within-subject factors and age group as a between-subject factor were performed on recall latency for the first word and on the recall latency for the other words (i.e., averaged across serial positions two to fourth). The analysis for the first word indicated a preference for the model showing the main effects of relatedness and age group ($BF_{10} = 258$), whereas the same analysis for the subsequent words showed also the main effects of relatedness, age group, and list length, but highlighted an interaction between relatedness and age group ($BF_{10} = 3.64 \times 10^6$). For the subsequent words ($BF_{10} = 1042$), related words ($M = 1202$ ms, $SD = 748$) were faster recalled than unrelated words ($M = 1899$ ms, $SD = 1860$), and the same pattern was observed on the first word ($BF_{10} = 1.34$, $M = 2904$ ms, $SD = 1872$ and $M = 3492$ ms, $SD = 2783$, respectively). For both first and subsequent words, children were slower than adults ($M = 4366$ ms, $SD = 3976$ and $M = 2030$ ms, $SD = 679$, $BF_{10} = 1.62 \times 10^{13}$ vs. $M = 1783$ ms, $SD = 1853$ and $M = 1318$ ms, $SD = 755$, $BF_{10} = 9.78$, respectively). The preferred models showed that list length had no effect on recall latencies for the first words ($BF_{inclusion} = .08$), but did for subsequent ones ($BF_{inclusion} = 2275$). Indeed, the more the list length increased, the more the latencies for recalling the subsequent words increased ($M = 1313$ ms, $SD = 1283$ for length of two words, $M = 1267$ ms, $SD = 944$ for of three, and $M = 2071$ ms, $SD = 1685$ for of four). Finally, for relatedness and age group interaction in subsequent word latencies, Bayesian independent t-tests showed that

children ($M = 2291$ ms, $SD = 2780$) were slower than adults ($M = 1506$ ms, $SD = 941$) at recalling unrelated words ($BF_{10} = 7.99$), the age difference being smaller for the related words ($M = 1276$ ms, $SD = 925$ and $M = 1129$ ms, $SD = 570$, for children and adults, respectively; $BF_{10} = 8.69$). This interaction was not observed for the first words ($BF_{inclusion} = .44$). As in the previous analysis, there was substantial evidence against the main effects concurrent task ($BF_{inclusion} = .13$ and $.11$ for first and subsequent words, respectively), the interactions between relatedness and concurrent task ($BF_{inclusion} = .16$ and $.15$, respectively), and between relatedness, concurrent task and age group ($BF_{inclusion} = .19$ and 1.23 , respectively).

2.2.4. Recall Errors

Recall errors were classified into five types: transpositions, omissions, intrusions, phonological and semantic errors. Errors were defined as a transposition when a word was recalled but in a different position than the one it was presented (e.g., last presented word recalled as first), as an omission when a word was not recalled, and as an intrusion when the recalled word was studied in a previous list. When the recalled word differed from only one syllable or swapped two syllables from the original studied item and had no semantic link with the items in the list, it was classified as a phonological error. Recalled words having a semantic connection with the items presented in the list were classified as semantic errors. Based on these definitions, three independent judges classified errors. We used a very stringent criteria; when there was no full agreement between the judges on the error category, errors were treated as unclassifiable and were therefore excluded from the analysis. This represented only 2.15% of the errors, showing the high agreement rate between the judges.

Examination of Table 4 showed that omissions and transpositions were the two most frequent errors, while semantic, phonological and intrusion errors were quite rare. Although the low rates of the latter types of errors precluded statistical analysis, it is worth noting that semantic, phonological and intrusion errors exhibited specific patterns, showing that our three variables of interest (relatedness, concurrent task and age groups) impacted differently their production. Semantic errors were more frequent in related than unrelated lists, in color than parity task and in adults than in children. While both phonological and intrusions errors were less frequent in related than unrelated lists, the phonological errors were lower in color than parity task, and intrusions were conversely more frequent in color than in parity task. Finally, adults produced more intrusions than children, but their phonological error rates were quite similar.

For the omissions and transpositions, the preferred model in the Bayesian ANOVA with error types, concurrent task, and relatedness as within-subject factors, and age group as between-subject factor included main effects of the four factors, and three two-way interactions (error types x relatedness, error types x age group, and relatedness x age group), as well as the interaction between error types, relatedness and age group ($BF_{10} = 2.24 \times 10^{39}$). Concerning the main effects, the percentage of omission and transposition errors was similar (see Table 5 for BFs). There was substantial to decisive evidence that participants made more errors in the parity ($M = 43\%$, $SD = 18$) than color judgment condition ($M = 38\%$, $SD = 17$, $BF_{inclusion} = 7.98$), when maintaining unrelated ($M = 48\%$, $SD = 18$) than related lists ($M = 33\%$, $SD = 17$), and that children ($M = 48\%$, $SD = 16$) produced more errors than adults ($M = 33\%$, $SD = 13$).

Concerning the two-way interactions, because the relation between their factors were qualified by a three-way interaction, we chose to decompose the higher order interaction between error types, relatedness and age group, for which we gathered strong evidence. Hence, we conducted analyses on the relatedness by age group interaction in each error type. There was weak evidence for the interaction in transpositions ($BF_{\text{inclusion}} = 2.66$) and substantial evidence in omissions ($BF_{\text{inclusion}} = 1065$). Children did more transpositions ($M = 23\%$, $SD = 12$, and $M = 18\%$, $SD = 9$, respectively, $BF_{10} = 20.25$) and less omissions ($M = 16\%$, $SD = 10$, and $M = 38\%$, $SD = 16$, respectively, $BF_{10} = 1.26 \times 10^{23}$) in related than unrelated words lists. The percentages of transpositions were not affected by relatedness in adults ($M = 20\%$, $SD = 11$ for related and $M = 21\%$, $SD = 9$ for unrelated word lists, $BF_{10} = .20$) while, as children, they did less omission in related ($M = 6\%$, $SD = 5$) than unrelated ($M = 19\%$, $SD = 10$) word lists ($BF_{10} = 1.56 \times 10^{15}$).

2.3. Discussion

In summary, the pattern of findings was rather similar across the different recall scores (see Table 4). Our manipulations were successful in impacting recall performance in the expected way and independently of the scoring, with poorer recall in children than in adults, in parity than color judgment task, and in unrelated than related word lists. However, whatever the score we examined, no evidence supported two of the main interactions of interest, that are the interactions between concurrent task and relatedness, and between the concurrent task, relatedness and age group. The interaction between age and relatedness was not supported, except when recall was scored without taking into account serial position (i.e., free recall score).

Findings in recall latency and error went in a similar direction, strengthening the results in recall performance, as none of the previously mentioned interactions received support. However, in response latency as well as in error, known findings were replicated. As expected, children were slower than adults, and recall latency increased with list length. As reported in previous analyses on response latency (e.g., Cowan et al., 1994, 2003), the first word of the lists took longer to be recalled than the following words. This could reflect the recapitulation of the entire word list before recalling each word in serial order. In addition, the shorter response latency for related word lists was weakly supported, indicating that as soon as memory words are maintained enough in WM to be recalled, the semantic links between these words does not speed up their retrieval. However, manipulation of the concurrent attentional demand did not affect response latency. These findings shed light on WM functioning, especially how refreshing is working and its relationships with LTM knowledge. These issues are discussed in the general discussion.

Concerning recall errors, transpositions and omissions were by far the most common errors, both in adults and children. Their rate of occurrence increased in a condition with a higher concurrent attentional demand. Unrelated word lists gave rise to more omissions, which shows that recall benefitted from the semantic links between the related words. This echoed what was observed in recall performance. Finally, transpositions were more frequent in related than unrelated word lists in children. This is congruent with previous findings showing that associative relatedness between items increases the proportion of order errors (Saint-Aubin et al., 2005) In addition, Poirier et al. (2015) demonstrated that items for which the semantic activation was heightened by items within the same list are more likely to migrate toward earlier positions at recall.

These findings suggest that associative relatedness can produce perturbations of representations of item order. Before discussing the theoretical implications of these findings, we reported a second experiment that aimed at strengthening our results.

3. Experiment 2

Experiment 2 has the same aim as Experiment 1, i.e., to examine the mediating role of attention on the relatedness effect in WM. However, three changes were implemented to strengthen our manipulations and measures. First, Experiment 2 involved younger children (aged 9) than those in Experiment 1. The lack of support for the expected interactions with age in Experiment 1 could result from smaller (than expected) age-related differences between 11-year-old children and young adults in the efficiency of refreshing. Hence, with younger children in Experiment 2, we aimed at increasing these age-related differences to assess whether or not we replicated the absence of interactions with age. Second, following the same idea, we implemented in Experiment 2 a stronger manipulation of the concurrent attentional demand by varying the pace of presentation of digits (either slow or fast) on which a parity judgement task was performed. Indeed, in Experiment 1, and contrary to what was previously observed, recall performance in adults was not more strongly affected than in children by the variation in concurrent attentional demand. We chose then another way to vary the concurrent attentional demand. It has been extensively shown that increasing the pace of presentation of distractors in complex span task has a detrimental effect on recall performance because it induces a stronger capture of attention needed for memory maintenance (e.g., Barrouillet et al., 2007; see Barrouillet & Camos, 2015, for a review). Finally, we also improved our measures of recall latency by audio-recording the entire sequence of responses and measured the oral inputs based on the sound oscillographic display.

3.1. Method

3.1.1. Participants

Thirty-three students of the University of Fribourg (26 females, $M_{age} = 20.6$ years, $SD = 1.90$) and 32 children recruited in local schools (12 females, $M_{age} = 9.22$, $SD = .71$) took part in the experiment after providing either their informed consent or a legal tutor agreement for children. They were all native French speakers. As in Experiment 1, adults received course credits for participating and children participated voluntarily.

3.1.2. Material

Thirty-two new lists of four associatively related or unrelated words (16 lists each) were created following the same procedure as for the material in Experiment 1 (see Supplementary Material). The associative relatedness of the lists was pre-tested on 120 students at the University of Fribourg. Each list included one to three syllables neutrally valenced words, with a maximum of one verb per list.

3.1.3. Procedure

We used the same complex span task as in Experiment 1, except that concurrent task was always a parity judgement task for which the attentional demand was varied by changing the pace of presentation of the digits (Figure 14). Digits were all black and presented for 1700 ms in the slow pace condition and for 700 ms in the fast pace condition, both with a 300-ms ISI. Another change compared to Experiment 1 was that word lists were of a constant length of four. Finally, to improve the measure of recall

latency, we used version 2.3.3 of Audacity® recording and editing software⁶ to record each participant's oral recall and extracted recall latency from oscillographic display on screen. The training phase preceded the task was akin to the one in Experiment 1, except that in the second phase with the complex span task one list was presented for each pace condition.

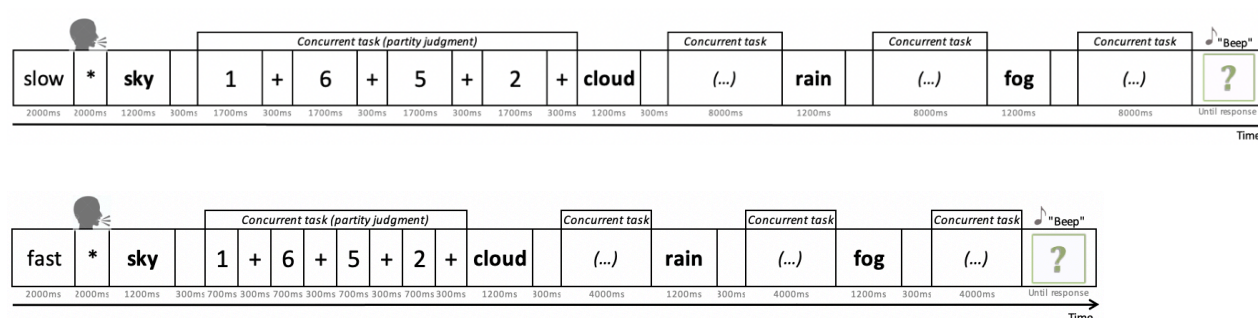


Figure 14. Example of two trials with a list of four related words in Experiment 2. Participants had to remember the word list, while performing a parity judgment task on digits that were presented either at a slow or fast pace. At the beginning of the trial, an indication mentioned the pace of the concurrent task. Starting at the asterisk ready signal, participants repeatedly uttered ba- biboo throughout the trial. Prompted by a question mark and a beep, participants orally recalled the words in the order of presentation at the end of each trial.

3.2. Results

We excluded data from participants with performance in the concurrent and recall tasks that differed from more than 3SDs of their age group's mean. This resulted in data exclusion for one adult due to poor performance in the concurrent task, and one adult and one child for poor recall performance. The following analyses were then performed on 31

⁶ Audacity® software is copyright © 1999-2019 Audacity Team. The name Audacity® is a registered trademark of Dominic Mazzoni.

adults and 32 children. Table 6 shows mean and SD for each dependent variable and Table 7 the $BF_{\text{inclusion}}$ value for each main effect and interaction.

3.2.1 Performance in Concurrent Task

Bayesian ANOVAs on percentage of correct responses and RTs with pace and associative relatedness as within-subject factors and age group as between-subject factor lead to the same preferred model, which included main effects of pace and age group and a pace by age group interaction ($BF_{10} = 1.57 \times 10^{52}$ and $BF_{10} = 2.55 \times 10^{60}$, respectively).

As expected, accuracy was higher and RTs longer in the slow ($M = 85\%$, $SD = 14$, and $M = 697$ ms, $SD = 135$, respectively) than in the fast pace condition ($M = 75\%$, $SD = 17.4$, and $M = 541$ ms, $SD = 52.2$, respectively). Adults ($M = 92\%$, $SD = 6.19$) outperformed children ($M = 68\%$, $SD = 15.4$) and they were also faster ($M = 580$ ms, $SD = 86.8$, vs. $M = 658$ ms; $SD = 151$, respectively). Follow-up Bayesian paired-t-tests performed in each age group revealed decisive effect of pace in both age groups, but with a larger pace effect in children ($BF_{10} = 1.07 \times 10^{10}$ and $BF_{10} = 1.85 \times 10^{11}$) than in adults ($BF_{10} = 1.10 \times 10^6$ and $BF_{10} = 353016$) both for accuracy and RTs.

3.2.2. Recall Performance

Because we presented constant length trials, recall performance was scored as percentages of correct serial and free recall. The preferred model for percentages of serial recall included the three main effects of pace, relatedness and age group and the interactions pace by age group and relatedness by age group ($BF_{10} = 1.56 \times 10^{43}$). However, this model was only weakly preferred to the second-best model, which did not include the relatedness by age group interaction ($BF_{10} = 1.13 \times 10^{43}$).

As expected, recall performance was decisively better in the slow ($M = 54\%$, $SD = 11.9$) than in the fast pace condition ($M = 45\%$, $SD = 14.0$). There was also decisive evidence for the relatedness effect, with related words better recalled than unrelated words ($M = 55\%$, $SD = 12.7$ and $M = 43\%$, $SD = 13.3$, respectively). Moreover, there was decisive evidence that adults recalled more words ($M = 71\%$, $SD = 12.9$) than children ($M = 28\%$, $SD = 13.1$). Regarding the pace by age group interaction, follow-up paired t-tests conducted separately in each age group provided decisive evidence for the pace effect in adults ($BF_{10} = 45508$), but weak evidence against this effect in children ($BF_{10} = 0.47$). Although the evidence for the relatedness by age group interaction was weak, the follow-up t-tests indicated that the relatedness effect was stronger in children ($M = 36\%$, $SD = 14.1$, $M = 19\%$, $SD = 10.2$, for related and unrelated word lists respectively; $BF_{10} = 5.86 \times 10^6$) than in adults ($M = 77\%$, $SD = 9.82$, $M = 66\%$, $SD = 12.8$, respectively; $BF_{10} = 2794$). Finally, as in Experiment 1, the analysis provided weak evidence against the interaction between pace and relatedness and substantial evidence against the three-way interaction between pace, relatedness and age group.

Similar analyses were conducted on the percentage of free recall and confirmed the findings observed in percentage of serial recall with the same preferred model including the main effects of the three factors and the interactions pace by age group and relatedness by age group ($BF_{10} = 1.46 \times 10^{65}$). The $BF_{inclusion}$ values for each main effects and interactions are given in Table 7.

Table 6. Descriptive statistics of all dependent variables (DVs) in Experiment 2 as a function of age group (adults vs. children), pace of the concurrent task (slow vs. fast) and associative relatedness of word lists (related vs. unrelated words).

DVs		Adults				Children			
		Slow Pace		Fast Pace		Slow Pace		Fast Pace	
		Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated
Recall	Serial recall	82.3 (10.3)	71.5 (11.2)	70.1 (13.5)	58.8 (16.5)	38.9 (13.9)	23.0 (11.9)	31.8 (12.6)	17.0 (12.6)
	Free recall	91.6 (6.7)	77.5 (9.6)	85.0 (8.7)	66.1 (12.9)	59.2 (15.2)	31.4 (14.0)	57.7 (15.1)	28.8 (13.0)
Concurrent task	ACC	95.5 (3.3)	94.5 (3.6)	89.4 (5.8)	87.5 (7.3)	74.9 (14.1)	74.4 (15.1)	59.9 (13.7)	59.5 (13.8)
	RT	624 (98.2)	624 (98.3)	534 (45.3)	541 (47.7)	769 (128.0)	764 (131.0)	543 (72.7)	532 (72.0)
Recall latency	Latency 1	3232 (2234)	3094 (1656)	3732 (2682)	3761 (2893)	2808 (1188)	3827 (1615)	3058 (1643)	3599 (1689)
	Latency 2	1633 (839)	2100 (1310)	2003 (1149)	2087 (948)	2973 (1476)	3970 (2696)	3179 (1533)	4154 (1581)
	Latency 3	2000 (950)	2818 (2785)	2193 (1224)	3378 (3518)	2971 (1313)	4828 (3248)	2884 (2043)	4159 (2710)
	Latency 4	1481 (959)	1908 (1059)	1696 (1059)	2152 (1519)	2711 (1802)	3422 (1952)	2990 (2060)	2703 (1504)
Type of errors	Omission	6.1 (6.3)	20.1 (9.9)	12.2 (7.6)	32.3 (14.2)	35.6 (15.3)	61.0 (14.1)	37.2 (16.4)	64.0 (13.7)
	Transposition	9.1 (7.4)	5.1 (4.9)	14.7 (7.7)	7.5 (6.7)	19.4 (18.3)	9.5 (11.0)	24.7 (17.6)	12.1 (13.4)
	Semantic	2.2 (2.4)	1.0 (1.7)	2.8 (3.0)	0.4 (1.1)	4.1 (3.7)	1.1 (1.5)	3.9 (3.9)	1.1 (2.0)
	Phonological	0 (0)	0.7 (1.5)	0 (0)	0 (0)	0.7 (1.6)	2.2 (2.9)	0.5 (1.2)	1.8 (3.0)
	Intrusion	0.3 (1.2)	1.0 (2.6)	0.1 (0.6)	0.5 (1.4)	0.3 (0.9)	1.0 (2.7)	1.22 (1.8)	2.0 (2.9)

Note. Recall performance is expressed as percentage of correct serial and of free recall. The concurrent task performance is expressed as percentage of correct responses (ACC). RT stands for reaction time in milliseconds in the concurrent task. Omission, transposition, semantic, phonological, and intrusion refer to the percentage of recall errors for each type of errors. Standard deviations are in brackets.

Table 7. $BF_{inclusions}$ of all variables of interest for recall performance (span, percentage of serial and free recall), recall latency, recall error, percentage of accuracy (ACC) and reaction time (RT) in concurrent task in Experiment 2.

Effect	Serial recall	Free recall	Recall latency	Recall error	ACC	RT
Pace	4.47×10^5	3295	0.15	4.25×10^3	1.54×10^{33}	3.32×10^{40}
Relatedness	2.43×10^{17}	5.13×10^{41}	2.90×10^5	1.43×10^4	0.44	0.12
Age	1.62×10^{21}	5.04×10^{18}	118	4.26×10^{14}	1.37×10^{11}	127
Pace x Relatedness	0.45	0.41	0.19	0.17	0.21	0.18
Pace x Age	123	14.4	0.56	0.53	8.76×10^7	4.39×10^{16}
Relatedness x Age	1.94	3.76×10^4	0.89	0.21	0.27	0.31
Pace x Relatedness x Age	0.11	0.35	0.13	0.24	0.28	0.30
Serial position	-	-	2.19×10^6	-	-	-
Serial position x Pace	-	-	0.001	-	-	-
Serial position x Relatedness	-	-	1.55	-	-	-
Serial position x Age	-	-	1.20×10^4	-	-	-
Serial position x Pace x Relatedness	-	-	0.02	-	-	-
Serial position x Pace x Age	-	-	0.04	-	-	-
Serial position x Relatedness x Age	-	-	0.08	-	-	-
Serial position x Pace x Relatedness x Age	-	-	0.07	-	-	-
Types of error	-	-	-	5.23×10^{30}	-	-
Types of error x Pace	-	-	-	0.24	-	-
Types of error x Relatedness	-	-	-	3.34×10^{30}	-	-
Types of error x Age	-	-	-	1.07×10^{22}	-	-
Types of error x Pace x Relatedness	-	-	-	0.64	-	-
Types of error x Pace x Age	-	-	-	0.59	-	-
Types of error x Relatedness x Age	-	-	-	27.41	-	-
Types of error x Pace x Relatedness x Age	-	-	-	0.43	-	-

3.2.3. Recall Latency

Participants' recall was audio-recorded, and recall latencies (in ms) were extracted from the oscillographic display between the recall signal (a beep) and the beginning of the first word for the first recall latency, and from the utterance of the previous word to the beginning of the following word for the other recall latencies. Recall latencies were collected for each word when recalled in correct serial position and, for each participant, averaged per position in each condition. Data from one adult and three children were excluded due to recording technical issues. The following analyses included then 30 adults and 29 children. Data diverging from more than 3 SDs from the mean of the condition in each position were replaced by the average of this position in this condition in the concerned age group (i.e., for 4.5% of the recall latencies).

The best model in the Bayesian ANOVA with associative relatedness, pace and serial positions (first to fourth) as within-subject factors and age group as between-subject factor highlighted the main effects of relatedness, serial position and age group, and the interactions between age group and serial position, as well as between relatedness and serial position ($BF_{10} = 3.40 \times 10^{17}$). However, this model was only weakly preferred to the second-best model, which did not include the relatedness by serial position interaction ($BF_{10} = 3.03 \times 10^{17}$). There was decisive evidence that related words ($M = 2590$ ms, $SD = 1697$) were faster recalled than unrelated words ($M = 3232$ ms, $SD = 2313$). Recall latencies were also decisively impacted by serial position. Indeed, post-hoc comparisons indicated that participants took far more time to recall the first word of the lists ($M = 3378$ ms, $SD = 2034$) than the second ($M = 2749$ ms, $SD = 1753$; $BF_{10} = 92.6$) and the fourth ($M = 2373$ ms, $SD = 1642$; $BF_{10} = 1.64 \times 10^6$), but not the third ($M = 3144$ ms, $SD = 2531$; $BF_{10} = 0.14$).

There was weak evidence that recalling the third word took more time than recalling the second ($BF_{10} = 1.61$) and decisive evidence that it took more time than recalling the fourth word ($BF_{10} = 767$). Finally, there was substantial evidence that the fourth word was faster recalled than the second one ($BF_{10} = 3.63$). As in Experiment 1, there was decisive evidence that children were slower ($M = 3390$ ms, $SD = 2020$) for recalling words compared to adults ($M = 2448$ ms, $SD = 1979$).

To examine the age group by serial position interaction, Bayesian independent t-tests compared age groups in each serial position. This provided substantial evidence that children and adults did not differ in recall latencies for recalling the first word ($M = 3323$ ms, $SD = 947$ and $M = 3432$ ms, $SD = 2067$, respectively; $BF_{10} = .272$). However, children were systematically slower than adults at recalling the following serial positions ($M = 3569$ ms, $SD = 1219$ and $M = 1956$ ms, $SD = 1062$; $BF_{10} = 42985$, for the second position, $M = 3711$ ms, $SD = 1482$ and $M = 2597$ ms, $SD = 2119$; $BF_{10} = 6.57$ for the third position and $M = 2957$ ms, $SD = 1073$ and $M = 1809$ ms, $SD = 1149$; $BF_{10} = 869$ for the fourth position, respectively). Although the evidence for the relatedness by serial position interaction was weak, we nevertheless conducted Bayesian analyses to test the relatedness effect in each serial position. Relatedness had no effect in the first and last serial positions ($BF_{10} = .37$, and $BF_{10} = .45$, respectively), but related words tended to be recalled faster than unrelated ones in the second and third serial position ($BF_{10} = 3.09$ and $BF_{10} = 12.9$, respectively). Akin to our results in Experiment 1, the analysis provided substantial evidence against the interaction between relatedness and pace, and between relatedness, pace, and age group.

3.2.4. Recall Errors

As in Experiment 1, we classified errors as transposition, omission, semantic, phonological and intrusion errors. Three independent judges did the classification. Only 3.18% of errors did not satisfy the classification criteria and were therefore excluded from the analyses. As in Experiment 1, omissions and transpositions on which we performed statistical analysis were the most frequent errors (Table 6). Semantic, phonological and intrusion errors were rare with children producing more errors of each type than adults. As also observed in Experiment 1, semantic errors were more frequent in related than unrelated lists, while it was the reverse for phonological and intrusion errors. Finally, semantic and phonological errors were slightly more produced under the low than high pace task. It was the same for the intrusions in adults but the reverse for children.

A Bayesian ANOVA was conducted on the percentage of omissions and transpositions with error types, pace and associative relatedness as within-subject factors and age group as between-subject factor. The best model included the main effects of the four factors and the interactions, error types by relatedness, error types by age group, relatedness by age group and the three-way interaction between error types, relatedness and age group ($BF_{10} = 6.37 \times 10^{91}$). This model did not strongly differ from the second-best model, which included the same effects and interactions with the addition of the pace by age interaction ($BF_{10} = 3.55 \times 10^{91}$).

There was decisive evidence for a main effect of error types, omissions ($M = 31\%$, $SD = 19$) being more frequent errors than transpositions ($M = 12\%$, $SD = 10$). There was strong evidence that participants made more errors in the fast ($M = 24\%$, $SD = 11$) than in the slow pace condition ($M = 19\%$, $SD = 12$), decisive evidence that there were more

errors in unrelated ($M = 25\%$, $SD = 12$) than related word lists ($M = 18\%$, $SD = 10$) and in children ($M = 33\%$, $SD = 5$) than adults ($M = 13\%$, $SD = 5$).

As in Experiment 1, because most of the two-way interactions were qualified by a three-way interaction, we chose to decompose the higher order interaction between error types, relatedness, and age group by examining the relatedness by age group interaction in each error type. The pattern of findings was rather similar to what was observed in Experiment 1. There was decisive evidence for the interaction between relatedness and age group in omissions and strong evidence for the interaction in transpositions ($BF_{\text{inclusion}} = 162.70$ and 32.90 , respectively). Both adults and children did less omissions in related ($M = 9\%$, $SD = 6$ and $M = 36\%$, $SD = 14$, respectively) than unrelated lists ($M = 26\%$, $SD = 11$, and $M = 62\%$, $SD = 12$, respectively), but the strength of evidence was larger in adults ($BF_{\text{inclusion}} = 6.58 \times 10^{19}$) than children ($BF_{\text{inclusion}} = 5.18 \times 10^{16}$). By contrast, both adults and children did more transpositions ($M = 12\%$, $SD = 6$, and $M = 22\%$, $SD = 17$, respectively) in related than unrelated word lists ($M = 6\%$, $SD = 5$, and $M = 10\%$, $SD = 12$, respectively), and the strength of evidence was larger in children ($BF_{\text{inclusion}} = 5.81 \times 10^6$) than adults ($BF_{\text{inclusion}} = 1.09 \times 10^5$).

3.3. Discussion

To summarize, Experiment 2 replicated the pattern of findings obtained in Experiment 1 for recall performance, latency and error. Across the two types of recall performance scoring, we replicated that recall was better in the slow than fast pace condition, with related than unrelated word lists, and in adults rather than in children. As we expected, our manipulation of the concurrent attentional demand and the involvement of younger children did result on an age group by pace interaction, with the expected

stronger pace effect in adults. We also observed a stronger relatedness effect in children than in adults. Despite these two interactions that gave better conditions for assessing our predictions than in Experiment 1, no evidence was gathered in favor of any of the two interactions of interest (relatedness by pace, and relatedness by pace by age group).

Similarly, for recall latency, results in Experiment 2 mimicked those in Experiment 1, with a longer time for the first than the following words, for children than adults, and for unrelated than related words. Nevertheless, the interactions of interest remained unsupported by the data. For recall errors, omissions and transpositions were still the most common error types in both age groups. There were more omissions and transpositions in the fast than in the slow pace condition, and unsurprisingly, children made more errors than adults. Associative relatedness impacted the number of transpositions and omissions. Overall, the different manipulations had the expected effects, and many well-known effects were replicated, but nevertheless, the interactions of interest remained unsupported. This strengthened the findings of Experiment 1 in confirming the absence of such interactions in different aspects of recall. The general discussion exposed how these findings impact the current theoretical conceptions of WM maintenance, and of its relationships with LTM.

4. General discussion

The aim of this study was to investigate whether attention modulates the contribution of LTM knowledge in WM. The current state of affairs showed divergent findings that was interpreted among two distinct conceptions of WM, based either on the primary-secondary framework or the embedded-processes model. To vary the implication of LTM knowledge, we asked participants to maintain lists of either

associatively related or unrelated words. We also manipulated the availability of attention to refresh memory traces by either implementing in complex span tasks concurrent tasks that differed in their attentional demand or by comparing two age groups, young adults and children, the latter being less efficient in refreshing. The different theoretical proposals were contrasted in their predictions and we analyzed the impact of the above-mentioned variables on recall performance, latency and error.

To summarize the main findings, our manipulations lead to the expected findings, replicating some well-known effects (see discussion of each experiment). When focusing on the predictions, the current findings are more in line with the previous studies that reported an absence of interactions between LTM effect and variation in attentional refreshing (Camos et al., 2019; Campoy, et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018). In the present study, while the increase in concurrent attentional demand and relatedness had the expected impact in recall performance, they did not interact with each other, in adults and children. This absence of interaction was also observed in recall latency, which was affected by the relatedness of the memory words, but not by the demand of the concurrent task. Finally, relatedness and concurrent attentional demand influenced the occurrence of the two most committed errors, omissions and transpositions. We discuss below the implications of these findings in light of the different WM models, and especially what the absence of interaction between associative relatedness and variation in the availability of attention implies for the role of attention in WM. Finally, we discuss how recall latency and errors can bring insights on WM functioning and in particular on its relationships with LTM. We discuss these two points in turn.

4.1. Attention and relatedness impact different WM components

Our results revealed a strong effect of associative relatedness on recall performance, both in children and adults. As LTM is well known for impacting WM retrieval, this relatedness effect was expected. Indeed, it is assumed that relatedness could intrinsically activate associated LTM parts and then increased the accessibility to these memory traces. LTM then contributes to the maintenance of WM traces by activating new information that could be retrieved from the items to be maintained. Encoding related items should then lead to superior retention performance. The manipulation of the concurrent attentional demand also showed a significant impact on performance, with a poorer recall in the high demanding condition. This result was also expected by any WM models that give to attention a major role in the maintenance of information in WM (e.g., Barrouillet & Camos, 2015; Cowan, 1995; Engle, 2002). As a consequence, any depletion of the attentional resources by a concurrent task would reduce their availability for maintenance purpose. The stronger demand of attention (by the parity judgment task and the fast pace condition in Experiments 1 and 2, respectively) led to a stronger reduction of attention for maintenance and to poorer recall performance. Moreover, as expected, the effect of concurrent attentional demand was stronger in adults than in children in Experiment 2 in which children were younger and the manipulation of the concurrent attentional demand stronger. This replicates previous findings (e.g., Barrouillet et al., 2009) and indicates that adults were more efficient than children in using attention for maintenance purpose. The fact that the relatedness of memory items and the attentional demand of the concurrent task have both the expected effect on WM performance confirms the soundness of our manipulation. This was particularly important for the relatedness effect because, due to the absence of existing material in French, we had to create especially for this study the lists of memory items (see Supplementary Material).

The main interest of our study was to test the contrasted predictions concerning the interactions between LTM effect (associative relatedness) and variation in the availability of refreshing (through variations in concurrent attentional demand and contrasted age groups). The current findings are clear. Bayesian analysis strongly supported the absence of interactions. This departs from reported interactions between a LTM effect and refreshing availability (Abadie & Camos, 2018; Engle et al., 1990; Loaiza et al., 2015; Rose et al., 2014), and brings some support to an embedded-processes conception of the links between LTM and WM.

More specifically, our results are in line with the last suggestion on refreshing made within the embedded-processes model. Vergauwe and Cowan (2015) suggested that refreshing acts as the scanning of the central component of WM that reactivates the memory traces stored in this component. The idea that attentional refreshing is a reactivation has been favored by several authors (Barrouillet et al., 2004; Cowan, 1995; Johnson, 1992; McCabe, 2008; see Camos et al., 2018, for a review and discussion on the different conceptions about refreshing). Hence, several models that share the idea that memory traces are stored in a central buffer in which they can be reactivated via attention can account for the current findings. Within Cowan's embedded-processes model, memory items stored in the focus of attention benefit from a heightened accessibility. Refreshing would act as a sequential scanning or search within this central component of WM, leading to their sustained maintenance. Such a description of the refreshing fits also with Oberauer's (2002) concentric model that distinguishes a single-item focus of attention within a capacity-limited region of direct access. In this model, refreshing would act as a rapid switching of the one-item focus of attention among the region of direct access. Similarly, in Barrouillet and Camos' time-based resource-sharing model, items

encoded and maintained in the executive loop would be refreshed sequentially by attention. In the most recent description of Baddeley's multicomponent model, the authors accepted the idea that an attentional refreshing mechanism involves "*the focusing of attention on the representation of material within the episodic buffer*" (Baddeley et al., 2021). Overall, our finding strengthens this view, as the reactivation of WM traces would not depend on LTM, but on the availability of attention for maintenance. LTM effects would then affect WM recall performance by modulating either encoding or retrieval processes at recall.

Conversely, our results are for the most part at odds with the Rose et al.'s (2014) findings. According to Rose et al.'s (2014) proposal, LTM would be more strongly involved in WM recall in high attentional demand condition, because the to-be-remembered items would have a higher probability to be retrieved from secondary memory than from primary memory when attention is less available (but see Rose, 2020, for a modified version of this model). In line with this proposal, in Experiment 2 (and in Experiment 1 when recall is scored as free recall), the relatedness effect was stronger in children. This finding seems to contradict the overall pattern of results, which supports the absence of interaction between LTM and refreshing. However, if the relatedness effect was modulated by the availability of attention, it should have been stronger in adults than in children in the high attentional demanding condition, because children were less affected by the variation of attention. This was not the case in any of our experiments. Hence, our results rather suggest that LTM is similarly involved in the retrieval of the memory items whatever the availability of attention. Nevertheless, our findings can be understandable within the primary-secondary memory model as originally depicted by Unsworth and Engle (2007). In this model, any concurrent task, whatever its attentional demand, would

lead to the displacement of memory items in secondary memory, from which items are retrieved through a cue-dependent search. As a consequence, LTM knowledge are similarly involved as soon as a concurrent task is involved and whatever its attentional demand. In the case of the relatedness effect, maintaining semantically related items would provide more efficient cues (e.g., the common gist underlying the list of items) to search for the items in secondary memory, leading to the observed benefit in recalling the related items (see Poirier et al., 2011; Saint-Aubin & Poirier, 1999). This echoes Oberauer's (2009) study in which the nature of the distractors that were presented after a memory item was manipulated in a complex span task. The distractors were either semantically related (presenting *Silk*, *Wool*, *Velvet* and *Linen*, after *Cotton*) or unrelated (presenting *Queen*, *Duke*, *Prince*, and *Knight* after *Cotton*). Despite the fact that the semantically related distractors improved recall performance of the memory items, probably by giving more efficient cues to search of the items, this semantic relatedness effect was not affected by variations in the attentional demand of the concurrent task.

4.2. Insights from recall latency and error on LTM impact in WM

As exposed in the introduction, it is quite rare to examine recall latency and error to get insights about WM functioning. However, previous studies provided interesting findings papers (Cowan, 1992; Cowan et al., 1994; Cowan et al., 2003; Cowan et al., 1998; Hulme et al., 1999; Towse et al., 2008), which showed that this is an avenue of research to further investigate. Hence, and contrary to most previous studies dedicated to the question of the role of attention in the LTM effect on WM, the present study included analysis of recall latency to inform us about the ease to retrieve items from memory. As suggested by Rose et al. (2014), items retrieved directly from primary memory would be faster to be recalled than items retrieved from secondary memory. Therefore, according

to these authors' proposal for the moderating role of attention, a high concurrent attentional demand or a poor use of attention for maintenance (as in children) should lead to longer recall latency. Alternatively, within the embedded-processes model, recall latency of items retrieved from WM should not be sensitive to the concurrent attentional demand, which conversely determines whether the items are present or not within WM. The analysis of the duration of the recall latency showed three main findings.

First, the attentional demand of the concurrent task had no impact on recall latency. In line with the embedded-processes model, we assume that memory traces are retrieved from a central component of WM, and as such, any items stored in this component would be retrieved and recalled at the same speed. As put forward by the time-based resource sharing model, the availability of attention would affect maintenance and thus, whether the items are still stored in this central component (Barrouillet & Camos, 2015). As a consequence, manipulating the attentional demand of the concurrent task affects the number of items stored (Barrouillet & Camos, 2014), and for these items, retrieval would be similar. Second, associative relatedness had a great impact on recall latency, related word lists being faster recalled. Accordingly, previous studies showed that *LTM knowledge actually impacts recall latency, the retrieval of non-words producing longer inter-words pauses during recall than words* (Hulme et al., 1999). This can be conceived like priming effects in LTM: retrieving and recalling the first item of a list could provide a kind of boost to utter the remaining items of the list when items are linked to each other. In this case, recall latency for the first item should not differ with relatedness conditions, and only the following items would show a beneficial effect of relatedness. However, it is not what we observed in Experiment 1, in which relatedness weakly impacted the first four positions. In Experiment 2, we observed the predicted pattern with

a relatedness effect occurring only in second and third positions, but not on the first position. Although this seems to be a divergence between our two experiments, it should be noted that there was evidence against the relatedness by serial position interaction in Experiment 1 and support for this interaction in Experiment 2 was weak. Hence, there might be another reason why relatedness impacts recall latency. One can envision that related items have stronger memory traces because they benefit from a semantic network in LTM (Ralph et al., 2017). Finally, congruently with Cowan et al. (2003), children took more time before recalling the first word in a list than adults in Experiment 1. We interpreted this effect as evidence of longer recapitulation time in children. Participants tend to recapitulate the word list before uttering the words. Children need then more time to build the list due to the time to retrieve each word, the larger size of the search set among which words have to be retrieved, or the difficulty in organizing their utterance. Indeed, Cowan and collaborators (1994, 1998) proposed that recall times provides an index of memory search. To prepare a response, a participant has to scan through all the stored items like in a Sternberg (1966) task in which individuals determine whether an item was previously presented, children being slower to do so. It can also be envisioned that children have larger set of candidates among which they have to search for the words to recall (Rohrer & Wixted, 1994; Unsworth, 2009, for studies in adults). Alternatively, Jarrold et al. (2000) proposed that these times reflect speech planning processes needed to utter the word list. However, this effect was not replicated in Experiment 2 and more importantly, recall latencies in both experiments were longer in children than in adults for subsequent positions. Although further studies are needed to examine what trigger these age-related differences, a simple explanation in terms of processing speed differences could account for this finding and was often mentioned as a source of WM development (e.g., Camos & Barrouillet, 2018; Gaillard et al., 2011).

In addition to recall performance and latency, we analyzed recall error. Despite the fact that participants mostly omitted items when recalling lists of words, the impact of the relatedness on errors enlightens the mechanisms that sustain maintenance of verbal information at short term, and especially the role played by LTM. Indeed, participants produced less omissions when they had to recall related than unrelated words. This suggests that relatedness has a protective effect against forgetting. Related words may have stronger memory traces that better resist from representation-based interference and temporal decay.

Relatedness also descriptively reduced the number of intrusions, that is the production of words from a previously presented list. When participants retrieved a word presented in previous trials, this word could be more easily rejected as a candidate for recall for lists of related words because these words share a common gist that differ from the gist of the other word lists. For example, it would be easier to reject the word “*car*” when the just-studied list is *Rabbit, Ear, Carrot* in the related condition than after the list *Rabbit, Line, Sport* in the unrelated condition). On the contrary, relatedness did not moderate the production of phonological errors, which can be expected as it would depend on the phonological similarity between the memory words. However, we expected that semantic errors would be enhanced by the presentation of related words, because the activation of a common gist would automatically activate other related words, as observed in the emergence of false memory in LTM (Reyna & Brainerd, 1995). This was not the case, but the rate of intrusions, phonological and semantic errors was so low that *further* studies should be dedicated to examine how false memory could emerged in short-term recall tasks, and what is triggering the production of errors.

Finally, it should be noted that the increase in concurrent attentional demand resulted on more omissions. This was particularly expected by the time-based resource sharing model because the number of items maintained in the episodic buffer is a direct function of the attentional demand of the concurrent task, that is the amount of time during which attention is available for refreshing activity (Barrouillet & Camos, 2015). Increasing the attentional demand of the concurrent task directly reduces the availability of attention for maintenance, resulting in a smaller number of maintained items.

5. Conclusion

The relationships between LTM and WM has been and still is source of intense theoretical debates in the literature. Although it is well known that knowledge stored in semantic LTM improves recall performance from WM, the exact pathway of such an effect remains under investigation. Within this line of research, the present study proposed to examine the moderator role of attention on the effects that semantic LTM had on WM functioning. In the past five years, an interest on this specific question emerged to highlight the functioning of one particular WM maintenance, attentional refreshing. This leads to a rather divergent pattern of findings on how attention may or not moderate LTM effects in WM.

In the present study, we have been able to replicate the beneficial effect of associative relatedness between memory items and the availability of attention for maintenance on WM performance. However, the vast majority of our pieces of evidence tends to support an independent impact of these two factors on WM functioning. This finding is in line with previous studies (Camos et al., 2019; Campoy, et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018), and brings some support to a class of WM models in which attention is used

to sequentially reactivate memory traces stored in a central component of WM (Baddeley et al., 2021; Barrouillet et al., 2004; Cowan, 1995; Oberauer, 2002). Moreover, from an age-related perspective, the present study showed that children exhibited rather similar pattern of findings than adults, besides expected poorer performance. This could evidence that children's use of LTM knowledge to support WM did not qualitatively differ from adults, contrary to what was reported in other types of tasks. Finally, we believe that examining recall latency and error helped uncovering the role played by LTM in WM, and could be more frequently examined when studying WM.

Résumé et implications du Chapitre 5

Le but des deux expériences présentées au Chapitre 5 était d'observer si l'attention modulait la contribution des effets de LTM en WM. Nous avons manipulé les opportunités de rafraichissement attentionnel en impliquant deux niveaux de demande attentionnelle au sein d'une tâche d'empan complexe. Les enfants utilisant le rafraichissement de manière moins efficace que les adultes, la comparaison entre ces deux groupes d'âges servait le même objectif. Parallèlement, le maintien de listes de mots sémantiquement reliés ou non-reliés variait la présence d'effet de LTM dans la tâche. Nos résultats répliquent les effets principaux connus des trois variables de rafraichissement attentionnel, de similarité sémantique et d'âge ; ainsi que l'absence d'interaction entre les deux premiers facteurs tant sur les performances que sur les temps de rappels.

Cette absence d'interaction est conforme à la vision du rafraichissement attentionnel selon le modèle à processus emboîtés (Vergauwe & Cowan, 2015) et privilégiée par plusieurs autres champs théoriques suggérant l'action du rafraichissement comme un balayage du contenu de la WM et réactivant alors les traces stockées. Nos analyses des temps de rappels confirment cette conclusion. De plus, les enfants présentent des patterns de résultats comparables à ceux des adultes, démontrant leurs capacités d'utilisation des connaissances de LTM pour soutenir leur WM. Ces différentes observations démontrent l'effet indépendant des manipulations propres à la WM et celles de la LTM sur le fonctionnement de la WM et apportent un soutien certain aux modèles théoriques dans lesquels l'attention est utilisée pour la réactivation des traces contenues en WM.

Cependant, si cette étude démontre que les effets de LTM n'interviennent pas en WM au travers des processus de maintien, ces effets favorisent tout de même les performances en WM d'une manière ou d'une autre. Les hypothèses les plus probables sont que la LTM favorise les performances soit en améliorant l'encodage des informations, soit en améliorant le rappel au travers d'un processus de reconstruction des traces dégradées. Pour l'étude suivante, nous avons suivi cette dernière hypothèse en appliquant un modèle permettant d'observer les effets de nos facteurs et leur potentielle interaction sur les processus de reconstruction et d'accès direct durant le rappel des traces en WM.

Chapitre 6. Recollective and non-recollective processes in working memory retrieval

Titre en français : Processus de recollection et de reconstruction (non-recollection) dans la récupération en mémoire de travail

Cette étude a été soutenue par le Fond National Suisse de la Recherche accordé à Valérie Camos (grant n°100019_175960) et à Pierre Barrouillet (grant n°IZK0Z1_160676/1) et a reçu l'approbation du comité d'examen institutionnel de l'éthique de la recherche de l'Université de Fribourg. Les listes de mots et de données sont disponibles sur <https://osf.io/v4z2c/>.⁷

⁷ Merci à Carlos Gomez, Pierre Barrouillet et Charles Brainerd pour la collecte des données de l'Expérience 1, Stéphanie Mariz Elsig pour son aide dans la collecte de données et le dépouillement des résultats des Expériences 2, 3 et 4, ainsi qu'à Marlène Abadie et Valérie Camos pour leur implication générale tout au long de cette étude.

Résumé

Cette étude avait pour but d'investiguer la nature des processus impliqués dans la récupération en mémoire de travail (WM) en fonction de la disponibilité du rafraichissement attentionnel et des connaissances de mémoire à long-terme (LTM). Dans cet objectif, la théorie trichotomique du rappel (*Trichotomous theory of recall*, Brainerd et al., 2009) a été appliquée aux performances de rappel de jeunes adultes au terme de tâches d'empans complexes en trois essais d'études et de rappels successifs. Quatre expériences manipulaient la disponibilité du rafraichissement attentionnel pour maintenir différents items en variant le coût cognitif de la tâche concurrente, l'implication des connaissances de LTM et les modalités de présentation des essais successifs afin d'en observer les effets sur les processus de rappel. Le modèle distinguant le processus de recollection en rappel (i.e., accès direct) du de non-recollection (i.e., reconstruction) a montré (1) une prédominance importante du processus d'accès direct par rapport à la reconstruction des traces en mémoire, (2) que la disponibilité attentionnelle n'affectaient que les capacités d'encodage, mais jamais la reconstruction ; étant donné qu'une forte demande cognitive concurrente (vs., plus basse) augmentait la proportion d'items non-appris et reconstruits mais non rappelés, mais n'affectait jamais la proportion d'items en accès direct ou reconstruits et rappelés correctement. Finalement (3), nos résultats montraient que les connaissances à long-terme (i.e., l'association sémantique) augmentaient l'accès direct aux traces, mais pas leur reconstruction. Ceci suggère que l'accès direct soutient fortement le rappel à court-terme, mais quand l'utilisation de la reconstruction est encouragée par la présence de connaissances à long-terme dans la tâche ou pas une procédure imposant le ré-encodage des items à chaque nouvel essai.

Abstract

This study aimed at investigating the nature of the processes involved in working memory (WM) retrieval as a function of the availability of attentional refreshing and of long-term memory (LTM) knowledge. For this purpose, the trichotomous theory of recall (Brainerd, Reyna, & Howe, 2009) was applied to recall performance of young adults in complex span task in three successive study-test trials. Four experiments manipulated the availability of attentional refreshing to maintain memoranda by varying the cognitive load of the concurrent task, the implication of LTM knowledge and the way of presentation of the three successive trials to observe the impact on retrieval processes. The two-stage model distinguishing recollective (direct access) and non-recollective (reconstruction) recall (1) revealed a strong predominance of direct access over reconstruction of memory traces, (2) that attentional availability variation only affected encoding capacities, but never reconstruction, as higher cognitive load variation (vs., lower) increased the rate of unlearned and reconstructed-but-not-recalled items but never affected the proportion of recollected and reconstructed-and-recalled items. Finally (3), our results showed that LTM knowledge (i.e., associative relatedness) enhanced the recollective process, but not non-recollective processes. This suggests that recollection strongly underpins short-term recall, even when the use of the reconstruction process is encouraged by the presence of long-term knowledge in the task or by a procedure which imposes the re-encoding of items on each new trial.

1. Introduction

Memory is one of the most important components of human cognition. Over the years, it has been analyzed and divided into several elements, each one having their own properties. Among these components, long-term memory (LTM), which allows the maintenance of information over long periods, is frequently the best known by a large audience, but working memory (WM) also plays a decisive role. WM is essential to the proper functioning of human cognition as it allows the maintenance and manipulation of information in a given period of time (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974). Nonetheless, this on-line processing requiring a rapid access to relevant information, it has accordingly been suggested that retrieval is one of the basic function that WM fulfils (Unsworth & Engle, 2007a). The aim of this study was then to investigate the nature of the processes governing retrieval from WM, as function of attentional availability and the nature of representations involved in the tasks.

1.1 Retrieval from LTM

Several models assume that WM consists of LTM items activated above threshold, the accessibility of which depends on their level of activation (Anderson, 1993; Anderson et al., 1996; Cowan, 1999a, 2016; Oberauer, 2002). For example, Cowan (1999a) embedded-processes model argued that, because memory items will not stay activated long, retrieval must race against forgetting. Accordingly, several theoretical models assume a hierarchical organization of WM in which only three or four highly activated elements held in a focus of attention (Cowan, 2016) or a region of direct access (Oberauer, 2002) are highly activated and directly accessible. If the activated memory representations have disappeared, their retrieval remains nonetheless possible if sufficient episodic memory traces have been stored. Indeed, the central attentional region

such as described by Cowan (1999a) and Oberauer (2002) is surrounded by an activated LTM area containing less activated items that can nonetheless be retrieved, but only indirectly through associations with items in the more central regions. Therefore, several theories converge toward the idea that WM performance also depends on items that are less directly accessible, but still retrievable. This conception is best exemplified by Unsworth and Engle (2007a) who suggest that WM limitations arise from two components. One is a dynamic attention component able to actively maintain a maximum of about four items in a primary memory akin to the focus of attention or the region of direct access evoked above (Unsworth et al., 2010). However, when more than four items are present in complex task, items currently within primary memory are displaced into secondary memory from which they must be recalled through a cue-dependent search process.

The same process occurs in complex span tasks situations such as the reading span (Daneman & Carpenter, 1980) or operation span tasks (Turner & Engle, 1989) in which the secondary task of reading sentences or solving equations occupies primary memory, thus displacing items to secondary memory. According to Unsworth and Engle (2007a), whereas traces in primary memory are directly accessible, retrieval from secondary memory requires a complex process involving the generation of a search set from some retrieval cue plus a discrimination process to differentiate between relevant from irrelevant items that can enter this search set through spreading activation or proactive interference. Thus, retrieval from WM goes beyond direct access of items in a heightened state of activation to involve more complex search processes among relevant and irrelevant items. However, more factors external to the WM may contribute to the improvement or deterioration of the recall. This is particularly the case of LTM knowledge.

1.1.1. How can LTM influence WM performance?

Studies showing the beneficial impact of LTM knowledge on recall performance are numerous (see Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a). Our interest was primarily in associative relatedness effect. This effect arises when presenting a material of words to remember composed of associatively related words. Many words are considered associatively related when they have a high probability of language association with each other (Thompson-Schill et al., 1998). LTM factors allow then a redintegration process, which facilitates the repair of degraded memory traces prior to recall (Hulme et al., 1999) by reconstructing items thanks to their lexical representation. This effect is strong and therefore easily replicable because of its high stability. A certain advantage also lies in its resistance to articulatory suppression (Shivde & Anderson, 2011). Therefore, LTM knowledge associated with related words would significantly increase the recall of these traces during WM tasks. However, if this fact is proven and has been demonstrated through numerous studies, the nature of the retrieval processes involved when recalling such LTM knowledge associated items is not clear. However, recollective and non-recollective retrieval paradigm allow us to examine this question.

1.2. Recollective and non-recollective retrieval

As research progressed, it became clear that there are two distinct processes involved in learning items to be remembered for recall: Recollective and nonrecollective retrieval. This distinction was first introduced and studied within the old/new item recognition paradigm (Mandler, 1980) through procedures like Remember / Know paradigm (Tulving, 1985b), Confidence Judgment model (Yonelinas, 1994) or the Process Dissociation Procedure (PDP; Jacoby, 1991, 1998). However, the dual-process retrieval

approach has been recently extended to recall, which would rely on two dissociated retrieval operations, direct access, and reconstruction (Barnhardt et al., 2006; Brainerd, Payne, et al., 2003; Brainerd, Wright, et al., 2002; Reyna & Mills, 2007). In the vision of such dual-traces design, the two types of encoded traces correspond to two different episodic traces. Recollective traces correspond to an episodic encoding of the precise and fast trace of an item, a direct access which retrieves verbatim traces of individual items from a study list (Barnhardt et al., 2006). It proceeds by reinstating the surface form of the item that can be recalled by “merely reading out this surface information that echoes in the mind’s ear or flashes in the mind’s eye” (Brainerd et al., 2009, p. 786) This direct access, which typifies one of the components of WM hypothesized by Oberauer (2002), is clearly the process by which information is retrieved from primary memory in Unsworth and Engle’s (2007a, 2007b) model or the focus of attention in Cowan’s (2005) model.

By contrast, nonrecollective traces rather correspond to an episodic encoding of the semantic characteristics of the item. While the recall of items is crystal clear in the case of recollective traces, nonrecollective traces regenerates targets from partial-identifying information, and especially from their meaning content captured in gist traces (Brainerd et al., 2009). However, this partial-identifying information does not point to a unique target but generates a set of candidates (e.g., remembering that some fruit was presented might recover candidates such as *orange*, *banana*, *apple*, and *lemon*, when only *lemon* was studied). Thus, reconstruction is followed by a judgment step. It is assumed that reconstructed items generate familiarity signals, a given item being output if the strength of its familiarity signal exceeds some decision criterion. This reconstruction process clearly corresponds to the cue-dependent search process that retrieves memory traces from secondary memory in Unsworth and Engle’s (2007a) model. Thus, although it could

have been imagined at first glance that retrieval from WM would mainly rely on direct access and recollective processes, non-recollective processes could be more prevalent than expected. Indeed, if the concurrent processing involved in complex span tasks occupies primary memory and displaces its content into secondary memory from which memory items have to be retrieved, as Unsworth et al. (2010) assume, retrieval in WM span tasks should frequently rely on reconstructive and non-recollective processes. Previous studies observed that recollection has a prominent role on WM retrieval, but remain limited by their reliance on recognition (Hedden & Park, 2003; Oberauer, 2005) or free recall paradigms (Unsworth & Brewer, 2009; Unsworth & Engle, 2007b). Therefore, although retrieval is one of the main functions of WM, the processes involved in this key mechanism remain largely unexplored. As these processes raised the origins of Markov modelling, it is possible to estimate the recall parameters by determining the probability of recollective or non-recollective retrieval, without any need to collect metacognitive judgments.

1.2.1 The trichotomous theory of recall: How to quantify recollective and non-recollective process

According to Brainerd et al. (2009), it is possible to interpret the retrieval in different parameters in a study (S_i) test (T_i) cycle paradigm S_1T_1, S_2T_2, S_iT_i . At the beginning of any paradigm, each item is in a no-recall U state, where it is estimated that its probability of being correctly recalled before the first study phase S_1 is $p = 0$. After S_1 , the learned items transit from U -state to two possible new states: a partial recall state P in which the probability of a correct retrieval is $0 < p < 1$, or in the perfect recall-state L in which the probability of correct retrieval is $p = 1$. This L state can be accessed directly from U at T_1 , but also at subsequent test T_i from state P , as L and P are communicating.

The model we used, the trichotomous theory of recall, works like a two-stage absorbing Markov chain, once an item has escaped U , which corresponds to a total lack of knowledge of the item, it cannot fall back to this state in further trials. Conversely, L is an absorbing state, such as once an item enters L , it cannot fall back to previous states and its recall is perfect for all the following trials.

In the trichotomous theory of recall, which reproduces these different retrieval states presented above, Brainerd et al. (2009) argued that the state P corresponds to nonrecollective traces and L to recollective, highlighting the two distinct types of retrieval. The state L corresponds to the recollective process, which quickly and properly finds the verbatim trace of a given item (Brainerd et al. 2006), while the nonrecollective process (P state) must reconstruct the trace by gathering partial-identifying information known about it to have a chance of retrieval. This information comes mainly from the gist, the fuzzy information that is related to the item (Brainerd et al., 2009). Thus, faced with a set of items candidates for recall generated by the reconstruction process, comes a judgment of familiarity step to which each item must submit. If one of them generates a sufficient familiarity signal to exceed the personal decision criterion, it can be recalled. The item thus reconstructed can then be correct or false, and thus be categorized as being respectively in a P_E or P_C state.

The trichotomous theory of recall model mathematically quantifies the mechanisms that allow retrieval in WM tasks (Brainerd et al., 2009) and estimates the probability of an item to be in one of these particular memory states at the first recall test and at the next ones, with the probability that items may transit from one state to another in successive trials. The model is included in a three-state Markov Chain that starts from a

starting vector W , which defines parameters corresponding to the probabilities that an item i could be in each of the possible states (U , P_E , P_C or L). These probabilities can be generated on several consecutive trials through an interstate transition matrix M nested in W (Brainerd & Reyna, 2010). This model defines seven parameters that allow estimating the contribution of recollective and non-recollective retrieval processes in a WM task. The first two parameters are the D parameters that define the probability that an item will be accessed directly. We speak of D_1 to define the probability of a correct recall in case of recall in T_1 , and D_2 for the following tests T_i . The next two parameters concern items that must go through a reconstruction process, with R_1 and R_2 defining the probability for the item to enter a P state, respectively after T_1 test and for those that follow. Finally, it is possible to evaluate the probability that an item entered in state P can be correctly reconstructed (P_C) or not (P_E), once again respectively after the first test T_1 and for the following ones. This evaluation is made through a judgment of familiarity process (J_1 , J_2 and J_3 parameters).

1.3. The present study

The trichotomous theory provides the machinery needed to assess the respective role of direct access and reconstruction in WM tasks. For this purpose, the model was applied in the present study to a complex span task in which participants studied series of six words for further serial recall, each word being followed by a concurrent task consisting of reading aloud a series of digits appearing successively on screen. To obtain estimations of the parameters of the model, each series of words was presented for three successive study-test cycles in a design of the form S_1T_1 , S_2T_2 , S_3T_3 . This study being a first attempt to apply the trichotomous model to the complex span task paradigm, its main aim was to assess the relative contribution of recollective and non-recollective retrieval

processes in WM. However, we also investigated the impact on these processes of a factor known to have a strong impact on WM performance, namely the cognitive load (*CL*) of the secondary task and, later, the nature of LTM representations. Within the Time-based Resource-Sharing (TBRS) model, *CL* is conceived as the proportion of time during which the secondary task occupies attention, thus preventing the refreshing of decaying memory traces (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). Several studies demonstrated that increased *CL* results in poorer recall performance (Barrouillet & Camos, 2012, for reviews; 2015). The question was then to determine what kind of retrieval (i.e., recollective or non-recollective) is more affected by *CL* variations that were introduced in our study by presenting either three or six digits to be read in a 4000ms interword interval for low and high *CL*, respectively. Concurrent *CL* should mainly affect the recollective processes underpinning direct retrieval. Indeed, if refreshing memory items consists of reinstating their verbatim traces, preventing refreshing should hinder the retrieval process based on verbatim traces (i.e., direct access), while leaving gist representations and non-recollective processes largely unaffected (Cowan, 1999). Alternatively, if the primary-secondary framework (PSM; Unsworth & Engle, 2007a) is correct in assuming that complex span tasks involve retrieval from secondary memory, higher *CL* resulting in more frequent displacement of memory items in secondary memory should be associated with a more frequent recourse to non-recollective recall through reconstruction. In terms of short-term recall performance, we expected to observe the classic WM effects in which *CL* effect already demonstrated by several studies (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Barrouillet et al., 2007; Barrouillet & Camos, 2014) with better recall performance in the low *CL* condition, a learning effect from trial to trial as words are studied in three successive trials; and the presence of primacy and recency effects over serial recall positions (Craik & Levy, 1976)

Four experiments were conducted in which we included these *CL* variations, and, in the last three of them, we also investigated the effect of LTM knowledge accessibility by manipulating the associative relatedness between the presented words (related vs. unrelated) on both retrieval processes. Previous studies with delayed recall of long lists of words (e.g., Brainerd, Wright, et al., 2002) showed that associatively related word-lists increased reconstruction, relative to unrelated word-lists. This effect comes from the greater accessibility to related words due to their proximity in a same semantic network. The recollection of a single word activated thus automatically the other ones which are therefore more easily accessible. Unrelated words lack this semantic network. We expected that associatively related word lists compared to unrelated ones would also increase reconstruction in immediate recall performance. Since LTM knowledge is known to increase recall performance in WM, we also expected to find an associative relatedness effect with related words better recalled than unrelated (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011; Saint-Aubin et al., 2005).

In the first experiment, participants studied lists of unrelated words and the *CL* of the secondary task was varied. In the second experiment, lists of related vs unrelated words were presented in the same task. In the third experiment, we changed the classic cycle paradigm $12 \times (S_1T_1, S_2T_2, S_3T_3)$ in a new $12 \times S_1T_1, 12 \times S_2T_2, 12 \times S_3T_3$ cycle, that is to say that instead of carrying out the three S_1T_1, S_2T_2, S_3T_3 cycle phases successively on the same group of words, the participants first studied the first S_1T_1 cycle on the twelve presented groups of words before moving on to the second S_2T_2 cycle and lastly to the S_3T_3 one. The aim of this experiment was to examine the impact of a different encoding strategy of the same material. Finally, in the fourth and last experiments the order of presentation of the words to be recalled at each new S_iT_i cycle was also disturbed. In addition, a delayed long-term recall test was introduced in the last three experiments.

Previous studies showed that associative relatedness facilitates the retrieval of information from LTM and their encoding in WM but does not impact WM maintenance (e.g., Rosselet-Jordan et al., 2022). Both the CL and associative relatedness effects would then affect immediate recall performance, but not interact (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004; Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018, see also Chapter 5). *CL* and associative relatedness effects should also be observable on correct recall in delayed test, as attentional refreshing, when available, helps to create links between memoranda (Camos & Portrat, 2015) and relatedness being a strong effect (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a). However, the fact that word list was learned in three successive trials could lead to a such good learning that it may decrease these effects in delayed recalls.

The third and fourth experiments modified the way of presentation of the three successive trials and of word presentation at each trial to observe the effects of these new encoding processes compared to the first two studies, each time so that the participants were increasingly urged to resort to reconstruction process rather than direct access.

2. Experiment 1

We applied the trichotomous theory of recall to a complex span task in which participants studied 6 words, each one followed by a concurrent reading digits task before serial recall in three successive study-test cycles cycle paradigm S_1T_1, S_2T_2, S_3T_3 . This first experiment assessed then the application of the trichotomous model to WM tasks and the impact relative to the *CL* variations on retrieval processes.

2.1. Method

2.1.1. Participants

Twenty-five undergraduate students (19 females; mean age = 21.9 years; $SD = 4.1$) at the University of Geneva received a partial course credit or CHF 20 for participating.

2.1.2. Material

We selected from the database Lexique3 (New et al., 2001) 144 monosyllabic French nouns with homogeneous frequencies of language apparition ($M = 8.57$, $SD = 3.20$) from which were created 24 series of six words. We verified in a pretest that none of these words was unknown to undergraduate students. Half of the participants studied the words of 12 of these 24 series, whereas the other half studied the other 12 series. For each participant, half of the series were presented in the low *CL* condition and the other half in the high *CL* condition, the attribution of the series to the experimental conditions being counterbalanced across participants. The 12 series were presented in random order, participants being informed of the level of *CL* of the forthcoming series. The concurrent reading task presented a total of 18 vs. 36 random digits (from 1 to 9) per trial.

2.1.3. Procedure

Each series was presented in three successive study-test cycles for a total of 36 trials per participants. Each trial began by the presentation for 1500ms of the words “Rapide” or “Lent” (slow and fast in French), informing participants of the rate of presentation of the digits after each word for the high and low *CL* conditions, respectively. After a delay of 100ms, the first word was displayed on screen for 800ms followed by a blank screen of 200ms and the 4000ms interword interval. This interval was filled by either three

(1183ms on – 150ms off) or six digits (516ms on – 150ms off) for the low and high CL conditions, respectively. After the 4000ms interval, the second word appeared for 800ms, followed after 200ms by a next 4000ms interword interval until the presentation of the 6 words of the series. Participants were asked to read aloud the words and the digits in order to hinder articulatory rehearsal (Camos et al., 2009) and favor attentional refreshing use (Camos et al., 2011); and to remember the words for further recall. At the end of the series, an “?” was displayed on screen to prompted recall phase. Participants were instructed to orally recall the words in correct order, saying “Je ne sais pas” (I don’t know) for any word forgotten. The experimenter took note of potential errors or missing on this reading digit task. Before the experimental session, participants were familiarized with the task by performing two series in each *CL* condition, each of these series being repeated in three successive trials. Figure 15 illustrates procedure for slow and high pace conditions.

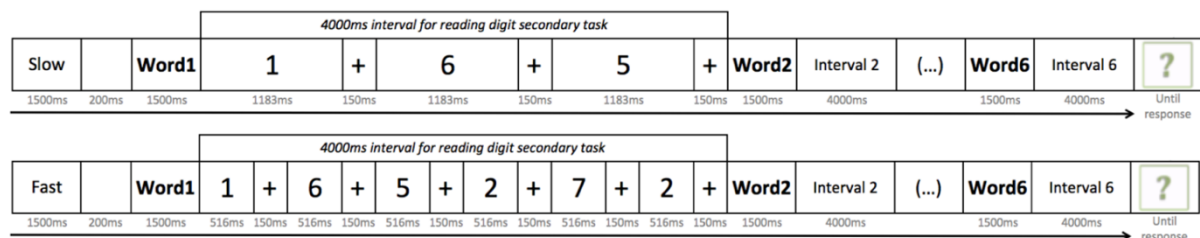


Figure 15. Illustration of a trial with slow pace (upper part) and fast pace (downer part). Each trial began by an indication of the task’s pace. Participants read aloud all word and digits until the appearance of a question mark which marked the start of oral serial recall.

2.2. Results

All recall analyses were performed with JASP version 0.11.1 (Love et al., 2019). A 2 (*CL* conditions: high vs. low) x 3 (trials) x 6 (serial positions) Bayesian repeated measures ANOVA was run on the rate of words recalled in correct position. The preferred model

included the main effects of CL, trial and serial position, and the interaction between trial and serial position, $BF_{10} = 4.13 \times 10^{199}$. Mean and SD for each dependent variable are available on Table 8 and Table 9 displays the $BF_{inclusion}$ values. Not surprisingly, there was a strong effect of repetition among trials, rate of correct recall increasing from trial one to trial three, with a stronger increase in the high than in the low CL condition, an interaction probably due to a ceiling effect in the low CL condition. Recall performance was also lower for high than low CL ($M = 67.9, SD = 20.0$ and $M = 74.5, SD = 17.6$, respectively), replicating the CL effect previously observed in several studies. It is worth to note that despite the interaction with trials, the CL effect was still significant in the last trial. There was also a strong effect of serial position, which did not significantly interact with CL, but with trials, the effect of serial position progressively vanishing as recall performance became nearly perfect with repetitions. Overall, the effects of serial position and CL were conformed to what is usually observed in complex span task

2.2.1 Trichotomous analysis

More interesting for our purpose were the results of computational modeling. Trichotomous analyses were all performed with multiTree v046 (see Moshagen, 2010), which assess the fit of the chosen model to the data. This mathematical model, which is shown in Equation 2, consists of a starting vector (W) and an interstate transition matrix (M). The parameters of W are the probabilities of an item being in state L , P , or U on the first recall test, whereas the parameters of M are the probabilities that an item transitions from one state to another in subsequent trials. Among the different available versions of the trichotomous model, we chose to use the model called *Alternative error*, which assumes that a given item can only access the L state at any trial only after failure to recall, that is when the item was in state U or PE at the previous trial, hence the *error* appellation.

In all our experiments, the *Alternative Error* model provided the best fit for serial recall data and was consequently chosen for sake of comparison (detailed in Chapter 2, part 3.2, and Appendix B). The parameters estimate reached a high reliability $G^2 = 3.07$ for all parameters. Parameters D reflecting the access to the L state and direct recollective recall, whereas parameters R and J reflected the state P for reconstruction and judgment of familiarity, with a distinction between all parameters in first trial (i_1) and parameters in subsequent ones (i_1).

As shown in Table 10, the proportion of reconstructed items was lower in both first and subsequent trials and in both CL conditions than recollected items, the rate of reconstructed items (correctly recalled or not) almost disappearing in subsequent trials. Moreover, parameter D_2 was systematically higher than D_1 , indicating that, in both conditions, the probability for a given item to reach the level of learning allowing its direct access (i.e., L) was lower in the first than in the subsequent trials. We also observed an effect of CL in more recollection in parameters D_1 for low than high CL , indicating the former observed better recall in the low CL condition resulted from a greater direct accessibility of the memory traces.

We observed a marginal effect of CL on R_1 , suggesting that more reconstructions were potentially made in the low CL condition. This marginal effect had to be clarified in following experiment. A CL effect was observed on J_2 , where more familiarity judgments were made on the high CL condition than on the low. This result can be interpreted as the repercussion of the opposite effect observed in D_1 : Anything that never have been recollected and reached the L state was then stuck up the states P or U , therefore with some failed judgments of familiarity. We observed no significant effect of CL on D_2 , R_2 , J_1 and J_3 .

Table 8. Descriptive statistics of all dependent variables (DVs) in Experiments 1, 2, 3 and 4 as a function of cognitive load (CL) of the secondary task (low vs. high), associative relatedness between memory words (related vs. unrelated) and trials (1st, 2nd and 3rd).

DVs	Low CL			High CL		
	Related		Unrelated	Related		Unrelated
	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial	1 st trial / 2 nd trial / 3 rd trial
<i>Experiment 1</i>						
Recall						
Serial recall		47.8 (23.5) / 80.6 (19.1) / 95.1 (8.47)			37.3 (24.7) / 76.8 (21.7) / 89.7 (13.6)	
<i>Experiment 2</i>						
Recall						
Serial recall	66.0 (17.5) / 84.7 (13.8) / 95.3 (5.66)	46.9 (15.0) / 67.0 (18.8) / 79.7 (15.9)		59.0 (13.6) / 79.2 (15.1) / 93.4 (5.99)	39.7 (18.1) / 60.7 (20.2) / 74.1 (21.6)	
LTM						
Short delayed	78.7 (17.9)	63.4 (25.0)		81.1 (20.2)	66.1 (25.2)	
<i>Experiment 3</i>						
Recall						
Serial recall	66.0 (17.49) / 84.7 (13.8) / 95.3 (5.66)	46.9 (15.0) / 67.0 (18.8) / 79.7 (15.9)		59.0 (13.6) / 79.2 (15.1) / 93.4 (5.99)	39.7 (18.1) / 60.7 (20.2) / 74.1 (21.6)	
Free recall	86.5 (8.59) / 95.7 (4.74) / 99.5 (1.48)	64.2 (13.1) / 82.6 (11.2) / 89.0 (9.38)		83.5 (8.28) / 94.7 (5.76) / 98.1 (2.54)	59.4 (12.4) / 77.0 (13.4) / 83.5 (12.4)	
LTM						
Short delayed	82.3 (13.6)	57.8 (23.78)		85.1 (12.7)	56.0 (22.0)	
Long delayed	65.2 (22.2)	29.9 (18.1)		59.9 (20.5)	29.6 (20.0)	
<i>Experiment 4</i>						
Recall						
Serial recall	59.3 (13.8) / 86.2 (7.51) / 94.4 (6.86)	50.3 (22.7) / 85.1 (15.1) / 95.7 (6.15)		58.2 (14.7) / 80.9 (12.9) / 93.2 (8.43)	44.8 (23.2) / 75.3 (23.1) / 92.4 (9.12)	
Free recall	83.0 (6.77) / 98.0 (2.82) / 99.5 (1.05)	66.2 (15.4) / 93.2 (7.71) / 98.6 (3.15)		80.1 (9.19) / 96.0 (5.19) / 99.3 (1.40)	60.9 (14.9) / 89.5 (10.4) / 97.1 (4.22)	
LTM						
Short delayed	32.0 (9.22)	18.6 (6.85)		31.5 (10.2)	17.3 (8.27)	
Long delayed	20.0 (11.6)	7.45 (5.44)		21.9 (9.25)	7.04 (6.24)	

Note. Performances are described in percentage and standard deviations are in brackets.

Table 9. $BF_{inclusion}$ of all variables of interest for recall performance (percentage of recall in immediate and delayed recall) in all experiments.

Effects	Exp 1	Exp2	Exp3	Exp4 (serial)	Exp4 (free)
<i>CL</i>	2.61×10^6	263478	5.01×10^{10}	3.27×10^7	593128
Relatedness	-	1.73	3038	.10	1.11×10^{30}
<i>CL</i> × Relatedness	-	.67	.08	.22	.68
Trial	2.25×10^{177}	$+\infty$	1.70×10^{217}	3.02×10^{14}	3.87×10^{36}
Trial × <i>CL</i>	.57	.27	.19	.18	.015
Trial × Relatedness	-	1.07×10^{11}	.19	99.9	990
Trial × <i>CL</i> × Relatedness	-	.02	.06	.39	.02
Serial position	3.64×10^{38}	7.58×10^{128}	1.38×10^{163}	6.98×10^{89}	1.88×10^6
Serial position × <i>CL</i>	.007	.01	.01	.02	.002
Serial position × Relatedness	-	.01	872	6.84×10^{-4}	.01
Serial position × Trial	1.62×10^7	5.94×10^{44}	1.80×10^{27}	2.52	.002
Serial position × <i>CL</i> × Relatedness	-	.01	.09	.003	.003
Serial position × <i>CL</i> × Trial	.008	5.75×10^{-4}	.02	.004	$.760 \times 10^{-4}$
Serial position × Relatedness × Trial	-	.01	.10	.003	.09
Serial position × <i>CL</i> × Relatedness × Trial	-	.002	.03	.049	.04
Short differed LTM - <i>CL</i>	-	.21	.20		.23
Short differed LTM - Relatedness	-	9.25×10^6	111460		689.9
Short differed LTM - <i>CL</i> × Relatedness	-	.20	.43		.26
Long differed LTM - <i>CL</i>	-	.23	.34		-
Long differed LTM - Relatedness	-	3.55×10^6	2.55×10^6		-
Long differed LTM - <i>CL</i> × Relatedness	-	.35	.43		-

Table 10. Response tracking pattern in percentage among the three successive trials in the low and high load cognitive load (CL) conditions as a function of associative relatedness between memory words for all experiments, with E for Errors in recall and C for Correct recall in right part of table. In left part of table, parameter estimates generated by the Alternative model.

		<i>EEE</i>	<i>EEC</i>	<i>ECE</i>	<i>ECC</i>	<i>CEE</i>	<i>CEC</i>	<i>CCE</i>	<i>CCC</i>	<i>D₁</i>	<i>D₂</i>	<i>R₁</i>	<i>R₂</i>	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>Experiment 1</i>																
Low CL		4	13	1	35	0	2	0	45	.45 (.02)	.65 (.04)	.74 (.47)	0 (1.57)	.07 (.04)	.11 (.14)	.56 (.48)
High CL		8	14	2	39	0	1	1	36	.34 (.04)	.52 (.16)	.23 (.21)	.22 (.27)	.23 (.26)	.70 (.29)	.77 (.30)
<i>Experiment 2</i>																
Low CL	Related	3	6	1	27	1	1	1	61	.61 (.02)	.71 (.02)	.32 (.10)	0 (const)	.19 (.05)	.11 (const)	0 (.27)
	Unrelated	5	11	1	33	0	1	0	49	.49 (.02)	.66 (.02)	.21 (.2.90)	.54 (3.19)	.07 (.46)	.12 (.09)	.08 (.20)
High CL	Related	4	8	1	24	0	3	0	58	.58 (.02)	.58 (.03)	.61 (.10)	0 (const)	.15 (.03)	.33 (const)	.58 (.09)
	Unrelated	8	14	1	32	0	2	0	42	.41 (.02)	.52 (.05)	.41 (.34)	.11 (.28)	.16 (.14)	.37 (.17)	.68 (.18)
<i>Experiment 3</i>																
Low CL	Related	2	8	2	22	1	4	1	60	.58 (.02)	.58 (.07)	.90 (.09)	0 (const)	.22 (.08)	.35 (const)	.55 (.07)
	Unrelated	12	13	3	25	2	6	3	35	.27 (.04)	.32 (.08)	.61 (.11)	.11 (.16)	.44 (.10)	.58 (.09)	.71 (.09)
High CL	Related	4	9	2	26	1	7	1	50	.50 (.02)	.59 (.03)	.91 (.11)	0 (const)	.28 (2.35)	.16 (const)	.71 (.09)
	Unrelated	18	16	5	22	1	5	2	32	.24 (.04)	.10 (.15)	.58 (.15)	.26 (.15)	.35 (.11)	.62 (.11)	.77 (.10)
<i>Experiment 4 (serial recall)</i>																
Low CL	Related	11	8	7	14	6	14	11	29	.07 (.10)	0 (.17)	.92 (.05)	0 (.34)	.62 (.06)	.63 (.07)	.67 (.09)
	Unrelated	13	9	8	18	6	11	8	27	.10 (.10)	.06 (.20)	.89 (.07)	0 (.29)	.53 (.06)	.62 (.09)	.66 (.12)
High CL	Related	13	12	10	16	8	8	11	22	.14 (.04)	.20 (.07)	.42 (.03)	.73 (.09)	.96 (const)	.53 (.06)	.41 (.09)
	Unrelated	15	17	9	15	6	10	7	20	.08 (.05)	0 (.12)	.68 (.31)	.58 (.24)	.55 (.24)	.55 (.08)	.63 (.09)
<i>Experiment 4 (free recall)</i>																
Low CL	Related	1	2	1	9	1	3	2	82	.81 (.02)	.69 (.07)	.97 (.20)	0 (const)	.35 (.08)	.37 (const)	.20 (.21)
	Unrelated	2	4	3	18	2	5	3	65	.64 (.02)	.67 (.06)	.64 (.20)	1 (0.001)	.42 (.08)	.31 (.08)	.05 (.30)
High CL	Related	1	3	2	10	1	3	3	77	.75 (.02)	.60 (.80)	.85 (.16)	0 (const)	.41 (.08)	.48 (const)	.35 (.18)
	Unrelated	3	7	3	20	3	7	5	52	.49 (.04)	.55 (.08)	.69 (.86)	.48 (1.3)	.50 (.60)	.46 (.10)	.35 (.23)

Note: Standard deviations are indicated in parenthesis. The indication “const” stand for “constant”, indicating that parameter was fixed to the based model value.

2.3. Discussion

These results revealed that the dual-process model of recall provides a very good fit of the data, confirming that these two distinct processes govern retrieval from WM. The trichotomous model indicates that most of the recalled items in WM span are retrieved through recollective, and not reconstructive, processes. The recall from WM is therefore governed by the two recovery processes, but it is the direct access which constitutes the most privileged process. This finding is in line with the widespread conception of WM as a buffer maintaining, in view of online processing, a small amount of information in a state of activation allowing its direct and fast access (Baddeley, 1986; Miller et al., 1960; Newell, 1990). Recollection is affected by *CL*, which is therefore a determining factor in accessing and maintaining information, as described in the TBRS model (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). The marginal effect of *CL* on reconstruction requires further evaluation. In addition, the low presence of reconstruction processes can be challenged by the introduction of item benefiting from LTM support.

3. Experiment 2

In this experiment, the same successive study-test cycles cycle paradigm S_1T_1 , S_2T_2 , S_3T_3 and *CL* manipulations were applied, but we manipulated the associative relatedness of the memory items to vary the implication of LTM. As Experiment 1 showed the predominance of recollective direct-access process, increasing the implication of LTM knowledge should increase reconstruction (Brainerd, Wright, et al., 2002). Moreover, this second experiment aimed at replicating the *CL* effect that reduced retrieval from recollective process and at clarifying the marginal observations made on Experiment 1.

3.1. Method

3.1.1. Participants

Sixty students enrolled at the University of Fribourg took part in Exp. 2 (51 females, mean age = 20.9 years, $SD = 1.97$). All participants were native French speakers and received course credits for participating. None of them took part of the pre-test of the material or in the previous experiment.

3.1.2. Material

Twenty-six series of 6 associatively related words were created thanks to De La Haye (2003) and Duscherer et al. (2009) French verbal association norms. The 12 best rated series were kept as experimental material according to the judgment of ten external judges. Afterwards, 12 unrelated series were also created by selecting 72 random words. As we wanted to only manipulate the relatedness as LTM factor, we were careful to create series with homogeneous frequencies of language apparition (by using the French linguistic database Lexique3 from New et al., 2001) between related ($M = 44.6$, $SD = 9.46$), and unrelated series ($M = 44.8$, $SD = 2.76$, $BF_{10} = .29$). Words were 1-to-3-syllables nouns (76%, 54% of which being male grammatical gender in French), and verbs (24%) and each series proposed between 0 to 2 verbs. The (non)associative relatedness strength of these 24 series of 6 words were finally pre-tested by 50 participants (39 females, mean age $M = 29.0$ years, $SD = 9.79$). Participants rated on a Likert scale from 1 (not related) to 7 (very related) and it resulted in a mean of $M = 6.80$, $SD = 0.49$ for related series and $M = 1.37$, $SD = 0.87$ for unrelated ones. Participant studied either the related words list (e.g., *bird, cage, feather, egg, beak, and wing*) or the unrelated one (e.g., *soul, cocktail, puppet, outlet, puzzle and week*, all in French in study). We also choose 64 arithmetic equations ($aa \times b$ types) to propose a 10min distraction task before a 10-minutes-differed recall.

3.1.3. Procedure

We used the software E-Prime 2.0 (Psychology Software Tools Inc. [E-Prime 2.0], 2012) to display the same complex span task as in Experiment 1 (Figure 15). Half of the studied related or unrelated series that were presented in the high *CL* condition, and the other half in the low *CL* condition. After completing the three successive Study-Recall trials of the twelve series of words, participants were asked to solve as many arithmetic equations as possible in 10 minutes. Afterwards, we instructed participants to recall the whole experimental word lists. This delayed recall lasted for at least 5 minutes, to ensure that participants really took enough time to search in memory. Moreover, we also asked for a 7 days-differed new long-term recall, made online through Qualtrics XM Platform software (Qualtrics, Provo, UT).

3.2. Results

Data diverging from more than 3SDs of the means of each condition per trials were replaced by the mean of this condition per trials (i.e., 15% of the data scored as serial recall and 7.8% of the free recall data). Mean and SD for each dependent variable are available on Table 8 and Table 9 shows the $BF_{inclusion}$ values for each main and interaction effects for the 60 participants on which the following analyses were carried out. No data nor participant were excluded due to bad performance in the concurrent task as it led to few errors ($M = .52\%$, $SD = .84$).

3.2.1. Recall performance

We conducted a Bayesian analysis with *CL*, trial and serial position (first to sixth) as within-subjects' factors and associative relatedness as between-subject factor on the

percentage of words recalled in the correct serial positions. The analysis exhibited several models with a BF_{10} of $+\infty$ when compared to the null model, so we chose the highest BF ($BF_M = 144$) as the best one. This best model included the four main effects of *CL*, trial, serial position, and relatedness, as well as the interactions between trial and serial position and trial and relatedness. Performances were still higher in low ($M = 78.9\%$, $SD = 19.0$) than in high *CL* ($M = 75.1\%$, $SD = 20.7$). Recall increased among trials ($M = 55.0\%$, $SD = 26.0$; $M = 83.2\%$, $SD = 20.0$ and $M = 92.8\%$, $SD = 13.6$ for first, second and third trials, respectively). As in Experiment 2, performance of recall decreased among serial position from the first to the fourth ($M = 92.6\%$, $SD = 11.8$; $M = 86.7\%$, $SD = 16.9$; $M = 76.7\%$, $SD = 21.0$ and $M = 70.3\%$, $SD = 22.5$, respectively) until reaching a stable level after the fourth serial position ($M = 66.7\%$, $SD = 23.0$ and $M = 69.0\%$, $SD = 23.7$ for the fifth and the sixth position, respectively). Recalls at each position were strictly different from each other, except the fourth vs. the fifth ($BF_{10} = .11$) and the fifth vs. the sixth serial positions ($BF_{10} = 1.31$). We also observed the effect of relatedness, related words ($M = 81.1\%$, $SD = 16.7$) being better recalled than unrelated ones ($M = 72.8\%$, $SD = 23.0$). Associative relatedness interacted with trials the same way as the previous analyses.

As mentioned previously, recall tended to decrease among serial positions, but also increased among trials. The interaction between trials and serial position shows that the decrement among serial position was incrementally less important as trials progressed (lowest Bayes factors indicated by a follow-up Bayesian paired t-tests were higher to $BF_{10} > 7.36 \times 10^{11}$ for the difference between the first and the second trials, $BF_{10} > 1.39 \times 10^{14}$ by comparing the first and the third and $BF_{10} > 124$ for the difference between the second and the third trials).

3.2.2. Short delayed recall performance

Participants were instructed to recall as much words as they remembered after completing for 10 minutes the arithmetic equations. They had no limit of time to complete the task. A Bayesian analysis with *CL* as within-subject factors and associative relatedness as between-subject factor on the percentage of words correctly recalled indicated that the single main effect of relatedness was the preferred model ($BF_{10} = 1.31 \times 10^7$, see Table 9). Indeed, related words were better recalled than unrelated ones ($M = 31.7\%$, $SD = 9.72$ and $M = 18.0\%$, $SD = 7.56$, respectively).

3.2.3. Long delayed recall performance

Seven days after their day of participation, participant received the same instruction as during the immediate LTM recall task. A Bayesian analysis with *CL* as within-subject factors and associative relatedness as between-subject factor on the percentage of words correctly recalled showed the same result as for the immediate long-term recall with the best model preferring the single main effect of relatedness, $BF_{10} = 5.33 \times 10^6$. Participant again recalled more words when having study related words ($M = 21.0\%$, $SD = 10.4$) than unrelated ones ($M = 7.25\%$, $SD = 5.84$).

3.2.4. Trichotomous analysis

The objective of this experiment was to verify that the traces in WM are recalled mainly by recollection and to rule out any ambiguity as to the presence or not of an effect of *CL* on the reconstruction. In addition, the addition of the associative relatedness component, known to improve recall performance in WM thanks to the LTM knowledge associated with it, may have an interesting impact on the recollection and reconstruction

processes, as it could both affect the encoding and the reconstruction of words during recall.

As in the previous experiment, G^2 ratio was great enough to reject the null hypothesis ($G^2 = 6.65$, $p = .16$). Table 10 displays all parameters values for the 1st and subsequent study phases for the *CL* and relatedness conditions. As in Experiment 1, the part of recollected item was much more important than the part of reconstruction in all conditions and especially in subsequent trials. Moreover, D_2 was also higher than D_1 . This therefore confirmed that WM traces are mainly recollected. We also replicated the effect of *CL* on D_1 , with more recollection in low *CL*, but also on D_2 , and the reverse *CL* effect on J_3 instead of J_2 . Results also confirmed here the lack of *CL* effect on the parameters R . Associative relatedness influenced D_1 , related words being better recollected than unrelated ones, but has no effect on reconstruction. Moreover, parameters showed that the *CL* effect was not significant on related words on R_2 .

3.3. Discussion

Recollection being the only one affected by associative relatedness, we can therefore suppose that it affects the encoding of traces in the episodic loop in WM. If LTM knowledge favors the encoding of WM traces, this could minimize the *CL* effect. A high *CL* degrades traces more quickly in WM, but the fact that these traces are associatively related consolidates them. It remains to be determined whether this effect is indeed due to improved encoding (item chunking rather than individual item encoding) or better reconstruction during recall.

4. Experiment 3

In this experiment, the 12 successive study-test cycles paradigm $S_1T_1, S_2T_2, S_3T_3 \times 12$ was transformed into 12 successive presentations of the same study-test cycle (i.e., a “ $12 \times S_1T_1; 12 \times S_2T_2; 12 \times S_3T_3$ ” paradigm). that a word group was no more studied three times in a row before, but only seen a second and a three time after having studied the 11 other word groups in the same way. This modified the learning of these words and then impacted the encoding strategy, compared to the block learning performed in Experiments 1 and 2. To remain comparable to Experiment 2, *CL* and associative relatedness variations were identical as previously.

The previous experiment suggested that the associative relatedness allowed an easier encoding, its effects being visible only on the very first trial recollection (D_1) and not on the following ones (D_2). In addition, recall performance also showed that relatedness only boosted recall on the first viewing of trials and not on subsequent ones. To defy the track of encoding, the paradigm was changed in this experiment to ensure that participants no longer studied the trials directly three times in a row, but now must re-encode them on subsequent delayed viewing. If the relatedness really affects encoding, we should thus observe its effect also in D_2 and not in D_1 only.

4.1. Method

4.1.1. Participants

Sixty students at the University of Fribourg took part in our study (51 females, mean age = 21.5 years, $SD = 2.27$). Recruitment followed the same rules as in the previous experiment.

4.1.2. Material and Procedure

We used the exact same material as in Experiment 2. The procedure was very similar as in Experiments 1 and 2, one point apart. Instead of studying the whole twelve series in three successive trials, participants in this experiment did a first Study-Recall phase of the whole 12 essays before moving to a second and a third Study-Recall phases. To summarize, the Study (*S*) and Recall I phases in Experiments 1 and 2 procedures can be written " $S_1T_1; S_2T_2; S_3T_3 \times 12$ " when Experiment 3 is " $12 \times S_1T_1; 12 \times S_2T_2; 12 \times S_3T_3$ ".

4.2. Results

We replaced data diverging from more than 3SDs of the means of each condition per trials were replaced by the mean of this condition per trials (i.e., 1.1% of the data scored as serial recall). Mean and SD for each dependent variable and $BF_{inclusion}$ values for each main and interaction effects for the 60 participants are again respectively displayed on Table 8 and 9. No data were excluded based on the concurrent task performance because, as in previous Experiment, few errors were made ($M = .46\%$, $SD = .67$).

4.2.1. Recall performance

Recall performance was also analysed according to serial positions from first to sixth. A Bayesian analysis with *CL*, trial, and serial position (first to sixth) as within-subjects' factors and associative relatedness as between-subject factor on the percentage of words correctly recalled in the correct serial positions showed several models with a BF_{10} of $+\infty$ when compared to the null model, so we chose the highest BF ($BF_M = 175$) as the best one. This best model included the main effects of *CL*, trial, serial position, and relatedness, as well as the interactions between serial position and trial and serial

position and relatedness. *CL* impacted recall ($M = 73.2\%$, $SD = 19.2$ and $M = 67.8\%$, $SD = 20.6$ for low and high *CL*, respectively), as well as trial ($M = 53.0\%$, $SD = 21.4$, $M = 73.1\%$, $SD = 21.4$ and $M = 85.5\%$, $SD = 16.5$ for first, second and third trials) and relatedness ($M = 79.0\%$, $SD = 17.3$ and $M = 62.1\%$, $SD = 22.6$ for related and unrelated words, respectively). Until the fourth serial position, recall performance decreased and get stable at the fifth and sixth serial position ($M = 88.4\%$, $SD = 13.5$; $M = 82.1\%$, $SD = 17.5$; $M = 72.2\%$, $SD = 21.7$; $M = 61.9\%$, $SD = 22.0$; $M = 58.3\%$, $SD = 22.4$; and $M = 60.1\%$, $SD = 22.5$, for first to sixth serial positions, respectively). Serial positions recall all differed from each other ($BF_{10} > 20.4$), apart from the sixth one which did not differ from the fourth and the fifth ($BF_{10} = .18$ and $BF_{10} = .32$, respectively). Serial positions interacted with associative relatedness. Related words were better recalled at each serial position, but this associative relatedness effect became less important at the third and fourth serial position ($BF_{10} = 29.0$ and $BF_{10} = 16.7$, respectively) according to follow-up Bayesian paired t-tests. Serial positions also interacted with trial. We conducted another follow-up Bayesian t-test and observed that both effects acted like the main effects described above, but trial effect was weaker in the third trial at each serial position ($BF_{10} > 102$).

4.2.2. Short delayed recall performance

Participants received the same instructions as in Experiment 2. We conducted a Bayesian analysis with *CL* as within-subject factors and relatedness as between-subject factor on the percentage of words correctly recalled. Best model indicated only the main effect of relatedness, $BF_{10} = 110770$. Related words were indeed still better recalled than unrelated ones (respectively $M = 83.7\%$, $SD = 13.2$ and $M = 56.9\%$, $SD = 22.9$).

4.2.3. Long delayed recall performance

Seven days after their day of participation, participant received the same instruction as during the immediate LTM recall task and as in Experiment 2. The same Bayesian analysis was performed on the percentage of correct recall and highlighted the same preferred model, with only the main effect of relatedness, $BF_{10} = 2.70 \times 10^6$. As in the previous analysis, related words ($M = 65.6\%$, $SD = 21.4$) were better recalled than unrelated ones ($M = 29.7\%$, $SD = 20.0$).

4.2.4. Trichotomous analysis

The model provided a ratio statistic G^2 sufficient to reject the null hypothesis, $G^2 = 12.5$. Table 10 shows all parameters values for the 1st and subsequent study phases for the CL and relatedness conditions. Replicating Experiments 1 and 2 results, we observed more recollection than reconstruction, but D_2 was equivalent to D_1 whereas D_2 was always higher than D_1 in previous studies, consequence of the greater learning effect among trials. There was significantly more recollection for low than high CL and for related versus unrelated words in D_1 and no effect was observed on R_1 and R_2 . We also observe a reverse effect of relatedness on J_1 and on J_3 . However, contrary to Experiment 2, CL effect was not significant in D_2 , but associative relatedness was, as predicted by our hypothesis following the procedure changes.

4.3. Discussion

Since the trials were no longer presented directly one after the other but in a deferred manner, the items must be re-encoded for each new trial. The relatedness effect therefore is present as much on D_1 as on D_2 . In this experiment where we forced a re-encoding on each trial, related words were therefore rather recollected while unrelated

ones were also reconstructed, even if the reconstruction rate remained low compared to the recollection. However, even though study-recall trials were more distant from each other unlike in the first two experiments, participants could still use contextual cues, which might partly explain the predominance of the recollection process. Thus, in the next experiment, we tackled removing these contextual cues and thus bring together many conditions favoring the use of reconstruction.

5. Experiment 4

This last experiment kept the new $12 \times S_1T_1$; $12 \times S_2T_2$; $12 \times S_3T_3$ proposed in Experiment 3, but also distorted the order of appearance of words at each trial to induce proactive interference effect and thus, a heavier re-encoding from participants compared to previous experiments. Moreover, associative relatedness became a within-subject factors in such a way that LTM strategies of maintenance could be more spontaneously be used by participants even when studying unrelated words.

5.1. Method

5.1.1. Participants

Thirty-two students at the University of Fribourg took part in our study (24 females, mean age = 21.3 years, $SD = 1.79$). Recruitment followed the same rules as in the previous experiments.

5.1.2. Material

For this experiment, associative relatedness was within-subjects. We therefore resumed our previous related and unrelated series to create two new lists, each made of

six related series and six unrelated ones. We chose to work with two lists instead of just one to avoid a too long experiment but still allowing to observe results in a large panel of different words. Because of this reunification, 36% of unrelated words had to be replaced and words series were pre-tested again by 58 participants (30 females, mean age $M = 27.97$ years, $SD = 8.96$) and it resulted in a mean of $M = 6.65$, $SD = 0.67$ for related series and $M = 1.67$, $SD = 1.01$ for unrelated ones. In the experiment, participants studied only one of these two lists, so they were equally balanced in terms of frequencies between related ($M = 45.1$, $SD = 9.34$), and unrelated series ($M = 44.9$, $SD = 2.85$), $BF_{10} = .29$, and grammatical status (76% of nouns, 54% of which being male grammatical gender in French. The concurrent reading task and the arithmetical equations were the same as in Experiments 2 and 3.

5.1.3. Procedure

The procedure was close to the one used in Experiment 3, aside from three aspects: Participants studied both associative related and unrelated series. Moreover, there were still three study-recall trials $12 \times S_1T_1$; $12 \times S_2T_2$; $12 \times S_3T_3$ as in Experiment 3, but this time the order of appearance of words within the series was randomly changed at each trial, whereas in Experiments 2 and 3, words were presented in the same order at each trial. Instruction given to participants remained to recall words in their serial order of presentation.

5.2. Results

Less than 1% (0.52%) of the data diverging from more than 3SDs of the means of each condition per trials were replaced by the mean of their condition per trial. Mean and SD for each dependent variable and $BF_{inclusion}$ values for each main and interaction effects

for the 32 participants are respectively displayed on Tables 8 and 9. Again, as participants made few errors in the concurrent task ($M = 1.23\%$, $SD = 2.12$), no data were excluded for this reason.

5.2.1. Recall performance

We analyzed recall performance including serial position from first to sixth as within-subjects' factors in a Bayesian Analysis, with our three other factors of interest (CL , trial, and relatedness) as within-subjects' factors on the percentage of correct recalled words, firstly on serial recall as in previous studies, and in free recall in a second same Bayesian analysis. This last analysis was exploratory because task instructions asked for serial recall.

Best model for classic serial recall highlighted the four main effects of CL , trial, associative relatedness, and serial position, as well as an interaction between trial and relatedness and between serial position and trial, $BF_{10} = 2.73 \times 10^{108}$. Recall was better in low than in high CL condition, ($M = 53.6\%$, $SD = 31.6$ and $M = 60.9\%$, $SD = 32.5$, respectively), always increased among trials each ($M = 50.7\%$, $SD = 32.4$, $M = 57.8\%$, $SD = 31.9$ and $M = 63.2\%$, $SD = 31.8$ for the first, second and third trials), but associative relatedness was weak ($M = 57.9\%$, $SD = 32.3$ for related words and $M = 56.5\%$, $SD = 31.8$ for unrelated words, with no significant effect according to post-hoc comparisons, $BF_{10} = .071$). The presence of associative relatedness main effect in preferred model might result from its interaction with trials. Indeed, follow-up Bayesian t-test on the interaction between trial and relatedness highlighted that performance continued to increase when maintaining unrelated words ($BF_{S10} < 16.9$), but performance in related condition stayed the same among trials ($BF_{S10} > .74$). Recall decreased gradually among serial positions (M

= 77.3%, $SD = 28.5$; $M = 70.0\%$, $SD = 29.3$; $M = 57.9\%$, $SD = 33.1$; $M = 49.7\%$, $SD = 33.4$; $M = 44.2\%$, $SD = 32.9$; and $M = 44.3\%$, $SD = 35.2$, for serial positions first to sixth, respectively), until the last two positions no longer result in significantly different recalls ($BF_{10} = .057$ according to post-hoc comparisons). Finally, preferred model showed an interaction effect between trial and serial positions indicating that the decrease of recall as serial position progress became less and less important over trials from fourth serial position. This effect disappeared in second Bayesian preferred model and was probably enhanced by the two main effects of serial position and trials.

For free recall performance, Bayesian analysis indicated the same preferred model as for serial recall, $BF_{10} = 6.76 \times 10^{76}$, with the main effects of *CL*, trial, associative relatedness, and serial position, as well as an interaction between trial and relatedness, but without the interaction between serial position and trial. Recall remained better in low than in high *CL* condition, ($M = 88.3\%$, $SD = 18.7$ and $M = 83.6\%$, $SD = 21.6$), increased among trials each ($M = 78.1\%$, $SD = 24.1$, $M = 88.3\%$, $SD = 19.3$ and $M = 91.4\%$, $SD = 16.9$ for the first, second and third trials) and was better for related than unrelated words ($M = 91.0\%$, $SD = 16.3$ and $M = 80.9\%$, $SD = 24.0$ respectively). Recall followed a U-shaped curved among serial positions ($M = 90.7\%$, $SD = 18.4$; $M = 88.6\%$, $SD = 18.5$; $M = 82.1\%$, $SD = 23.5$; $M = 85.8\%$, $SD = 20.3$; $M = 83.6\%$, $SD = 21.0$; and $M = 84.7\%$, $SD = 19.2$, for serial positions first to sixth, respectively). Post-hoc comparisons indicated that there was no significant difference between first to second positions and third to sixth positions. Recall performance was therefore better on the first two positions and decreased from the third. Follow-up Bayesian t-test on the interaction between trial and relatedness showed that, if the associative relatedness was each time still significant, its strength decreased among trials.

5.2.2. Short delayed recall performance

Participants were instructed to recall as much words as they remembered 10 minutes after the end of the WM part of the experiment. They had no limit of time to complete the task. We conducted a Bayesian ANOVA with CL and relatedness as between-subjects' factors on the percentage of recall in the immediate long-term memory task. Best model indicated the main effect of relatedness, $BF_{10} = 691$. Related words were better recalled than unrelated ones ($M = 79.9\%$, $SD = 19.0$ and $M = 64.8\%$, $SD = 25.1$ respectively). In this experiment, we did not propose a long delayed recall as in previous experiments, because the same participants participated in many other memory studies in the same time period, which greatly increased the risk of interference.

5.2.3. Trichotomous analysis

This experiment greatly incited the use of the reconstruction process over the recollection. Disrupting the order of the words appearing on each new trial therefore destroys all contextual cues that might remain to aid a recollection. We analyzed firstly serial recall performance.

The model's ratio statistic G^2 sufficient to reject the null hypothesis, $G^2 = 2.23$, $p = .14$. Table 10 for Experiment 4 for serial recall shows all parameters values for the first and subsequent study phases for the CL and relatedness conditions. Contrary to all previous results, reconstruction prevailed over recollection. In addition, parameters for first trial were higher than those for subsequent ones, especially for reconstruction parameters. We only observed CL and relatedness effect on R_1 with more reconstruction in low load condition and for related words, and the reverse CL effect on effect on R_1 . We also observed no effect of CL on unrelated words and no relatedness effect in low CL condition on J_1 .

This pattern of result was the reason why we also explored free recall in this experiment. In serial recall, the proportion of not recalled and unlearned recall was high, and we feared an illusory reconstruction effect due to proactive inference generated by changes in the order of presentation of words. When looking closer, we observed that correct / error patterns for serial recall in this experiment were slightly different than previously observed pattern. CEC (i.e., correct-error-correct successive recall, see Table 10) pattern for example is analyzed in the trichotomous model as a first correct recall not attributable to recollection, because these items were not successfully recalled on the next trial. Values for D_1 parameter then dropped drastically. This effect could be attribute to the serial curve of recall rather than to a real favoring of reconstruction processes. As memory performance analysis on serial and free recall were identical, we chose to explore free recall within the Trichotomous model.

Model's ratio statistic G^2 was sufficient to reject the null hypothesis, $G^2 = 1.03$, $p = .90$ and all patterns of recall and parameters values are displayed in Table 10. As expected, previously observed predominance of reconstruction in serial recall was an illusion due to serial misattributions rather than absence of recall. We therefore observed in free recall the same predominance of recollection over reconstruction like in Experiments 1, 2 and 3. As in Experiment 3, D_1 and D_2 were very close, which corresponds to the introduction of the procedure involving a more differed learning among trials rather than the three trials of a same essay carried out directly following each other. Low CL and related words increased R_1 but had no effect on other parameters.

5.3. Discussion

In this experiment like in Experiment 3, trials were no longer directly presented one after each other as they were in Experiments 1 and 2. Moreover, order of word presentation within lists changed at each trial. Our goal with this procedure was to impair contextual cues as much as possible, and then implying both the re-encoding of items at each new trial and the management of proactive interference generated by the change of words orders at each trial. Potential long-term representations created at the first trial became therefore irrelevant at the second trial, and again at the third. If participant had bound items and previous serial positions, this binding interfered in successive trials. Participants following a serial recall instruction, this proactive interference effect was felt in their weaker performance in serial analysis and in the observation of the predominance of D_1 parameter over D_2 contrary to all other experiments. Recollecting memory traces at first trial was not more difficult than usual, but in successive trials, recollection became a “false friend” because of these serial positions binding interferences. Bartsh and Shepherdson (2021) observed this kind of proactive interferences in a WM task. Their task directly induced unreliable long-term representations, which has deleterious effect on WM performance. Results of this study also demonstrated a decreased ability to efficiently reallocate attentional resources when participants were busy inhibiting proactive interferences.

We observed in free recall that recollection in WM always prevailed over reconstruction process and replicated the previously observed CL and relatedness effects on D_1 . Removing all contextual cues ended then to the same observation of predominance of recollection predominance. It would be very interesting to reconduct this last experiment with a free order recall instruction to confirm the observed results.

6. General discussion

Our first experiment aimed at observing recollective and reconstruction processes in WM and the effect of *CL* variation on these retrieval parameters. As refreshing reinstates verbatim traces, we predicted that hindering refreshing should decrease verbatim-based retrieval process (i.e., recollection) but would not affect reconstruction (see Table 11 for all effects on processes). Results for this first study confirmed our prediction as high *CL* only affected direct access at first trial (D_1). This reinforces us in the idea that traces can be retrieved directly in WM and that attentional availability is a determining factor both in maintaining and accessing information, as described in the TBRS model (Barrouillet & Camos, 2015). However, we also observed a marginal *CL* effect on reconstruction at first trial R_1 . We therefore conducted a second experiment favoring the use of reconstruction process by adding memoranda items that can benefit from LTM knowledge effects. This second experiment reproduced the *CL* effect only on direct access and remove ambiguity regarding reconstruction. LTM knowledge (i.e., associative relatedness) affected also only direct access, with related words enhancing D_1 . Relatedness can therefore affect either the encoding or the reconstruction in recall. As reconstruction processes were not affected by relatedness an encoding in episodic buffer facilitated by LTM knowledge constituted our privileged track in the next experiment. Moreover, we observed no *CL* effect on related words, probably because related words could have been easily hold in chunks, leading to better recollection. The third experiment sought to further strengthen the use of LTM representations by postponing the presentation of the three successive trials (in the manner of differed learning rather than massed), to create a re-encoding of items at each new trial. Notice here that the Trichotomous theory of recall is calibrated for immediate recall and that Experiments 3 and 4 therefore slightly modified the presentation procedure.

This third experiment replicated previous *CL* and relatedness effects on D_1 . Relatedness also affected D_2 , demonstrating the re-encoding effect in this experiment. Lastly, we only observed a marginal relatedness effect in low *CL* condition on reconstruction, which might be explained by the fact that unrelated words are very few recollected in D_1 , especially in high *CL* condition, and therefore had to be reconstructed. LTM effect affected then encoding in episodic buffer while *CL* affected recollection. Unrelated words not benefiting from LTM knowledge are less likely recollected. Our last experiment achieved the impairment of all contextual cue by disturbing the order of words presentation at each new trials in addition to the previously introduced postponing of the succession of trials. Serial recall led to illusory reconstruction processes, so we analyzed free recall processes. Recollection processes was still predominant and both relatedness and *CL* factors had the same impact as previously described on D_1 .

In summary, our results revealed five main findings. First, the dual-process model of recall provides a good fit of the data, confirming that two distinct processes govern retrieval from WM. Second, the trichotomous model indicates that most of the recalled items in WM span tasks are retrieved through recollective, and not reconstructive, processes. Third, this predominance of recollective processes does not depend on the difficulty of the task as it is not affected by variations in *CL*. The fourth main finding concerns associative relatedness, which always affected more first trials than subsequent one, and never reconstruction parameters, supporting an encoding hypothesis. Finally, the evolution of the retrieval processes over trials revealed by relative values of D_1 and D_2 parameters. Parameter D_2 always exceeded D_1 in our studies, a finding that could shed light on the retrieval processes involved in WM span tasks when compared with other recall tasks. These five points are discussed in turn below.

Table 11. Summary of simple effects for all parameter estimates for cognitive load (CL) and associative relatedness effect in all Experiments.

	D_1	D_2	R_1	R_2	J_1	J_2	J_3
<i>Experiment 1</i>							
CL	↗ in low CL	< D_1 ×	< D_1 (×)	×	×	↗ in high CL	×
<i>Experiment 2</i>							
CL	↗ in low CL (↗ for unrelated)	< D_1 ↗ in low CL	< D_1 ×	×	×	×	↗ in high CL
Relatedness	↗ for related	×	×	×	×	×	×
<i>Experiment 3</i>							
CL	↗ in low CL	= D_1 ×	< D_1 ×	×	×	×	×
Relatedness	↗ for related	↗ for related	(× but more in slow pace)	×	↘ for related	×	↘ for related
<i>Experiment 4 – Serial</i>							
CL	×	= D_1 ×	> D_1 ↗ in low CL	↘ in low CL	⊗ in unrelated	×	×
Relatedness	×	×	↗ for related	×	⊗ in low CL	×	×
<i>Experiment 4 – Free</i>							
CL	↗ in low CL (↗ for unrelated)	= D_1 ×	< D_1 ×	×	×	×	×
Relatedness	↗ for related	×	×	×	×	×	×

Note: × indicates the absence of effect; ↗ and ↘ respectively indicate an increase or a decrease of the parameter in an experimental condition in particular; and ⊗ indicates the absence of effect in the described condition. Indication in parenthesis stands for marginal effects.

6.1. The trichotomous theory and dual-process evidence in WM retrieval

The distinction between recollection and familiarity-driven remembering is a huge question in memory research field since years (Atkinson & Juola, 1973; Mandler, 1980; Reyna & Mills, 2007; Tulving, 1985a; Yonelinas, 2002). The trichotomous theory of recall derived from this dual-process retrieval approach, but extends to recall analysis without requiring any metacognitive introspections in participants (Brainerd et al., 2009). This model allowed to test the hypothesis that retrieval in WM is controlled by at least two mechanisms: Recollection and reconstruction. Recollection acts like a direct access to memory traces, such as verbatim traces retrieval in the FTT. Since this process proceeds as if memoranda were simply read out of consciousness, recollection is quite an effortless and fast process. This direct access process is close to the idea of the focus of attention in WM (Cowan, 2005) and to the process by which information are retrieved from primary memory (Unsworth & Engle, 2007b). Reconstruction is by essence a non-recollective process and is cognitively more expensive, longer and requires the grouping of remaining partial information, especially from their meaning content (i.e., gist in FTT). A complementary process of familiarity judgment is applied to reconstructed traces and allows recall of items if they reach a sufficient familiarity signal. This reconstruction process clearly corresponds to the cue-dependent search process that retrieves memory traces from secondary memory.

Previous studies indicated that WM is more related to the efficiency of recollection and not familiarity (Hedden & Park, 2003; Oberauer, 2005; Unsworth & Brewer, 2009), but we aimed at observing dual-process evidence in complex span task and serial recall tasks. The trichotomous theory of recall has been created by Brainerd et al. (2009) to explore this dual-process distinction between recollection- and familiarity-driven

remembering and can be apply to all the standard recall paradigms (cued, free, paired-associates, serial).

The basis of FTT have been studied on a wide variety of LTM and WM tasks highlighting the existence of independent dual-representations (i.e., verbatim and gist representations). Both representations are therefore involved, stored, and retrieved separately in memory tasks (Reyna & Brainerd, 1995, 1998). Retrieving verbatim traces is analogous to a recollection process, while gist traces are involved in reconstruction. This preponderant use of gist representations are at the origin of false memories when reconstruction followed a wrong familiarity signal (Brainerd & Reyna, 2002; Reyna & Brainerd, 1998; Reyna et al., 2016). Our analysis in successive experiment provided a good fit for our data, confirming then the existence of recollective and reconstruction process governing retrieval from WM, with a predominance of recollection. Moreover dual-process view always predicted that divided attention in study or test phases affect recollection but not reconstruction or familiarity processes (see Yonelinas, 2002 for a review) and our results seeing *CL* effect on recollection were in odd with this prediction.

6.2. Predominance of recollective processes in WM span tasks

The application of the trichotomous model to our data suggests that a vast majority of the items recalled in complex span tasks are retrieved through recollection (Figure 16), a finding that echoes previous studies concluding to the reliance of WM performance on the efficiency of recollection, but not familiarity (Hedden & Park, 2003; Loaiza, Rhodes, Camos, et al., 2015; Oberauer, 2005). Thus, even if recall from WM is governed by a duality of retrieval processes (the two-stage model provided a better fit than a single-stage model), direct access is the default mode of retrieval from WM. These results agree with

the design of WM as a buffer maintaining a small amount of information in a state that allows its direct access (Baddeley, 1986; Miller et al., 1960; Newell, 1990). According to the trichotomous model and the FTT (Reyna & Brainerd, 1995), recollection is supported by the reinstatement of verbatim memory traces that encode the surface form of the items. The ephemeral nature of these verbatim representations could explain why WM traces are prone to temporal decay or interference, or both, as several theories of WM assume (e.g., Baddeley & Logie, 1999; Barrouillet & Camos, 2015; Cowan, 1995; Oberauer et al., 2012). It seems that the maintenance of WM traces does not take the form of the constant reconstruction of representations through the retrieval of knowledge from long-term memory, as Barrouillet and Camos (2015) have hypothesized. As we discuss later, our results do not match what could be expected from models assuming that recall at short term mainly relies on some redintegration of long-term memory traces accessed through retrieval cues acting as pointers (e.g., Nairne, 2002).

The predominance of recollective recall in WM (Figure 16) fits the main tenets of the information processing view of cognition. Indeed, a WM from which information should be retrieved through a double process of regeneration of candidates followed by a discriminative search of targets would lack most of the attributes (flexibility, speed, accuracy) needed to fulfil its role in the cognitive architecture. However, this predominance of recollection process suggests that WM corresponds to a set of items in such a state of activation and accessibility that it makes them functionally different from any other memory traces, rendering pointless the debate as to whether there is a WM system separated from LTM system or not.

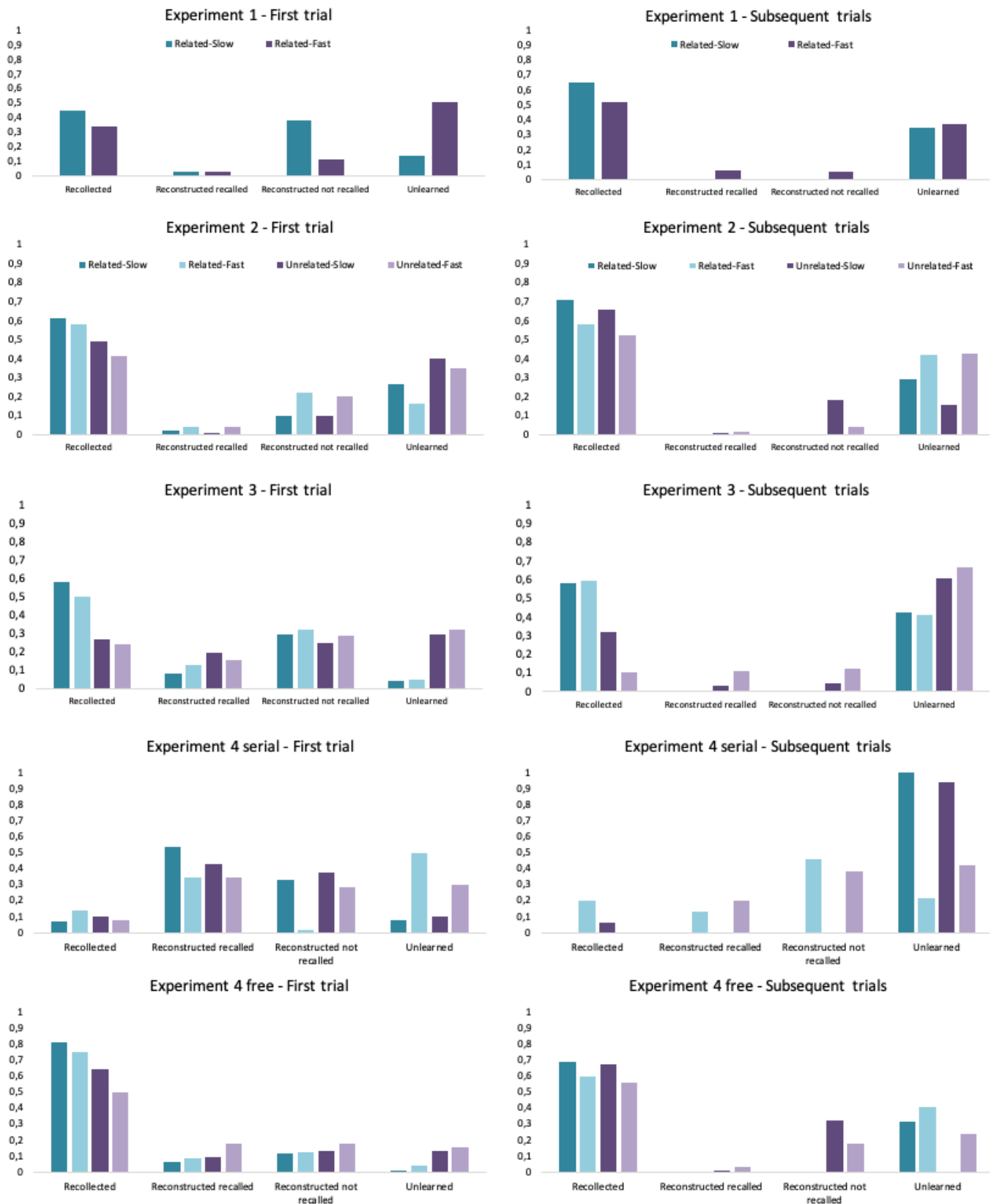


Figure 16. Proportion of retrieval types for all experiments in the low (slow pace) and high (fast pace) load cognitive load (CL) conditions and both associative relatedness conditions (related and unrelated words, excepted in Experiment 1).

6.3. Recollective processes and cognitive load

Contrary to our expectations, although they had a strong impact on recall performance, variations in *CL* did not greatly modify the balance between recollective and non-recollective retrievals. As Figure 16 makes clear, high *CL* has its impact in increasing the rate of unlearned as well as reconstructed-not-recalled items, but the proportion of recollected items among those that were recalled remained unchanged. According to the TBRS theory (Barrouillet & Camos, 2012, 2015), higher *CL* involves lower recall performance by increasing the proportion of time during which concurrent processing occupies attention, thus preventing refreshing activities to take place. It could have been supposed that when refreshing is impeded, memory traces tend to fall into secondary memory from which they can be retrieved through non-recollective processes. Nothing of this sort occurred. Our analyses suggest that, if some reconstructive process takes place under high *CL*, it rarely results in output (see the reconstructed-not-recalled category on Figure 16).

These findings, along with the predominance of recollective retrieval already discussed, suggest that WM performance is a matter of maintaining verbatim memory traces by refreshing them in their initial form within something like a focus of attention (Cowan, 2005), a zone of direct access (Oberauer, 2002), a primary memory (Unsworth & Engle, 2007a) or an episodic buffer (Baddeley, 2000; Barrouillet & Camos, 2015). When information is verbal, an articulatory rehearsal process probably contributes to the reinstatement of the phonological features of these verbatim traces (Baddeley, 1986; Camos et al., 2009). Preventing maintenance activities to take place does not seem to result in the displacement of these memory traces into another system from which they could be retrieved through non-recollective processes. Instead, they seem to have

irrevocably left WM, in this sense that they can no longer be directly accessed, at least under the specific constraints of the recall phase of a complex span task. This does not mean that nothing remains of these forgotten items and that they cannot be retrieved by non-recollective processes, for example in recognition tasks or in delayed recall tasks (Camos & Portrat, 2015), but they no longer belong to WM. In other words, what our results suggest is that direct accessibility seems to be one of the defining features of WM.

6.4. Associative relatedness favored encoding and CL affected maintenance in WM. What about redintegration?

Predictions concerning refreshing and relatedness effect on reconstruction are differed a lot between theoretical frameworks. Some would predict that refreshing will reduce relatedness effect (Rose & Craik, 2012), others that relatedness effect would be favored by refreshing (Loaiza, Duperreault, et al., 2015). Some would finally attend no effect of refreshing availability on reconstruction process (Cowan, 1999a), supported by the fact that divided attention manipulations, limited response time or high cognitive cost never affected any processes but conscious recollection (Benjamin & Craik, 2001; Jacoby, 1991; Jacoby et al., 1993). Our results favored the third possibility, showing that refreshing modulations always affected recollection, but never reconstruction process. We concluded that attentional availability variation only affects encoding capacities, but never redintegration. When introducing the LTM effect of associative relatedness in our WM task, we observed that *CL* still affected recollection and not reconstruction, but *CL* effect was less strong when studying related words. In fact, memory traces remained accessible in the attentional system, but were weakened by a high concurrent attentional demand. Associative relatedness enhanced recall process so much that even *CL* effect found itself diminished in related conditions. In the related words conditions, direct

access to memory traces were almost perfect because these traces were less degraded by concurrent *CL* and chunked around the same semantic field. Even forcing a re-encoding of items in Experiment 3 showed no effect of *CL* on reconstruction, but simply extended the relatedness effect on the recollection on successive trials, demonstrating the re-encoding of the items lists at each trial caused by the new mode of presentation. Predominance of recollection process and the absence of *CL* effect on redintegration and his diminution when studying related words contradicted redintegration and LTM retrieval theories, as we should observed far more reconstructions, especially for related words which implied LTM knowledge according to these theories.

In the PSM framework, memory traces are firstly maintained in primary memory, which is quite akin to WM. If the maintenance capacities of primary memory are exceeded by the number of items to maintain or by concurrent processing, memory traces are shifted to secondary memory (i.e., LTM) and must be retrieved from that system (Unsworth, 2007). PSM framework assumes then that LTM effects should increase in presence of high attentional concurrent demand, because in this case, memory traces are hold in the same cognitive system as memory cues enhancing recall performance though a searching cue process (Spillers & Unsworth, 2011). In view of this framework, one should predict no effect of *CL* on reconstruction as it impacts only primary memory, but an enhancement of reconstruction efficiency for related words, especially in high concurrent *CL* which initiated the memory traces transfer to secondary memory. A redintegration perspective would argue for the same effect of relatedness on reconstruction process (Hulme et al., 1991; Hulme et al., 1995). However, our results only observed main effects of *CL* and relatedness on only recollection and no effect on reconstruction. Recall and processes analysis also replicated previous studies indicated

that relatedness is not moderated by attentional factors, but LTM enhancement to WM performance would rather be attributed to a better redintegration during recall or an encoding facilitation (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018, and see Chapter 5). As our factors never impacted reconstruction process but both WM and LTM effects affected a predominant recollection, the hypothesis of an easier encoding process seemed to us to be privileged. Even if cue searching or redintegration was explained as a privileged access to LTM, one could not explain our factors effects on primary memory recollection other than invoking a “super direct access” process. Direct access process in secondary memory is not supposed to be high, as demonstrated by the FTT observation on verbatim and gist representations on WM and LTM recall tasks (Barnhardt et al., 2006; Brainerd et al., 2014; Brainerd & Reyna, 2010; Brainerd et al., 2009). If complex span task moved memory traces to secondary memory, reconstruction process should have been more important in our results. Only Experiment 4 observed *CL* and relatedness effect on reconstruction process. When destroying all contextual cues and inducing LTM maintenance strategies to participants, we finally observed such a pattern of results, with more reconstruction compared to recollection. However, these results were the less stable as recall patterns could have been misinterpreted by the trichotomous model.

Trichotomous theory of recall could not have been applied to our differed recall tasks. Anyway, performance analysis for all studies involving differed long-term recall after 10 minutes (short delayed) or 7 days (long delayed) showed no significant effect other than the one of associative relatedness. Related words were always better recalled at long term than unrelated ones, which fits with the observed relatedness effect in short-term recall where relatedness greatly favored the encoding of items at the first trial, so

much that we almost observed ceiling effect for related words in successive trials. Moreover, the predominance of differed recall of mostly related groups of words is in accordance with what we already know about LTM retrieval, where reconstruction process is mostly used. Residual memory traces of a single words could be easily used to reconstruct the whole list. The memory trace for *bird* can more easily lead to the reconstruction of *cage*, *feather*, *egg*, *beak*, and *wing* thank to LTM knowledge and strong network activation between these items, but it is not the case for a group of word such as *soul*, *cocktail*, *puppet*, *outlet*, *puzzle*, and *week* who are only able to benefit from residual traces of their chunking specific to the experiment.

6.5. The effect of repetition on recollection and its implications for WM theory

The parameter estimations revealed that D_2 was systematically higher than D_1 in both the high and the low *CL* conditions, something true for low as well as high performers. Recall that D_1 corresponds to the probability for an item to reach recollection and to be directly retrieved at the first trial, whereas D_2 corresponds to the probability to reach this state in further trials. In other words, this means that the probability for an item to reach a state allowing its direct retrieval is higher in successive trials than the first one. It is a well-established fact that, in free recall tasks, D_2 is usually lower than D_1 (Brainerd et al., 2009), whereas the opposite pattern is frequent with associative recall (Brainerd et al., 2012). Moreover, it has been shown that associative recall is strongly recollective, whereas free recall is more balanced between recollective and non-recollective retrieval (Brainerd et al., 2009). That D_2 is usually lower than D_1 in free recall tasks is explained by the fact that direct access is a rote memorization process that involves interference-sensitive verbatim traces. Because recall test generates output interferences, test

repetition degrades verbatim memory traces making direct access more and more difficult (Brainerd et al., 2009). Why does this phenomenon not occur in WM span tasks and what are the characteristics of these tasks that make them more akin to associative than free recall?

Concerning the first part of the question, Brainerd, Wright, et al. (2002) predicted and observed that because shorter lists involve less interference, they result in larger D parameters in free recall tasks. The lists studied in complex span tasks might be sufficiently short (six items in our study) to escape strong interference effects, resulting in large D values that do not decline with repetition. Moreover, the active maintenance of verbatim traces throughout the task by refreshing and articulatory rehearsal might protect them from interference and facilitate their access to recollection at the second and third trial. Turning to the second part of the question, apart from the length of the lists to be learned, the main difference between free recall and complex span tasks is the emphasis on serial recall for the latter. It has been suggested that recall in these tasks corresponds to a recursive search in WM of the item associated with each serial position (Oberauer et al., 2012). Moreover, although it has been frequently claimed that there is little support for chaining models in short-term memory (Henson et al., 1996; but see Frankish, 2014, for an unexpected revival of the idea), it might also be imagined that serial order is stored by associating each item with its predecessor. Thus, the need for order maintenance in WM span tasks might induce associative processes explaining the increase in D values with repetition.

Another explanation might be more coincidental and related with the number of memory items presented in our study (i.e., six). Whereas it is usually assumed that short-term memory can hold about seven items (Miller, 1956), WM spans are far lower due to

the devastating effect of concurrent processing (e.g., a mean of 2.87 and 2.24 items recalled in correct position in the first trial of the present study for low and high *CL*, respectively). Thus, although the probability of direct retrieval and the number of words learnt at first trial are rather low (about 2.5 words), the number of remaining words to be learned in subsequent trials has substantially diminished (to about 3.5), explaining that the probability of learning these remaining words in further trials (i.e., D_2) can be higher than the initial probability (D_1). Whatever the sources of the discrepancies between WM span and free recall tasks, our results suggest that the two types of tasks differ in the retrieval processes they involve.

7. Conclusion

This study was a first attempt to apply the trichotomous model to serial recall in WM complex span task. This approach has proved effective in establishing that both recollective and non-recollective processes govern recall from WM, though WM recall appears essentially recollective in nature. Overall, our results showed that maintenance in WM does not imply constant reconstruction of traces through retrieval of LTM traces. Short-term recall is rather recollected than achieved through redintegration of LTM traces or retrieval cues searching.

Of course, this finding, as well as those related with the impact of task difficulty (*CL*) and LTM effect on recall processes, require replication and extension to other complex span tasks, free recalls tasks, and even other populations. Nonetheless, the present results established that the dual-process methodology provided by the trichotomous model has the potential to advance our understanding of WM structure and functioning.

Résumé et implications du Chapitre 6

Cette étude constituait un premier essai d'application du modèle *Trichotomous* sur une procédure de rappel sériel en WM et a démontré d'une utilisation conjointe des processus d'accès direct (recollection) et de reconstruction en WM, bien que le rappel en WM privilégie énormément l'accès direct. Cette étude composée de quatre expériences impliquait à nouveau un facteur modulant le rafraichissement attentionnel au travers du coût cognitif de la tâche secondaire, ainsi qu'un facteur de connaissances de LTM avec le maintien de listes de mots sémantiquement reliés vs., non-reliés. Ces facteurs étaient présentés au sein d'une tâche d'empan complexe et présentés au fil de trois essais successifs d'études et de rappels des mêmes listes de mots. La première expérience ne manipulait que le premier facteur afin de fournir une première base dans l'utilisation du modèle *Trichotomous* en WM. La deuxième étude ajoutait le facteur de similarité sémantique et les procédures des deux études suivantes induisaient de plus en plus les participants vers une utilisation du processus de reconstruction afin d'éprouver nos premiers résultats.

Nos résultats montrent une prédominance écrasante du processus d'accès direct durant le rappel en WM par rapport au processus de reconstruction. Cependant, les deux processus restent importants dans le rappel en WM, argumentant dans le sens des modèles à double-processus gouvernant la récupération des traces en WM. La disponibilité attentionnelle n'affecte pas cette prédominance de l'accès direct. La présence de similarité sémantique n'encourage pas plus à la reconstruction et favorise plutôt l'accès direct aux traces reliées lors du premier essai de rappel. Ceci apporte du soutien à l'hypothèse d'un meilleur encodage des traces grâce aux connaissances de LTM.

D'une manière générale, cette prédominance du processus d'accès direct sur la reconstruction apporte une explication au faible taux de faux souvenirs observés à court-terme. Dans un rappel immédiat, ce sont les représentations verbatim qui sont directement récupérées et rappelées dans leurs formes exactes (verbatim), ce qui fait rempart contre les faux souvenirs induit par la reconstruction de traces gist. Dans l'étude suivante, nous avons donc observé l'encodage et le rappel de ces représentations gist et verbatim en fonction de l'interférence provoquée par nos facteurs de rafraichissement et de similarité sémantique.

Chapitre 7. What remains you in mind? Semantic and phonological interference effects on false memories at short-term

Titre en français : Qu'est-ce qui vous reste en tête ? Effet des interférences sémantiques et phonologiques sur les faux souvenirs à court-terme.

Cette étude a été soutenue par le Fond National Suisse de la Recherche accordé à Valérie Camos (grant n° 100019_175960) et a reçu l'approbation du comité d'examen institutionnel de l'éthique de la recherche de l'Université de Fribourg. Les listes de mots et de données sont disponibles sur <https://osf.io/943n6/>.⁸

⁸ Merci Marlène Abadie et Valérie Camos pour leur implication générale tout au long de cette étude.

Résumé

Notre étude visait à investiguer l'apparition de faux souvenirs à court terme en fonction de la disponibilité du rafraîchissement attentionnel et de la présence d'effets d'interférence sémantique ou phonologique entre les cibles à mémoriser et les mots qui y étaient associés. La vulnérabilité de la reconnaissance basée sur les représentations gist aux effets d'interférences sémantique comparée à celles basées sur les verbatim était le point clé de cette étude. Dans une tâche d'empan complexe, les participants devaient mémoriser quatre mots cibles et lire à haute voix quatre mots associés à chaque cible. Ces mots associés étaient sémantiquement ou phonologiquement similaires ou dissemblables à la cible. A la fin de chaque essai, les participants devaient classer des items en tant que cible étudiée durant l'essai, en tant que distracteur relié à une cible ou en tant que distracteur non-relié. Pour les deux conditions d'interférence, nous avons rapporté les paramètres correspondant aux représentation gist et verbatim dans la reconnaissance de cibles (G_t et V_t) et de distracteurs reliés (G_r et V_r) en utilisant le paradigme SCR (Stahl & Klauer, 2008). Les résultats ont révélé une majorité de reconnaissances correctes, notamment en condition sémantique par rapport à la phonologique. Les distracteurs phonologiquement reliés étaient souvent confondus avec des distracteurs non-reliés. La similarité sémantique favorisait à la fois G_t et G_r lorsque la similarité phonologique n'affectait que G_t , mais aucun type de similarité n'affectait V_t et V_r . Le rythme rapide a augmenté G_t dans les conditions sémantiques et phonologiques et en conséquence, V_r pour la condition sémantique augmentait dans le rythme lent. Le rythme n'a eu aucun effet sur les paramètres G_r et V_r pour la reconnaissance des distracteurs reliés. Ces résultats suggèrent que le rythme de présentation affecte le maintien des traces alors que la similarité, principalement sémantique, favorise les représentations gist des cibles. Ce dernier point favorise la reconnaissance, mais augmente aussi le risque d'apparition de faux souvenirs.

Abstract

Our study aimed at investigating the occurrence of false memories at short term according to the availability of attentional refreshing and the presence of semantic vs. phonological interferences between memory words and associated distracting words. The vulnerability of gist-based recognition to semantic interferences, compared to verbatim-based recognition was the key point in this study, because verbatim representations are more resistant to interferences than gist representations. In a complex span task, participants had to memorize at each trial four target words and to read aloud four associated words semantically or phonologically similar vs dissimilar to each target. At the end of each trial, participant had to classified items as target probes studied within the trials, as a distractor related to a target, or as an unrelated distractor. For both interference conditions, we reported verbatim and gist parameters for targets (G_t and V_t) and related distractors (G_r et V_r) recognition using the SCR paradigm (Stahl & Klauer, 2008). Results revealed a vast majority of correct recognitions, especially in semantic compared to the phonological condition. More precisely, phonologically related distractors which were mostly confused as unrelated ones. Semantic similarity favored both G_t and G_r when phonological similarity only affected G_t , but neither kind of similarity affected V_t and V_r . Fast pace increased G_t in both semantic and phonological conditions and in response to this effect, V_r for semantic condition increased in slow pace. Pace had no effect on G_r and V_r parameter for related distractors recognition. These findings suggest that pace impacted traces maintenance when similarity, mostly semantic one, enhanced gist representation for targets. This last point favored recognition, but also increased the risk of appearance of false memories

1. Introduction

Theoretical models regarding the relationship between working memory (WM) and long-term memory (LTM) are currently still divided between single and dual-view, with intermediate models presenting WM as the currently activated part of LTM (see Logie et al., 2021 for an exhaustive and recent review of each model). If each of these theoretical conceptions has already provided several evidence supporting their position through years, the question about the dissociation between the WM and LTM systems cannot currently be considered as resolved. Maintenance in WM is achieved by articulatory rehearsal and attentional refreshing, which are both independent and domain-specific (for verbal and multimodal representations, respectively) maintenance mechanisms (Camos, 2015, 2017). However, studies regarding the relationships between WM and LTM reported that, although LTM improves performance in WM, its contribution is not mediated by WM maintenance mechanisms (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018; see Chapter 5). A possible explanation is that LTM effects on WM are more likely to relate to the encoding of traces in WM, whereas variations in attention affect their maintenance in WM.

The main objective of this study was to examine which kind of representations (i.e., verbatim and gist) attentional refreshing is capable to manipulate. To do so, we manipulated in one hand the nature of the representations encoded during learning by inducing semantic and phonological interferences between memoranda and distractors; and in the other hand the availability of attentional refreshing. The impact of these factors were analyzed in an immediate recognition test on verbatim and gist representations and on the occurrence of false memories, which is a phenomenon arising from LTM and gist representations (Brainerd & Reyna, 2002).

1.1. Long-term false memories

If everybody knows that we could forget a lot of things, most people still believe at least in a reliable memory. We all hope that our memories reflect the reality. However, memory does not function like a recorder, but is rather a constructive mechanism (Hyman & Loftus, 1998) and a lot of examples have shown that a memory trace can be changed, but also generate new ones, causing then false memories (Begley & Brant, 1994). Memorization can be devised in three main steps: Encoding, storage and retrieval. False memory might derive from all these steps. When recalling elements, we can transform them or create new memories, as important as a false childhood trauma (Hyman & Loftus, 1998) or, more harmless, the reminder of getting lost in a mall during childhood (Begley & Brant, 1994). Loftus, Miller, and Burns (1978) have proved that new information can also modify previously stored information (i.e., the misinformation effect), which could compromise a testimony for example. Finally, and it will be the main subject of this study, the encoding of traces could also “malfunction” and encode some non-present elements as any other memories.

This last point has been widely proved using the Deese-Roediger-McDermott (DRM) paradigm (Deese, 1959, Roediger & McDermott, 1995). This paradigm presented lists of associated words that let the people think about a critical non-presented word (e.g., *rest, bed, nap, blanket, dream, tired* etc. without presenting the critical word *sleep*). It was shown that strongly associated word lists produced more recall or recognition of non-presented items. This paradigm allows to study the occurrence of false memories and how to influence this occurrence. It is therefore an important tool for studying retrieval of non-presented items in both recall and recognition tasks in a controlled and ethic experimental context and therefore helped in developing our knowledge about processes at the origin of false memories.

Fuzzy Trace Theory (FTT; Brainerd & Reyna, 2002; Reyna, 2012a; Reyna & Brainerd, 1995) is a model about memory, reasoning, judgment, and decision making with few easy principles, allowing to explain some psychological phenomena like false memory. The core assumption of FTT is the distinction between two types of information representations: Verbatim and gist representations. The first one is a precise and literal representation of the surface forms of an individual stimulus that supports precise analysis. The second one is more akin to representing the overall meaning of information. Therefore, each piece of information, whatever its modality, has a dual representation. Each representation gets a utility in supporting distinct processes. Verbatim representations are detailed enough to allow analytical processing of information, while gist provides a holistic and intuitive perspective. The formation in memory of these two representations is simultaneous, but also independent (see Chapter 2, part 2).

Both traces have then an opponent effect on false memories. Indeed, gist traces favor false memories, because the generated meaning seem familiar. In contrast, verbatim traces are very precise, and this precision “neutralizes” the apparition of false memories. However, verbatim traces are generally vivid, with precise context, while gist traces are fuzzier. But if gist traces are highly consolidated (for example, with many words associated) it could give an illusion of vividness. It is therefore easy to manipulate the strength of these representations in memory. Targeted interference can weaken gist and/or verbatim traces. Although studied primarily in the LTM area, false recognition has also been reported at short term (Abadie & Camos, 2019; Atkins & Reuter-Lorenz, 2008; Coane et al., 2007; Flegal et al., 2010; McBride et al., 2019).

1.2. The impact of WM maintenance mechanisms on the occurrence of false memories

WM maintenance mechanisms have been described for many years. According to the Time-Based Resource-Sharing (TBRS) model, attentional refreshing and articulatory rehearsal are the two main mechanisms allowing the temporary maintenance of verbal information in WM (Barrouillet, Bernardin, et al., 2004). Resource sharing in WM is performed by a rapid switching process of attention from maintenance to processing while being able to carry out concurrent tasks. As maintenance and processing both rely on attention, their capacities are limited and this could be observed in simple activities (Barrouillet et al., 2009). Attentional refreshing is analogous to a central-domain mechanism based on attention and dedicated to the maintenance of multimodal representations (see Barrouillet & Camos, 2015; Camos, 2015, 2017; Camos & Barrouillet, 2012; Camos et al., 2018, for reviews). A secondary task performed at the same time as the memory task would generate an extra cognitive load and impose an attentional and temporal part (Camos & Barrouillet, 2012). Conversely, articulatory rehearsal does not require as much attentional resources to focus on and to maintain memory traces. This second main mechanism is similar to a phonological loop as described in Baddeley's (1986) model, devoted to the maintenance and processing of verbal representations (Camos & Barrouillet, 2012; Camos et al., 2011). Both mechanisms are working independently and manipulating their availability in WM tasks has known independent effects on recall. As articulatory rehearsal depends on subvocal articulation, covert speech (i.e., concurrent articulation) hinders it well, but attentional refreshing keep on operate perfectly under covert speech On the other hand, the inclusion of a concurrent attentional-demanding task within the main task impedes refreshing, but not rehearsal (Camos & Barrouillet, 2012; Mora & Camos, 2013).

Abadie and Camos (2019) investigated the onset of false memories at short and long term and depending on the availability of the maintenance mechanisms of information in WM. The occurrence or not of false memories depending on the availability of maintenance mechanisms would indicate whether WM might be the source of false memories formation or whether they originate from LTM instead. Their results showed that false memories do not appear in immediate recall when WM maintenance mechanisms were fully available. The formation of false memories is consequently modulated by the availability of WM mechanisms. Verbatim traces were indeed strong enough to counteract false memories formation only when WM maintenance was effective. When not, participant relied more on gist traces, which are the source of false memories (Reyna et al., 2016). However, false memories rates at short-term recognition test stayed the same whether attentional refreshing was optimal or not. Of the two maintenance mechanisms, it is articulatory rehearsal who had a strong impact on preventing false memories at short term by favoring verbatim traces.

1.3. Interference effects on recollection and familiarity: What is left in your mind?

According to single-process models of recognition (Dunn, 2004; Malmberg, 2008), memory strength would be the only process leading recognition. The “strongest” items are perceived as having already been studied, while those with weaker strength are judged as new and never been encountered. Dual-processes accounts rather posit that memory recognition is guided by two processes: Recollection and familiarity (Mandler, 1980; Wixted, 2007; Yonelinas, 2002). Recollection is defined as a conscious retrieval process. Familiarity is rather based on a feeling of having already been confronted with the presented information but having in memory only residual traces of it. Recollection is

therefore an elaborate process, based on exact and precise associative details of the information, while familiarity is more a rapid and intuitive process based on a feeling of “déjà vu”. Over time, single- and dual-processes accounts both mostly agree that recognition is driven both by recollection and familiarity. If this question is currently unresolved, several results tend towards the dual-process view hypothesis. Indeed, most studies demonstrated an independence between the two processes through developmental effects, time latencies of recall, cognitive load and delay variations (Benjamin & Craik, 2001; Hirshman et al., 2002; Jacoby, 1991, 1998; Jennings & Jacoby, 1993, 1997; Loaiza, Rhodes, Camos, et al., 2015) Neuroimaging studies showed that recollection and familiarity can also be functionally and spatially dissociated. The hippocampus supports recollection with contextual reinstatements, resistant to interference. Familiarity process is rather supported by extrahippocampal neural structure (mostly perirhinal cortex), which is vulnerable to interference (Sadeh et al., 2014, 2016, 2018).

When thinking about forgetting from memory, we most spontaneously think of decay. Decay in WM and LTM is heavily studied. In WM, memory traces simply decay as time passed if they are not refreshed or rehearsed (see Barrouillet et al., 2013). Interference effects represent the other side of the coin, although the relative impact of the two aspect of forgetting is still a persistent debate. Interference involuntarily occurred when we hold several representations at the same time in WM, but depending on the strength of their similarity, these representations might overlap (Nairne, 1990; Oberauer & Kliegl, 2001; Oberauer et al., 2004; Oberauer et al., 2012). When encoding target and distractors items, the risk of interference increases and is especially highlighted by the occurrence of false memories.

The vulnerability of gist-based recognition (familiarity process) compared to verbatim-based recognition (recollection process) against interference effects was our key point in this study. Semantic similarity promotes the creation of gist traces, which then affects responses to related distractors. This semantic interference therefore increases the probability of false memories, but nevertheless promotes the correct recognition of semantically related words that enter the same semantic network. The phonological similarity should rather disturb the formation of verbatim trace, which will have the effect of decreasing the correct recognitions of targets. Verbatim representations are however more resistant against interference effects than gist-based memories (Hockley, 1992; Murdock & Hockley, 1989; see Sadeh et al., 2014 for a review), even if gist are less vulnerable to decay than to interference (Gardiner, 1988; Gardiner & Java, 1991). Barrouillet et al. (2013) showed that when manipulating strength of activation between items, fragile memory traces suffer the most of interference. Our study introduced then interfering material that allowed us to manipulate the representational nature of memory items and observe their effects on recognition performance. In this study, we choose to work with semantical and phonological similarity to create interference respectively on gist and verbatim representations.

1.3.1. Semantical interference: Weakening gist representations

Knowledge is formed in associative networks. The proximity of items in these networks establishes its force of activation and greatly influences the probability of false recognitions (Collins & Loftus, 1975). The presentation of associated semantic or categorical items induces an automatic diffusion of the entire semantic network. This activates other items present in the network, even those that have not been presented in

the to-be-remembered lists. LTM effects such as lexicality, familiarity, frequency, and relatedness increase WM performance (Abadie & Camos, 2018, 2019; Hulme et al., 1991; Hulme et al., 2003; Poirier et al., 2011; Rosselet-Jordan et al., 2022; Saint-Aubin et al., 2005; Saint-Aubin & Poirier, 1999a). Oberauer (2009b) demonstrated that immediate recall performance was better when the target to be remembered belonged to the same semantic category as associated words processed during a secondary task. (e.g., *cotton* as target probe with *silk*, *wool*, *velvet*, *linen* as associated words). This effect was not influenced by variations in attentional refreshing. In general, the stimulus similarity processed and stored in a complex task had a positive effect on immediate recall. One hypothesis is that the associative network is reactivated with each presentation of a new item related to the probe item. The reintegration process might restore the traces in memory (Camos et al., 2019; Hulme et al., 1999; Hulme et al., 1997; Schweickert, 1993).

1.3.2. Phonological interference: Weakening verbatim representations

Words which shared the same central phoneme (e.g., *cat*, *bat*, *map*, *nap*) are less recalled than phonologically dissimilar words (e.g., *cat*, *bed*, *sick*, *luck*). This effect known as the phonological similarity effect (PSE) had been frequently reported in previous studies (Baddeley, 1966, 2007; Camos et al., 2013; Larsen et al., 2000). PSE emerges from interference at the time of encoding and recall. Indeed, similar items would be less firmly encoded and phonological discriminations problems might happen during retrieval (Camos et al., 2011). Moreover, WM traces tend to degrade when they share too many features. Indeed, phonological similarity makes the distinction between items more difficult. As a result, recall performance for phonologically similar wordlists is poorer (Baddeley, 1986; Camos et al., 2011; Oftinger & Camos, 2016, 2018). This phonological similarity effect does not evolve according to the attentional demand of a competing task,

but disappears under articulatory suppression (Camos et al., 2013). Oberauer (2009b) investigated this interference effect between memory items and phonologically similar associated word in a short-term recall task. In presence of phonological similarity between items, recall performance decreased. He concluded that similar phonological representations mostly create confusion between memory traces during encoding. Overall, several studies reported retroactive interference⁹ effects through feature overwriting of memory representations (Bartsh & Shepherdson, 2021; Lange & Oberauer, 2005; Oberauer, 2005, 2009b; Oberauer et al., 2004).

1.4. The present study

According to the Fuzzy Trace Theory (Reyna & Brainerd, 1995) recognition is related to the retrieval of characteristics associated with memories, driven by recollection and familiarity processes. Familiarity might give the participant a feeling of accuracy in memory traces or a feeling of familiarity that comes from a sense of “*déjà vu*” and might lead to false acknowledgment in recognition tasks (Stadler et al., 1999). This gist-based feeling of familiarity is more impacted by the introduction of interfering distractors than the recollection process (see Sadeh et al., 2014 for a review).

We used a similar methodology as Oberauer (2009b) who also manipulated semantic and phonological similarity in a complex span task paradigm, as well as variations of presentation pace. His results showed that both semantic and phonological similarity had small effects, but beneficial to recall when detected. Our study converted

⁹ Retroactive interference occurs when a new memory alters an older memory. It is particularly studied in the learning of pairs of items which are modified in a test phase, the new pairs then no longer corresponding with those which had been studied.

several procedural points from Oberauer (2009b), with the notable difference that our participants did a recognition task at the end of each trial instead of a recall task. Our results could therefore be analyzed using a recognition paradigm, which could lead us to different interpretations because it allowed us to apply a Conjoint Recognition paradigm and get parameter estimates for gist and verbatim representations. The original Conjoint Recognition paradigm by Brainerd et al. (1999) is a multinomial processing tree (MPT) model (see Erdfelder et al., 2015; Riefer & Batchelder, 1988). Each branch corresponds to parameters in the used model and is associated with a categorical probability calculation. Thus, these paradigms make it possible to test hypotheses on the chosen parameters and to obtain statistical results. The Conjoint Recognition (CR) paradigm allows to measure the contribution of each specific process to false and true recognition. We used a revision of this paradigm which has been made by Stahl and Klauer (2008) and offers a simplification by diminishing the need of several experimental conditions compared to the original model. SCR, for Simplified Conjoint Recognition). In the SCR paradigm, lists of words are studied and submitted to a recognition test of target probes, related and unrelated distractors. In this recognition phase, participants must indicate for each item if it was a *target probe* (i.e., an old item from the study list), a *related distractor* (i.e., a new word which share similarities with the study list), or an *unrelated distractor* (i.e., a new word which share no similarity with the study list). The model estimates parameters from these three different recognition judgments and this provides measures of the rate of answer to target probes and to related distractor based on verbatim and gist representations, also indicating the origins of correct recognitions and false memories. Therefore, it is possible to conduct experiments by varying their modalities and to compare the fluctuation rates of verbatim and gist traces (see Chapter 2, part 2.2 for more information about CR and SCR application).

At each trial presented in our experiment, participants had to memorize four target words and to read aloud four other associated words following each target word in a complex span task paradigm. These associated words were either similar or dissimilar to the target, semantically or phonologically. The presentation pace of these associated words could be slow or fast, allowing the presence of two distinct levels of availability of the attentional refreshing mechanism to the participants. At the end of each trial, participants had to indicate in a recognition task whether an item had been presented or not as a target probe in the trial or whether it was related with one or not (semantically vs. phonologically depending on the condition). They then had to choose between three options: *target probe*, *related distractor*, and *unrelated distractor*, knowing that the item submitted to recognition necessarily responds to one of these answers. These instructions during the recognition task followed the conditions of application of the SCR model (Stahl and Klauer (2008), allowing us to collect and analyze the appearance of false memories at short-term according to the presence of semantic vs. phonological similarity between target probe and associated words. Participants had then to share their attentional resources in WM between target probe maintenance and processing of associated words potentially linked to the target. Depending on the presentation rate of the secondary task (i.e., reading aloud the associated words), participants had more or less time for attentional sharing of resources.

Firstly, as participants did immediate recognition of only four words, we expected good memory performance. The occurrence of false recognitions was certainly expected to be negligible in comparison to the same task with delayed recognition, but our interest resided in WM modulation. Abadie and Camos (2019) demonstrated that the obstruction of WM maintenance mechanisms is at the origin of the apparition of false memories in

immediate test. Therefore, in our experiment, one should expect to observe more false recognition when the task is presented in fast pace compared to slow pace.

The SCR paradigm allowed us to visualize the impact of our factors on parameter estimates for gist and verbatim representations. Gist and verbatim representations should be weakened by the presence of semantic and phonological interference, respectively. In the semantic condition, associated words were semantically similar to targets to be remembered, which might reinforce gist representations as in the DRM task. In the second condition, associated words were phonologically similar to the target, which should affect verbatim representations. Both semantic and phonological dissimilarity between items and associated words in both semantic and phonological cases should not affect neither verbatim nor gist representation. Therefore, in these dissimilar conditions, not another effect but pace should be observed, with better verbatim-based recognition in slow pace. It is also known that concurrent attentional demand in WM has a greatest deleterious effect on verbatim representations than on gist representations (Abadie et al., 2013, 2017; Loaiza, 2020). Thus, a greater concurrent cognitive cost (i.e., fast pace) should more strongly affect verbatim representations, which are more sensitive to high cognitive load, as shown by Abadie and Camos (2019). This should also be reflected in our more attentional demanding condition (i.e., fast-paced presentation).

As false memories are strongly reduced without articulatory suppression (Abadie & Camos, 2019; Atkins & Reuter-Lorenz, 2008), our participants did all the tasks aloud to induce an articulatory suppression. For both interference conditions, we reported true and false recognition scores and the nature of representations that underlined these true recognitions using the SCR paradigm. All predicted effects are summarized in Table 11.

DVs	Semantic interference	Results	Phonological interference	Results
Correct recognition (CR)	More CR compared to phonologic tasks (LTM effect)	✓	Less CR compared to semantic tasks (no LTM effect)	✓
False recognition (FR)	↗ FR of related distractor as target	✗	↗ FR of related distractor as unrelated	✓
	↗ FR in fast pace	✗	↗ FR in fast pace	✗
Verbatim	No similarity effect on verbatim	✓	No similarity effect on verbatim (if so, ↘ verbatim)	✓
	Fast pace ↘ verbatim	✓	Fast pace ↘ verbatim	✗
Gist	Similarity ↗ gist	✓	No similarity effect on gist	✗
	No impact of pace on gist (if so, ↗)	(✓)	No impact of pace on gist (if so, ↗)	(✓)

Table 11. Summary of predictions and main results. ↗ indicates an increase and ↘ a decrease. of effect. ✓ indicates that the effect was shown in our experiment, (✓) for a partial observation and ✗ that it was not. DVs is for dependent variables, CR for correct recognitions and FR for false recognitions.

2. Method

2.1. Participant

Ninety-six native French-speaker students at the University of Fribourg (79 females; mean age $M = 21.3$ years; $SD = 3.62$) did the experiment for course credits or a cinema entrance voucher. None of them took part in the pre-test of the material. The experiment was divided in four conditions: Semantically similar, semantically dissimilar, phonologically similar and phonologically dissimilar. All participants studied both one semantic and one phonologic condition, but since similarity was a between-subjects factor. Half of them ($N = 48$) participated in the similar condition of the semantic or phonologic procedure, and the other half ($N = 48$) in the dissimilar condition for the other procedure. Those who studied firstly a similar condition studied a dissimilar condition in the second part of the experiment, and conversely.

2.2. Material

Unfortunately, there are few experimental materials available in French, and none to our knowledge fully met our needs. We therefore created specific material for this study. Each set of words had to offer one target, four associated words and a related distractor.

For the semantic interference condition, these six words had to be semantically similar (e.g., *storm, fog, drop, cloud, downpour, rain*, in French in the study). Using Bonin et al. (2013) and De La Haye (2003) French verbal association norms, 40 series of 6 mono or bi-syllabic and semantically related words were created. To obtain the semantically dissimilar material, we kept the same target words and related distractors as in the similar material but mixed the associated words so that there was no longer any semantic similarity within series (apart from target and related words which are always similar). Thirty-three French-speaker students (21 females; mean age = 21.4 years; $SD = 1.56$) assessed the associative strength of these words' series (on a Likert scale from 1-not related to 7-very related, $M = 6.67$, $SD = 0.64$ for semantically similar series and $M = 1.68$, $SD = 1.02$ for semantically dissimilar series). The phonological interference material was created using the same logic as the semantic interference material, except that the words in phonological interference condition were all mono syllabic. Phonological similarity was focused on the central phoneme of each word. As participant did both conditions, no word displayed in an interference condition was used again the other one.

In each similar and dissimilar semantic and phonological series, we added a seventh words as an unrelated distractor. This word never had semantic nor phonological similarity with the other words in series. In summary, the semantically similar series (in

French in the study) *storm* (target), *fog*, *drop*, *cloud*, *downpour* (associated words), *rain* (related distractor) and *whistle* (unrelated distractor) became the dissimilar series *storm* (target), *lake*, *knitting*, *alliance*, *parking* (associated words) and still *rain* (related distractor) and *whistle* (unrelated distractor).

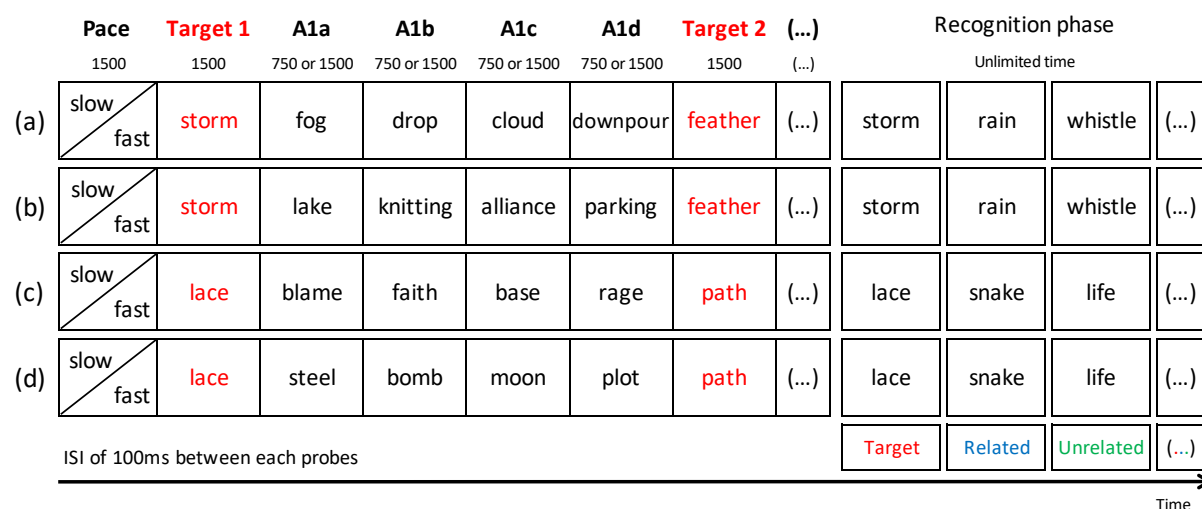


Figure 17. Example of semantically similar (a) and dissimilar (b) trials and phonologically similar (c) and dissimilar (d) trials, in which participants had to read aloud each presented words in a slow or a fast pace and remember the red-inked ones. They then selected in a recognition task if probes were a target, related distractor, or unrelated distractor. Each trial started with the indication of the associated words pace (slow vs. fast). At each trial, 6 words (1 to 3 of each probes category) were presented in recognition phase. ISI of 100ms between each probe are not visually represented in figure.

A total of 280 words per condition was homogeneous in terms of frequencies in language apparition (based on the French linguistic database from New et al. (2001) and grammatical gender, with $M = 40.3$, $SD = 10.6$ and 58% of male nouns in French for semantic condition; and $M = 27.9$, $SD = 4.53$ and 38% of male nouns in French for phonologic condition. Translated examples of trials are provided in Figure 17 and all word

lists are displayed in Appendix H. To ensure that our effects did not come from specific words, half of the participants studied in a counterbalanced way a second wordlist in which the target probes were presented as related distractor and conversely. Within the two similarity conditions (similar and dissimilar), the 40 words series were arranged to form a total of ten trials.

2.3. Procedure

The experiment was presenting using E-Prime 2.0 software (Psychology Software Tools Inc. [E-Prime 2.0], 2012). At the beginning of the experiment, all participants completed a training to get used to the task modalities and requirements. Half of participants studied a similar semantic condition and a dissimilar phonological condition; and the other half studied a dissimilar semantic condition and a similar phonological condition (in a counterbalanced way of order of presentation of the two condition). Semantic and phonological conditions were displayed in the exact same complex span task paradigm of 10 trials. In the recognition phase, it was the phonological similarity at the central phoneme level of the words that mattered for the phonological condition, and the associative links between words in the semantic condition (Figure 17).

At the beginning of each trial, an 1500ms screen “Rapide” or “Lent” (slow and fast in French) informed participants of the presentation rate of the associated words displayed after each target probe. In the slow-paced condition, the presentation rate was of 1500ms vs. 750ms in fast pace. Half of the trials were displayed in slow pace and the other half in fast pace, in a random order. Participant had to read aloud all the associated words until the end of the trial. No matter how fast or slow the associated words were presented, each target probes were systematically presented for 1500ms. To differentiate target probes

from associated words, target probes were displayed in red ink to easily signal that it was a word to memorize. Associated words were black-inked. Between each word, we added a 100ms blank interval (ISI). At each trial, participant had studied 4 target probes and read aloud 16 associated words, semantically or phonologically similar or dissimilar to a target depending on the condition.

Then, followed the recognition test phase. Six words were presented one after the other. For each word, participant had to indicate using predefined keys on the keyboard if it was a *target probe*, a *related distractor*, or an *unrelated distractor*. A visual reminder of the three recognition options remained indicated on the screen during all the recognition task and participant had unlimited time to answer. The program presented one to three words of each category (*target probe*, *related distractor*, or *unrelated distractor*), to systematically reach six words in total. If a target probe was displayed during the recognition task, then the related distractor from the same series was not displayed (and conversely), so as not to give any retrieval clue. At the end of this recognition task, participants were encouraged to run the next trial when they felt ready for it.

In each condition, the whole task was performed under articulatory suppression, as participant had to read aloud all words until the end of each trial. This was mandatory for two reasons: Firstly, without articulatory suppression, the occurrence of false memories, which are our main interest in this study, are strongly reduced (see Abadie & Camos, 2019; Atkins & Reuter-Lorenz, 2011). Moreover, a short-term recognition task of only four words without articulatory suppression would most likely result in a significant ceiling effect without articulatory suppression as it is quite easy for adult participants.

3. Results

To simplify data analysis, we present firstly memory accuracy and gist-verbatim analysis for semantic conditions, and then for phonological conditions.

3.1. Memory accuracy

Bayesian analysis on memory accuracy were conducted on each type of response in both semantic and phonological interference condition with pace (slow vs., fast) and similarity (similar vs. dissimilar) as between-subjects factors. No data nor participant were excluded. Moreover, we observed neither the effect of the order of presentation of similarity conditions (i.e., similar vs., dissimilar, $BF_{10} \leq .130$) nor of the order of presentation of interference conditions (i.e., semantic vs., phonological, $BF_{10} \leq .106$). The order of presentation of the tasks therefore has no impact on our results. All memory accuracy analyses were performed with JASP version 0.11.1 (Love et al., 2019).

Memory accuracy was analyzed as percentage of correct recognitions for each probe item (target, related or unrelated probes, expressed as t , r and u , respectively). We performed three Bayesian analyses with pace (slow vs. fast) and type of responses (target, related or unrelated distractors, expressed as T , R and U , respectively) as within-subjects factors and similarity as between-subjects factor. In both semantic and phonological conditions, a first Bayesian analysis was ran on recognition accuracy when judging target probes (t , recognized correctly as a target T , and then expressed as t,T) or wrongly categorized the target item t as related (t,R) or unrelated (t,U) distractors. A second analysis was made following the same logic when judging a related distractor r (r,T / r,R / r,U) and a third one on unrelated distractors u (u,T / u,R / u,U).

As similarity, like pace, was always presented in task according to a controlled rate of half similar and half dissimilar associated words and participant were forced to choose between the three types of response. These effects could therefore not be analyzed by themselves, but only regarding type of response. This was also reflected in $BFs_{inclusion}$ ($\leq .11$ for similarity and $\leq .09$ for pace). Main effect of similarity showing up in some preferred models was certainly emphasized by its interaction with type of responses. Overall, similarity mostly led to easily categorize all items as related distractors (difference of recognition rate mean for categorization as related distractor, $M_R = +7.54\%$), less as unrelated ones (difference of recognition rate mean, $M_U = -7.15\%$). Similarity had no influence on the categorization of items as target (difference of recognition rate mean, $M_T = -.38\%$). Post-hoc comparisons however indicated that correct recognitions in these three analyses were always significant majorities ($BFs_{10} > 3.28 \times 10^{11}$).

3.1.1. Semantic interference in memory accuracy – Target probes recognition

The best model for targets (t,T / t,R / t,U) included only the main effect of type of responses ($BF_{10} = 3.86 \times 10^{307}$), closely followed by the second preferred model adding the main effect of similarity and the similarity by type of responses interaction ($BF_{10} = 2.52 \times 10^{307}$). Correct recognitions indeed represented an overwhelming majority ($M = 86.8\%$, $SD = 13.4$ for t,T , see Figure 18). Targets were also rarely confused as related ($M_{t,R} = 7.35\%$, $SD = 9.74$) or as unrelated distractors ($M_{t,U} = 5.84\%$, $SD = 9.42$). Post-hoc comparison did not confirm the impact of similarity on target recognition ($BF_{10} = 2.11$ and $BF_{10} = .77$ for similar and dissimilar comparisons for t,R and t,U).

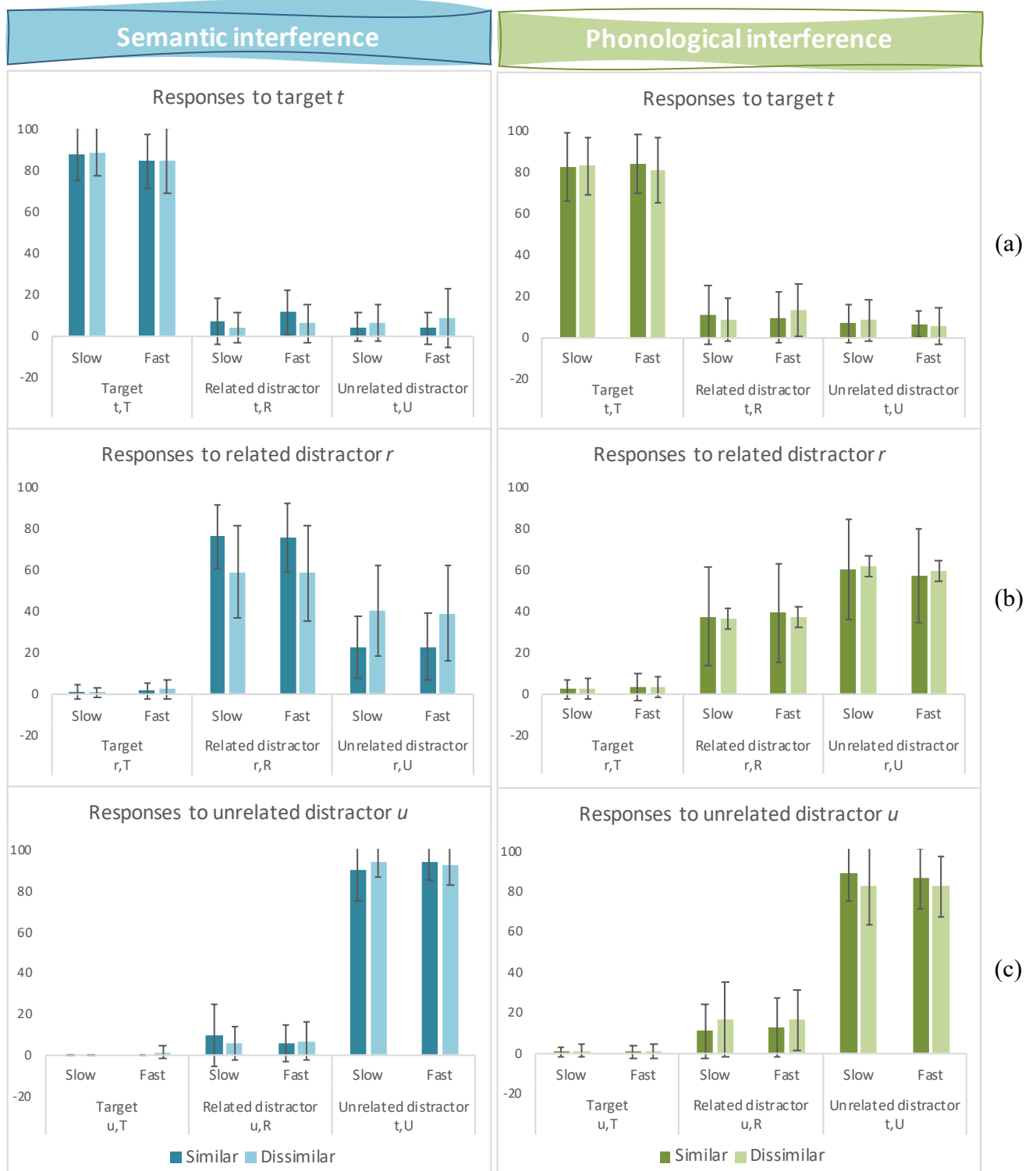


Figure 18. Percentage of correct recognitions for each probe items (target, related or unrelated probes, expressed respectively as t , r and u) in semantic and phonological interferences. (a) represents responses to targets ($t,T / t,R / t,U$); (b) for responses to related distractor ($r,T / r,R / r,U$); and (c) for responses to unrelated distractors ($u,T / u,R / u,U$), always for semantic interference in left panel and for phonological interference in right panel.

3.1.2. Semantic interference in memory accuracy – Related distractors recognition

The preferred model for related distractors ($r,T / r,R / r,U$) also highlighted the main effects of type of responses and of semantic similarity, $BF_{10} = 2.76 \times 10^{166}$. Correct recognition were also majority ($M = 67.5\%$, $SD = 19.5$ for r,R , see Figure 18). If related distractors were almost never categorized as target ($M_{r,T} = 1.46\%$, $SD = 3.57$), they were more commonly confused with unrelated distractors ($M_{r,U} = 31.2\%$, $SD = 19.1$). Bayesian t-test comparisons between both similar and dissimilar conditions indicated that related distractors were more easily miscategorized in the dissimilar condition, but similarity presence helped correct recognition ($M = 76\%$, $SD = 16.1$ for similar r,R and $M = 58.9\%$, $SD = 23$ for dissimilar r,R , $BF_{10} = 590.3$). Semantic dissimilarity led to more false recognition of related items as unrelated distractors ($M = 22.7\%$, $SD = 15.5$ for similar r,U and $M = 39.7\%$, $SD = 22.7$ for dissimilar r,U , $BF_{10} = 697.5$). Semantic similarity had neither impact on the categorization of item as targets ($M = 1.46\%$, $SD = 3.56$ for similar r,T and $M = 1.46\%$, $SD = 3.59$ for dissimilar r,T , $BF_{10} = .16$).

3.1.3. Semantic interference in memory accuracy – Unrelated distractors recognition

When compared to the null model, recognition of unrelated distractors analysis highlighted several models with a $BF_{10} = +\infty$. Hence, we choose the highest BF ($BF_M = 83.5$) as the best one, which only included the main effect of type of response. As in previous analysis, correct recognition were majority ($M = 92.9\%$, $SD = 10.5$ for u,U , see Figure 18). Post-hoc comparisons showed that correct recognitions in these three analyses were always significant majorities ($BF_{10} > 3.28 \times 10^{11}$). Unrelated words were almost never confused as targets ($M_{u,T} = 0.26\%$, $SD = .77$) or as related distractors ($M_{u,R} = 6.83\%$, $SD = 10.4$). BF inclusion indicated a three-way interaction between pace, type of response and similarity for unrelated distractors recognition. However, this interaction

was not included in any of preferred model and was probably enhanced by the absence of categorization of unrelated distractors as target items (respectively similar and dissimilar conditions, $M_{u,T} = 0\%$, $SD = 0$ and $M_{u,T} = 0\%$, $SD = 1.55$).

3.1.4. Phonological interference in memory accuracy – Target probes recognition

The only difference point between semantic and phonological procedure concerned the nature of the interferences induced by the words associated with targets in the similar and dissimilar conditions (i.e., phonological similarity between central phonemes of targets and associated words in the phonological condition). We therefore could proceed in the same three Bayesian analysis on phonological conditions as in semantic conditions, with pace (slow vs., fast) and type of responses (target, related or unrelated distractors, still expressed as T , R and U , respectively) as within-subjects factors and similarity as between-subjects factor. We described these results firstly for recognition accuracy when categorizing target item ($t,T / t,R / t,U$), then when judging related distractors ($r,T / r,R / r,U$) and finally for unrelated distractors ($u,T / u,R / u,U$).

The only main effect of type of responses constituted the preferred model for target recognition ($t,T / t,R / t,U$), $BF_{10} = 6.24 \times 10^{270}$. Post-hoc comparison confirmed that correct accuracies were predominant ($M_{t,T} = 82.8\%$, $SD = 15$) over the confusions as related distractor ($M_{t,R} = 10.5\%$, $SD = 12.4$, $BF_{10} = 4.66 \times 10^{87}$) or unrelated distractor ($M_{t,U} = 6.77\%$, $SD = 8.59$, $BF_{10} = 2.85 \times 10^{107}$). Besides correct recognitions majority, participants confused target a little bit more as related than as unrelated distractors ($BF_{10} = 20.2$). Type of response did not interact with neither similarity ($BF_{inclusion} = .12$) nor pace ($BF_{inclusion} = .08$).

3.1.5. Phonological interference in memory accuracy – Related distractors recognition

Preferred model for related distractors recognition ($r,T / r,R / r,U$) also settled for the main effect of type of responses, $BF_{10} = 2.39 \times 10^{123}$, but interestingly showed a recognition pattern quite different compared to target recognition. Most of related distractor were not recognized as such, but mostly as unrelated distractors ($M_{r,U} = 59.8\%$, $SD = 21.2$), in a significantly superior way than as target or unrelated distractor (respectively $BF_{10} = 5.96 \times 10^{80}$ and $BF_{10} = 1.21 \times 10^9$). Correct recognition r,R accounted for just over a third of recognitions ($M_{r,R} = 37.4\%$, $SD = 21.3$). However, related distractors were more correctly recognized as such than confused as targets ($M_{r,T} = 2.76\%$, $SD = 5.66$, $BF_{10} = 1.56 \times 10^{48}$). Again, neither similarity ($BF_{inclusion} = .05$) nor pace ($BF_{inclusion} = .07$) interacted with type of response and t-test comparisons between similar and dissimilar condition for related distractor categorization confirmed this point ($BF_{s10} > .18$).

Phonological interference in memory accuracy – Unrelated distractors recognition

Finally, recognition of unrelated distractors rather followed the same pattern as targets recognition. Correct recognitions were majority again ($M_{u,U} = 84.9\%$, $SD = 15.6$) and were almost never confused as target ($M_{u,T} = .78\%$, $SD = 3.05$, post-hoc comparisons between the two type of response $BF_{10} = 7.67 \times 10^{133}$) or related distractors ($M_{u,R} = 14.2\%$, $SD = 15.3$, $BF_{10} = 6.05 \times 10^{73}$). The second preferred model for unrelated distractors recognition indicated only this response type main effect ($BF_{10} = 6.84 \times 10^{272}$), as the two previous analyses. The close first preferred model added similarity effect and the interaction between similarity and type of response ($BF_{10} = 1.27 \times 10^{273}$). However, Bayesian comparative t-tests indicated no significant effect of similarity ($BF_{10} = .21$ for u,T , $BF_{10} = .61$ for u,R , and $BF_{10} = .90$ for u,U).

3.2. Gist and verbatim memories

The SCR model (Stahl & Klauer, 2008) of the FTT allows to estimate the probability of retrieving a verbatim or a gist trace of a target given a target probe and when a related distractor was presented in recognition phase. V_t and G_t underlie responses to target probes. For example, judging the target storm in recognition phase and remembering that it was precisely a target according to its verbatim trace, or remembering having studied words related to the semantic network of the storm, so storm was perhaps a target or a related word. Finally, an item will be categorized as new (i.e., unrelated) if no verbatim or gist trace exists for that item. Conversely, V_r and G_r underlie responses to related distractors. For example, when judging the related distractor rain in recognition phase. A verbatim representation categorizes it as related distractors (i.e., the participant remembers the storm target and deduces that rain is thus a related distractor). A gist representation can lead to a categorization of rain as a target or as related distractors (ie, the participant remembers the presence of the semantic network around the rain theme, but no longer remembers precisely the target related to this theme). Again, if the item presented is not supported by any trace, there is no memory of having studied it, the item is therefore new (i.e., unrelated distractor).

Guessing parameters a and b are also available for each experimental condition. The guessing parameter a assesses the tendency to categorize all probes as target and guessing parameter b the tendency the possibility that probe is either a target or a related distractor. We conducted G^2 statistics to examine the effect of our factors on verbatim and gist parameters using the SCR model by Stahl and Klauer (2008) and *multiTree* v046 software (see Moshagen, 2010) to extract these SCR parameters.

We therefore analyzed these retrieval parameters within the SCR procedure to observed these parameters in our nine pattern of recognition ($t,T / t,R / t,U ; r,T / r,R / r,U ; u,T / u,R / u,U$) for similar and dissimilar condition in slow and fast pace. All parameter estimates values and standard deviations for all conditions are displayed in Table 12. As for recognition accuracy, we present firstly SCR analysis for semantic interference and then for phonological interference.

3.2.1. Gist and verbatim for targets and related distractors in semantic conditions

The parameters estimate for semantic interference task fit our data well ($G^2 = 3.06$). Verbatim and gist-based representation for target probe represented the essential of performance. V_t parameters were most prominent compared to G_t (see Table 12). Conversely, retrieving of gist and verbatim trace of targets when presenting a related distractors G_r and V_r showed two drastically different patterns, because G_r was far more prominent than V_r , even outdoing parameters estimates for G_t .

Table 12. Parameter estimates for gist (G_t and G_r) and verbatim (V_t and V_r) representation for targets and related items; and a and b for guessing parameter in each condition.

		G_t	G_r	V_t	V_r	a	b
Semantic							
Similar	Slow	.59 (.07)	.75 (.17)	.88 (.01)	0 (.69)	.01 (.01)	.09 (.01)
	Fast	.74 (.05)	.76 (.18)	.85 (.02)	0 (.74)	.02 (.01)	.06 (.01)
Dissimilar	Slow	.37 (.07)	.57 (.36)	.89 (.01)	0 (.84)	.01 (.01)	.06 (.01)
	Fast	.41 (.07)	.24 (.12)	.84 (.02)	.44 (.09)	.14 (.06)	.08 (.01)
Phonological							
Similar	Slow	.59 (.06)	.27 (.14)	.82 (.02)	.07 (.18)	.07 (.03)	.11 (.01)
	Fast	.56 (.06)	.32 (.12)	.83 (.02)	.02 (.17)	.07 (.03)	.14 (.02)
Dissimilar	Slow	.42 (.07)	.20 (.13)	.83 (.02)	.07 (.15)	.06 (.03)	.18 (.01)
	Fast	.66 (.06)	.27 (.12)	.80 (.02)	.01 (.16)	.07 (.02)	.17 (.01)

Note. Standard deviations are displayed in brackets.

Similarity increased gist-based retrieval for targets G_t ($\Delta G^2 = 21.97, p > .001$) and when presenting a related distractors G_r ($\Delta G^2 = 9.18, p = .01$). However, similarity had no effect on verbatim parameters ($\Delta G^2 = 3.31, p = .19$ for V_t and $\Delta G^2 = 4.37, p = .11$ for V_r). V_t parameters estimates was enhanced in slow-paced condition ($\Delta G^2 = 10.8, p = .004$). The reverse pace effect was observed for gist-based recognition of targets as fast pace enhanced G_t ($\Delta G^2 = 6.19, p = .04$). Pace had no main effect on parameters G_r and V_r ($\Delta G^2 = 4.19, p = .12$ for both parameters).

However, although pace has no effect on G_r when presenting similar words ($G^2 = 3.09, p = .08$), it decreased G_r in dissimilar condition ($\Delta G^2 = 4.19, p = .04$). Conversely, G_t decreased mostly in slow pace and similar conditions ($G^2 = 6.06, p = .01$) and not significantly in dissimilar condition ($\Delta G^2 = 3.19, p = .07$). Guessing parameters a and b were very low ($M_a = .04$ and $M_b = .07$), reflecting the quantitative quality of performance. Parameter a was higher for dissimilar words presented in fast pace, which resulted from the higher use of verbatim-based categorization in this condition compared to others.

To summarize, true recognition parameters G_t and V_t were higher compared to parameters estimating retrieving of targets when presenting a related distractor G_r and V_r , although this difference was emphasized by the almost non-existence of V_r parameters. Semantic similarity enhanced gist parameters, but not verbatim ones. V_t parameters increased in slow pace, which was certainly the origin of the increase of G_t parameters in fast-paced condition by a kind of “push-down, pop-up” phenomenon. Pace had no main effect on G_r , but when comparing similar and dissimilar conditions, we see that this absence of pace effect only concerned similar words as fast pace diminished G_r only for dissimilar words. Finally, when crossing similarity and pace condition, we observed the

reverse interaction effect between pace and similarity on G_t in which slow pace enhanced G_t mostly in similar conditions.

3.2.1. *Gist and verbatim for targets and related distractors in phonological conditions*

All patterns of recognition ($t,T / t,R / t,U$; $r,T / r,R / r,U$; $u,T / u,R / u,U$) for similar and dissimilar condition in slow and fast pace were again observed under the perspective of verbatim- and gist-based recognition for targets V_t and G_t and gist and verbatim-based retrieving as target for related distractors V_r and G_r . Guessing parameters a and b were also included. All parameters' estimates are displayed on lower part of Table 12. The parameters estimate for phonological interference task reached a good reliability, $G^2 = 2.27$, sufficient again to reject null model.

Parameters G_t and V_t represented again most of the performance. However, conversely to semantic condition where parameter G_r was as much important as parameters G_t and V_t , parameters G_r was lower in phonological condition, even still greater than V_r . As already shown in memory accuracy performance, false recognition in phonological condition were then more in the form of classification of related distractors as unrelated ones rather than as targets. For true recognition of targets as such, verbatim-based retrieval was superior to gist-based.

When comparing main effects, results shown that phonological similarity between memoranda and associated words had no impact on neither G_r ($\Delta G^2 = 3.07$, $p = .22$), V_t ($\Delta G^2 = 3.68$, $p = .16$) nor V_r ($\Delta G^2 = 2.26$, $p = .32$). Pace also did not impact any of these parameters either ($\Delta G^2 = 2.68$, $p = .26$; $G^2 = 3.37$, $p = .19$ and $\Delta G^2 = 2.38$, $p = .30$ for G_r , V_t and V_r , respectively). However, gist retrieval of target G_t was influenced by both similarity

and pace. Similar associated words and fast pace increased G_t parameter estimates (respectively $\Delta G^2 = 6.96, p = .03$ and $\Delta G^2 = 9.17, p = .01$). Looking closer, we constated that the similarity effect reversed in the fast-paced condition. G_t parameter was not affected by pace modulation, but G_t decreased far more when dissimilar conditions were presented in fast pace ($\Delta G^2 = 9.05, p = .002$) compared to similar condition in slow pace ($\Delta G^2 = 2.40, p = .73$). Guessing parameters a were low, but parameters b were a bit higher compared to semantic condition ($M_a = .07$ and $M_b = .15$), which reflected the poorest recognition accuracy for these phonological tasks.

In summary, true recognition parameters G_t and V_t were far much higher than parameters estimating retrieving of targets when presenting a related distractor G_r and V_r . Phonological similarity and pace impacted only G_t , on which fast pace and similar words enhanced parameters estimates. Moreover, we saw no effect of pace on similar words, but more G_t estimates in fast compared to slow pace when inducing phonological interference.

3.3. Semantic versus phonological interference comparisons

Three quarters of recognitions were correct. However, correct recognition rate was higher in the overall semantic ($M = 82.4\%, SD = 9.31$) compared to the whole phonological condition, ($M = 68.4\%, SD = 8.55$), $BF_{10} = 2.06 \times 10^{22}$. Therefore, if recognition accuracy for target and unrelated words was comparable through both interference conditions, it was not the case for related distractor categorization, which led to more false recognitions for all pace and similarity conditions in the phonological task. Recognition accuracy in semantic task for related distractor was far better but was influenced by similarity. When the words associated to targets memoranda were dissimilar, participants made more

false recognition like in phonological conditions. Overall, semantic similarity helped correct recognition of related distractors.

Therefore, phonological similarity interfered with the creation of solid verbatim representations of items. Studying the target “*lace*” associated with the phonologically similar words *blame*, *faith*, *base* and *rage* did not have an effect of the recognition of the common middle sound /eI/ compared to an association with the dissimilar words *steel*, *bomb*, *moon*, and *plot*. As a result, the related distractor *snake* is rather classified as unrelated in 60% of cases. In semantic similarity conditions, the association of similar words such as *fog*, *drop*, *cloud* and *downpour* with the target *storm* seemed to create stronger memory representation, as the related word *rain* was easily classified correctly. The trace representation for *storm* was encoded, consolidated, or retrieved when similar words were associated, in such like an implicit deeper level of processing effect.

Gist and verbatim analysis confirmed this last point showing a beneficial effect of semantic similarity on both G_t and G_r . Phonological similarity affected G_t in a more moderate way than semantic similarity did, but still. Verbatim-based retrieval parameters V_t and V_r were never affected by similarity neither in semantic nor in phonological conditions.

Pace increased gist-based retrieval for target G_t in both semantic and phonologic condition, as parameters increased when the tasks were fast-paced. Similarity interacted with pace on G_t also on both semantic and phonological conditions, but not following the same pattern. G_t for phonological condition had no impact when presenting similar words but decreased in slow pace when presented semantically dissimilar words. Conversely,

pace did not affect G_t for semantically dissimilar condition, but G_t decreased more in slow pace for similar words. V_r for semantic condition increased in slow pace probably because of the pace effect on G_t for semantic condition. This was not highlighted in phonological conditions. Pace never impacted nor G_r neither V_r in both interference conditions.

Overall, gist-based retrieval parameters in phonological task were globally lower than in semantic tasks. Gist representations were therefore mostly enhanced by semantic interference. Verbatim-based retrieval for targets V_t remained the most used retrieval processes and their rates were comparable in both interference conditions. Recognition in semantic condition derived from all parameters except from V_r . Only G_t and V_t parameters were important in phonological conditions, while G_r had also an important implication in semantic conditions, reflecting semantic similarity interference in these conditions.

4. Discussion

The present experiment explored the emergence of short-term false in a complex span task paradigm. The study aimed to clarify the role of attentional refreshing and LTM knowledge effect in false memory by integrating pace modulation and semantic interference effect. The impact of semantic interference was compared to phonological interference in a second condition. This study pursued four main goals: (1) Exploring the incidence of short-term false memories depending on the availability of attentional refreshing mechanism, which should enhance false memories when hindered (Abadie & Camos, 2019); (2) examining the contribution of verbatim and gist representations in correct and false recognitions of targets and related distractors; (3) inspecting the modulation of both representations depending on interference effects (i.e., semantic vs.,

phonological) and (4) pace conditions (i.e., slow vs., fast). To achieve these goals, we conducted a complex span task ended by a short-term recognition task of targets probes, related and unrelated distractors. In this task, we manipulated the availability of refreshing by varying the pace presentation of items. Moreover, semantic and phonological interferences were induced by the association of respectively semantic and phonological similar words associated with targets probes within the task. Semantic similarity is known to interfere with gist representations but not with verbatim representations, unlike phonological similarity which is rather known to degrade verbatim memory traces.

Results revealed a vast majority of correct recognitions. Recognition of related distractors in the phonological condition was the only exception in which 60% of related distractors were confused as unrelated ones. Neither pace nor phonological similarity affected recognition, but semantic similarity enhanced correct recognition of related distractors. Therefore, semantic similarity helped to create an overall picture of memoranda that helped in correct recognitions, as also demonstrated by the analyze of parameters estimates. Semantic similarity enhanced gist representations G_t and G_r , leading respectively to either correct or false recognitions. Conversely, phonological similarity only enhanced gist parameter G_t for correct recognition. Slow pace facilitated the use of verbatim-based recognition of target V_t (correct recognition) in semantic condition, but because of this effect, the fast-paced presentation rather led to recourse to more gist representation for target recognition, G_t . This pace effect on G_t was however weaker when presenting semantically dissimilar words. Fast pace had the same effect on G_t in phonological conditions but disappeared when studying phonologically similar words.

4.1. False memories at short-term

As the ease of a short-term recognition task would have predicted, correct recognitions were numerous and always majority in semantic interference conditions, no matter if participants had to recognize targets, related or unrelated distractors. Semantically related and unrelated distractors were rarely confused as targets. In phonological interference conditions, correct recognitions were again majority, but only for target and for unrelated distractor recognition. Phonologically related distractors were indeed mostly miscategorized as unrelated. Similarity effect only increased the correct recognition of semantically related distractors as such. This observation was also not surprising, the associative relatedness recognition between a target (e.g., *storm*) and a related distractor (e.g., *rain*) becoming more and more salient if other similar words are added in the task (e.g., adding *fog*, *drop*, *cloud* and *downpour* vs., *lake*, *knitting*, *alliance* and *parking* in dissimilar condition). Concerning recognition accuracy, semantic similarity acted more like a help from LTM knowledge rather than like interference that would deteriorate memory traces.

Phonological similarity had no significant impact on recognition. Thus, phonological interference led to fragile memory traces. Moreover, phonological similarity between targets probes and associated words (e.g., /eI/ as central phoneme of each presented word) did not influence the fact that phonologically related distractors were preferentially categorized as unrelated in 60% of cases. The absence of detrimental phonological similarity effect (PSE) is quite surprising as it is commonly observed in immediate recall, but joined the previous results by Oberauer et al. (2004) and Oberauer (2009b) who also found no PSE between target probes and distractors in recall tasks. A first explanation for the lack of PSE is given by Oberauer (2009) through the idea that

participants used non-phonological representations of the memory words. The presence of semantic similarity effect in both his results and ours converge on this hypothesis. A second explanation came from the fact that participants did the whole task under articulatory suppression by reading aloud all presented words, which is known to impair PSE. One should ask then if it was wise to impose articulatory suppression in our task. This choice was made in good conscience for three reasons. Firstly, as Abadie and Camos (2019) have demonstrated, verbatim traces are strong enough to counteract gist traces when WM maintenance is optimal, decreasing then the rate of false memories. Our interest concerning attentional modulation, hindering articulatory rehearsal mechanism was in line with our objectives in this study. Secondly, if participants had been able to rely on articulatory rehearsal, the difficulty, or the number of targets within the task would necessarily have had to be increased to avoid a total ceiling effect of correct recognition, which would led to a WM capacities overflow. Lastly, the primary utility of phonological conditions was to offer an angle of comparison to semantic conditions on which we focus our interest.

Beyond semantic similarity effect, most of the correct recognition was not surprising given the fact that immediate recognition test of only four targets was quite easy for adult participants. Moreover, pace had no effect on recognition accuracy for both semantic and phonologic interference conditions, which did not replicate Oberauer's (2009) results in immediate recall task. This absence of pace effect on memory accuracy might be due to the generally great immediate recognition performance or to the fact that recognition does not rely on the same memory processes or structures than recall. We discuss later the possibility to transpose our task to a recall task rather than recognition in a future

study, but if we had started with recall, we could not have applied the SCR model to our data and would therefore have no statistical analysis of verbatim and gist parameters.

4.2. Verbatim and gist representations underlying true and false memories

The SCR model allowed us to estimate the proportion of verbatim and gist representations underlying correct and false recognitions (Brainerd et al., 1999; Brainerd et al., 2001; Reyna & Brainerd, 1998). Verbatim and gist come directly from the observed processes of judgment of similarity versus judgment of identity based on the performance of item recognition and their classification as item recognized as targets and items judged as related to a target. Verbatim representations are known to prevent false memories as these representations do not depend on familiarity but on literal memory traces. Conversely, gist-based retrieval supports false memories because these traces are based on the feeling of familiarity toward the item (Reyna & Kiernan, 1994, 1995), although gist representation may also well lead to true memories. Familiarity-enhancing effects such as deep level of processing (Lindsay & Kelley, 1996) and associative relatedness or semantic similarity effect (Dewhurst et al., 2009; Stahl & Klauer, 2008) increase the use of gist representations, and thus the propensity of false memories both at short and at long-term (Rhodes & Anastasi, 2000; Roediger & McDermott, 1995; Thapar & McDermott, 2001; Toggia et al., 1999).

Our result showed a preponderant use of verbatim representations leading to true recognitions (V_t) in both semantic and phonological interference condition. True recognitions were also supported by gist-based retrieval (G_t) in both conditions. The main difference between semantic and phonological condition relied on gist-based (G_r) recognition of related distractors. In semantic condition, G_r parameter even surpassed G_t .

This result assumes that the recognition of related distractors is mostly gist-based in the semantic condition, whereas in the phonological condition, the recognition is mostly based on guessing.

4.3. Similarity enhances gist-based recognition

Semantic similarity was introduced in our experiment by the associative relatedness between a target word (e.g., *storm*) and his associated words that participants had to read aloud (e.g., *fog*, *drop*, *cloud* and *downpour*). For phonological similarity, the central phoneme of target and associated words were the same (e.g., *lace* associated with *blame*, *faith*, *base* and *rage*). In dissimilar condition, neither semantic nor phonological similarity were presented. Similarity had no effect on memory accuracy, with the already evocated exception of semantically related distractors recognition in which semantic similarity increased true recognitions.

Both semantic and phonological similarity increased gist recognition of targets, G_t . Semantic similarity reinforced gist traces at each new associated word semantically similar to the target, even if this enhancement of G_t did not lead to better or worse memory accuracy. *Fog*, *drop*, *cloud* and *downpour* associated to *storm* consolidated the whole picture of a rainy sky rather than the verbatim surface form of the target *storm*. The presence of semantic similarity also increased gist memory for related distractors. However, if previous results could predict this increase of G_t and G_r for semantically similar trials, we did not predict the same enhancement of G_t and G_r in case of phonological similarity. This impact of phonological similarity was less striking than the effect of semantic similarity but remained still present.

Similarity had no effect on verbatim-based retrieval parameters. We expected that phonological interference would diminish the quality of verbatim representations, but results showed no such effect of phonological similarity. As previously discussed, the PSE on WM accuracy resulted from the phonological loop functioning. In our study, as phonological rehearsal was hindered by articulatory suppression and that the response mode did not require any oral production of the items, it is not surprising that PSE was reduced. However, phonological interferences are known to induce false recognition even at short term (Cam et al., 2019; McBride et al., 2019). Previous results (Budson et al., 2003; Chang & Brainerd, 2021; Holliday & Weekes, 2006; Nieznanski et al., 2019) also argued for an alternative FTT account where phonological interference are driven by phonological gist formed by the similar phonemes shared in a words list, although gist representation are rather supposed to relate to meaning content. Phonological gist or not, false memory effect still results from including distractors in the recall candidate set.

4.4. Distraction of attention and interaction with interference effects

We constated no effect of reading pace on memory accuracy, which was not consistent with our prediction that true recognition would suffer more from attentional diversion induced by fast-paced conditions. A possible explanation lies in the high performance in the recognition task. The task being obviously quite easy, participants might simply not have felt the need to do active maintenance to maximize their recognition performance. Since active maintenance is context-dependent, it is likely that a more complex concurrent task or a recall task instead of recognition would cause this pace effect to emerge, as observed in Oberauer (2009).

However, if pace effect did not affect memory accuracy, we still observed an effect of fast pace decreasing gist memory for targets G_t especially in semantic condition, but also significant in phonological conditions. Pace had no effect on the parameters G_r and V_r , but our results showed an increasing of V_t in slow-paced semantic condition. This reversed pace effect was the result of the fast pace effect observed on G_t in the same condition. In slow pace, participant had enough time to encode verbatim representations, but when fast pace induced less opportunities to refresh memory traces, a trade-off effect promoted gist representations. Although this report had no impact on memory accuracy which could not make the difference between true and false recognition origins, the performance did come from two distinct memory representations (i.e., gist and verbatim). This result reinforced our prediction to observe the effect of pace on recall performance in a future task.

The SCR model did not allow testing interaction effects, but only simple effects. However, looking more closely, we saw that G_t decreased in slow pace especially when presented semantically similar words. In phonological similarity condition, we observed the reverse effect as pace did not affect phonologically similar words, but G_t decreased in slow pace when studying dissimilar words. Pace then affected gist-based true recognition differently depending on the interference similarity. The fact that G_t parameter decreased when studying semantically similar words in slow-paced condition could be explained by the hypothesis that participants used the supplementary time allowed by slow pace to maintain a more exact representation than gist to resist to semantic interference. In phonologically similar conditions, additional time in slow pace could facilitate the preference toward verbatim instead of gist representations, which is easier to do in the absence of phonological interference induced by phonological similarity.

Semantic similarity also enhanced G_r representations leading to false recognitions, which is congruent with FTT predictions. SCR parameter estimations also highlighted that fast pace only decreased G_r parameter for dissimilar words, which is more challenging to understand. One hypothesis which is non-exclusive to this particular parameter might be that cognitive load effect would be task-specific and compensated by LTM knowledge effects in semantic similarity conditions.

4.5. Toward a more intensive active maintenance?

Again, these results reinforced our will to replicate this study using a recall test. The major point to reflect however concerned the distinction between gist and verbatim distinction that SCR model only allowed by using recognition paradigms. Future model or extension of the SCR model could be developed in future research for recall.

We might use the Remember / Know paradigm (Gardiner, 1988; Tulving, 1985) to dissociate recollection and familiarity processes in a recall task. However, this paradigm differentiates recollection and familiarity processes according to the description given by participants as to their experience of recall (remembering studying an item (gist familiarity) vs. knowing exactly (verbatim recollection)). This metacognitive process does not suit statistical analysis and the verbatim and gist retrieval dissociation as complex as subject to misinterpretation (see Gardiner & Parkin, 1990; Richardson-Klavehn et al., 1992; Richardson-Klavehn et al., 1994). Precision of the question asked to participants about their recall could be specified to balance the subjectivity of the recall (e.g., to better specify hesitations).

Cam et al. (2019) observed patterns of recall indicating that phonological interference might depend more on rapidly decaying memory for verbatim representations contrary to semantic interference which increase more and more with long-lasting gist representations, although semantic interference are also observable at short term (consistent with Abadie & Camos, 2019; Nairne & Neath, 2003; Norris, 2017). Both kinds of interference effect can therefore be analyzed in short-term recall. Recall performance analysis combined with the calculation of time latencies or serial position of words during recall phases could give cues about the representations involved during the task. Barnhardt et al. (2006) showed that the recall of non-presented critical words (i.e., false memories) rather appear at the end of recall. In the same idea, words retrieved from literal surface form (i.e., verbatim traces) would be faster to recall compared to word which need reconstruction from gist traces (Rose et al., 2014). Moreover, time latencies are not impacted by concurrent attentional demand (Rosselet-Jordan et al., 2022, see Chapter 5). These methods do not clearly distinguish verbatim and gist-based retrieval but give complementary information in addition to recall performance. Finally, the likelihood of proactive interferences could be increased by establishing semantic or phonological similarity between items on successive lists instead of only between targets and associated words (Bunting, 2006).

6. Conclusion

Most of the studies dealing with semantic or phonological interferences involved LTM recall or recognition tasks of DRM lists. In our short-term recognition task, participants had just studied the items. It is therefore unsurprising that they recognized them easily and showed high performance accuracy. The SCR model distinguished still well gist and verbatim representations leading to true and false recognitions. We

concluded that pace impacted traces maintenance and similarity enhanced gist representation for targets, which also increases the risk of appearance of false memories, particularly in the case of semantic interference.

This is in favor of the existence of two distinct memory systems. Moreover, traces associated with LTM knowledge seems not be fully hold in episodic buffer but come rather from LTM which help traces retrieval. This evidence for a distinction between WM and LTM (or at least episodic LTM) should be examined in an extension of this study with short-term recall. The issue of a recall version of this experiment stems from the impossibility of applying the SCR model differentiating verbatim and gist representations. However, interference effects are particularly interesting as verbatim representations are more sensible to phonological similarity and gist to semantical association. De facto, false memories often preserve the surface form or the semantic meaning of an item (e.g., recalling *frog* or *cloud* instead of *fog*) and the analysis of recall performance would then give interesting information. Moreover, order and time latencies of recall data can also be analyzed and other procedure such as the Remember / Know paradigm could be implicated. In case of independence of WM and episodic LTM, pace should affect the memory component (i.e., verbatim representations) and semantic and phonological interference bias component. Further studies are needed to test these hypotheses.

Résumé et implications du Chapitre 7

Au terme de l'étude présentée en Chapitre 6, nous avons constaté que seules les mémoires récupérées en accès direct étaient affectées par nos manipulations de rafraichissement attentionnel et de présence d'effets de LTM. Mais ces effets étaient-ils attribuables aux mêmes raisons ? Pour répondre à cette question, la présente étude impliquait un modèle semblable au *Trichotomous*, le modèle simplifié de reconnaissance conjointe *SCR*, celui-ci permettant de distinguer l'utilisation de représentations gist et verbatim dans les performances de reconnaissances d'items cibles et de distracteurs. Ce modèle était donc idéal pour observer l'effet des interférences provoquées par la présentation de distracteurs sémantiquement ou phonologiquement similaires aux cibles, ainsi que l'effet d'une demande attentionnelle concurrente sur les représentations en WM.

Il est établi que les interférences de types sémantiques affectent davantage les représentations de type gist du fait de leur sens sémantique proche, alors que les interférences phonologiques brouillent les représentation verbatim en brouillant leurs formes littérales. La nature des représentations que nous pouvons observer lors du rappel ou de la reconnaissance d'items est donc fortement liées à la manière dont ces items ont été encodés.

Nos résultats indiquent un large taux de reconnaissances correctes à court-terme, avec un effet de confusion sémantique dans la reconnaissance de distracteurs reliés, mais aucun effet de la similarité phonologique. Tout comme l'étude précédente, nos résultats indiquent un processus de récupération dual en WM, les deux types de représentations étant impliqués dans les performances observées. Nous constatons également que les connaissances de LTM favorisent un meilleur encodage des traces, alors qu'un coût cognitif concurrent affecte plutôt le maintien des traces. Les connaissances de LTM interviennent à l'encodage pour renforcer les traces et aident à leur récupération sans être affectées par les modulations attentionnelles en WM. Ceci met en avant l'existence de deux systèmes de mémoire distincts. Pour confirmer ceci, une étude complémentaire impliquant une tâche de rappel immédiat plutôt que de reconnaissance est en cours d'élaboration pour observer l'évolution des représentations impliquées en WM.



DISCUSSION GÉNÉRALE



Partie 1. Synthèse et discussion des résultats

La vision d'une WM basée sur l'attention est une notion très partagée dans le domaine d'étude de la mémoire (voir notamment Barrouillet & Camos, 2022; Cowan, 2022; Logie et al., 2021 pour un résumé des approches théoriques; et Majerus et al., 2016 pour une approche neuroscientifique), de même que l'augmentation des performances apportée par la présence de représentations de LTM dans une tâche de WM (voir notamment Hulme et al., 1991). Cette collaboration entre mécanismes de maintien en WM et les connaissances contenues en LTM est essentielle au bon fonctionnement cognitif et de la mémorisation en générale. Développer nos connaissances à propos de cette relation est donc déterminante pour étendre notre compréhension du fonctionnement cognitif global, mais également pour mieux comprendre les processus d'apprentissage (Gathercole, 1998, 1999; Gathercole et al., 1992; Gupta & MacWhinney, 1997) ainsi que certains troubles cognitifs et certaines pathologies (Barrouillet & Camos, 2022; Majerus, 2009, 2013; Martin, 2005; Service, 2009; Thorn & Page, 2009).

Au sein de ce travail, nous apportons des éléments de réponse à cette question en étudiant les aspects qui pourraient soutenir l'interaction entre les deux systèmes de mémoires. Les points clés portent sur la séparabilité des deux mémoires en tant que systèmes distincts, les modulations dans leur collaboration en fonction des effets provoqués par l'implication de connaissances à long-terme dans des tâches WM ainsi qu'en fonction de la disponibilité attentionnelle en WM. Ce dernier chapitre s'applique donc à faire la synthèse des différents résultats observés au sein des études présentées (voir Tableau 13) et discuter des conclusions et nouvelles perspectives qui en découlent. Les limitations et opportunités de continuité de nos travaux sont discutées en fin de chapitre.

Tableau 13. Résumé des effets de coût cognitif (*CL*, indiqués en noir) et des effets de mémoire à long-terme (LTM, indiqués en gris) sur diverses mesures effectuées dans les études présentées en Chapitres 5, 6 et 7.

		Etude 1 : Maintien & LTM		Etude 2 : Accès direct & Recollection				Etude 3 : Interferences	
		Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp3	Exp4 <i>free</i>	Sem	Phono
Rappel / Reconnaissance	CL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×
	LTM	✓	✓		✓	✓	✓	✓	×
Interaction sur perf.	CL × LTM	×	×	×	×	×	×	×	×
Temps de rappel	CL	×	×						
	LTM	✓	✓						
Erreurs	CL	×	✓						
	LTM	✓	✓						
Rappel en LTM	CL				×	×	×		
	LTM				✓	✓	✓		
Accès direct D_t	CL			✓	✓	✓	✓		
	LTM				✓	✓	✓		
Reconstruction R_t	CL			(✓)	×	×	×		
	LTM				×	[CL × LTM]	×		
Verbatim V_t	CL							✓	×
Reconnaissance de cibles	LTM							×	×
Gist G_t	CL							CL × LTM	CL × LTM
	LTM								
Verbatim V_r	CL							×	×
Reconnaissance de dist. relié	LTM							×	×
Gist G_r	CL							CL × LTM	×
	LTM								×

Note : Les ✓ indiquent un effet statistiquement significatif, les × un effet non-significatif. Les effets entre parenthèse indiquent un effet marginal. L'indication « CL × LTM » indiquent une interaction entre les deux facteurs. Si l'interaction est indiquée sur les deux lignes correspondant aux effets simples, alors les effets simples sont significatifs également.

Ce projet de thèse se place dans un cadre de recherche basée sur des modèles théoriques. Si notre vocabulaire et nos prédictions s'inscrivent majoritairement dans le cadre du modèle temporel de partage de ressources (TBRS), ce travail a cherché à comparer les prédictions théoriques d'autres modèles théoriques de la WM. La présentation du rafraichissement attentionnel ainsi que l'effet de coûts cognitifs (*CL*) concurrent sur ce mécanisme tels que décrit par le TBRS constitue une base idéale de travail pour qui s'intéresse aux liens entre rafraichissement attentionnel et effets de LTM,

en plus de la volonté affirmée du modèle à clarifier les processus soutenant les relations entre WM et LTM (voir Barrouillet & Camos, 2015). Ces réponses peuvent apporter de nouveaux éléments à d'autres modèles théoriques, ainsi qu'une vision plus précise quant aux à la manière de concevoir les liens entre les deux systèmes de mémoires.

1.1. La disponibilité attentionnelle ne modère pas l'apport des connaissances à long-terme

Notre première étude avait pour but d'évaluer l'apport d'un effet de LTM (i.e., l'association sémantique) sur les performances en WM en fonction de la disponibilité du mécanisme de rafraichissement attentionnel. Les effets de ces deux facteurs (association sémantique et coût cognitif) ont été évalués sur les empan et performances de rappel ainsi que sur les erreurs commises et les temps engagés durant ces rappels. Les comparaisons des prédictions selon notre lecture du modèle à processus emboîtés (Cowan, 2005; Cowan et al., 2021; Vergauwe & Cowan, 2015) et du modèle de mémoires primaire et secondaire (PSM, James, 1890; Rose et al., 2014; Unsworth & Engle, 2007a) ont été comparées selon ces perspectives comportementales (performances et erreurs) et chronométriques (temps de rappel).

Selon le modèle PSM, les items sont conservés en mémoire primaire (comparable à la WM), à moins que l'attention ne soit distraite par un traitement concurrent ou que les éléments à maintenir ne soient trop nombreux. Dans ces cas où la tâche en cours dépasse la capacité de mémoire primaire, le maintien de ces items est déplacé de la mémoire primaire vers la secondaire (à long-terme) et devront être récupérés à partir de ce système là pour un rappel ultérieur. En conséquence, les effets connus pour impacter la LTM devraient être particulièrement visibles lorsque le rappel repose sur une

récupération en LTM, c'est-à-dire dans ces cas où l'attention a été distraite des items à maintenir. Conformément à cette prédiction, Rose et al. (2014) rapportent un effet de profondeur de traitement (LOP) n'affecte le rappel dans des tâches de WM uniquement lorsque l'attention a été distraite par une tâche concurrente. Cet effet découlant directement de la LTM ne s'observe donc pas si les items peuvent être maintenus en mémoire primaire (voir également Rose et al., 2015 et partie 2.1 du Chapitre 3). Cette vision des relations entre WM et LTM défend donc une idée d'élaboration des traces lors du traitement des items entrant en WM, élaboration pouvant s'enrichir des représentations contenues en LTM en cas de passage desdits items dans le même système. Une telle vision prédirait donc un effet de LTM (i.e., l'effet d'association sémantique dans nos études) plus important en cas de fort *CL* dans une tâche concurrente. Les capacités de mémoire en plein développement chez les enfants étant plus faibles que celles des adultes, les effets de LTM devraient être encore plus forts chez les enfants que chez les adultes en cas de fort *CL* concurrent.

Nos analyses de performances de rappel et de reconnaissance comparant la présence d'effets de LTM et de variations de *CL* concurrent ne démontraient cependant d'aucun effet d'interaction entre les deux facteurs (voir Chapitres 5 et 6 sur le rappel et Chapitre 7 sur la reconnaissance). De plus, si les enfants étaient effectivement plus affectés par l'augmentation du *CL* concurrent et montraient de moins bonnes performances que les adultes, ces effets ne changeaient pas en fonction de la présence ou non d'éléments de LTM dans la tâche (voir Chapitre 5). Ces résultats s'accordent donc bien d'avantage à la vision du modèle à processus emboîtés (voir Cowan, 2022; Cowan et al., 2021 pour une description récente du modèle) décrivant la WM en tant que partie présentement activée de la LTM. Selon les prémices de ce modèle, étant donné que les

traces mnésiques sont toutes rafraichies lors d'un balayage rapide de la composante centrale qu'est la WM, les effets de LTM n'ont aucune raison de varier en fonction de la disponibilité attentionnelle. De la même façon, le niveau de développement limite les capacités générales de mémorisation, mais celles-ci n'ont pas de raison d'être impactées par les effets de LTM différemment qu'un adulte ayant pleinement terminé le développement de ses capacités. Nos résultats sont donc en accord avec les prédictions de ce modèle théorique, avec les effets principaux de *CL*, de LTM et d'âge, mais sans observer aucune interaction entre ces trois facteurs, ni entre les deux premiers. La LTM a bien effet bénéfique sur les performances de rappel, mais cet effet ne varie en aucun cas avec la disponibilité attentionnelle en WM. Dans leur forme actuelle, les hypothèses d'élaboration et de récupération des traces au travers du rafraichissement attentionnel ne s'accordent donc pas avec les observations selon lesquelles le rafraichissement n'est pas modéré par les effets de LTM (voir également Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018; Oberauer, 2009b). Les hypothèses les plus congruentes avec ces observations supposent un rôle prépondérant des représentations de LTM au moment de l'encodage des informations en WM ou lors de leur réactivation.

Au-delà des performances de rappels immédiats, les expériences présentées en Chapitre 5 examinaient également les erreurs et les temps impliqués dans le rappel. Les analyses d'erreurs et de temps impliqués dans le rappel immédiat ont déjà été utilisées par le passé (voir Cowan, 1992; Cowan et al., 1994, 1998, 2003; Hulme et al., 1999; Towse et al., 2008) et apportent des précisions sur la récupération des éléments maintenus en mémoire. Selon une perspective PSM, le rappel d'items récupérés de la mémoire primaire (WM) devrait être plus rapide que celui de ceux récupérés en mémoire secondaire (LTM), car la récupération depuis la mémoire primaire est immédiate, à la manière de

récupération de traces verbatim en accès direct. Le modèle PSM prédirait ainsi un rappel plus lent en cas de fort *CL* concurrent. Selon le modèle de processus emboîtés, la chronologie du rappel d'éléments récupérés directement du focus attentionnel ne serait pas sensible à un *CL* concurrent. Nos résultats concordent à nouveau avec ce dernier modèle en n'indiquant aucun effet de la disponibilité du rafraîchissement attentionnel sur les temps de rappel immédiat. Ces temps de récupération n'évoluent donc pas en cas de *CL* concurrent élevé. Les modèles théoriques dans leur forme actuelle ne nous ont pas permis de formuler de prédiction quant à l'effet de LTM sur les temps de rappel, mais nos résultats ont répliqués ceux de (Hulme et al., 1999) en montrant des temps de rappels plus rapides en présence d'effet de LTM. Comme discuté en Chapitre 5, cette rapidité renforcée par les effets de LTM peuvent être expliqués comme des effets d'amorçage en LTM. La récupération du premier mot d'une série entraîne tous les autres par effet de chaîne, les items étant fortement reliés les uns aux autres dans un même réseau sémantique. Nous n'avons pas reproduit ces analyses de temps de rappel sur notre étude présentée en Chapitre 6, laquelle impliquait l'étude et le rappel de séries de mots sémantiquement reliés ou non-reliés sur trois essais successifs. Cependant, si cette étude devait être reconduite en y analysant la chronologie du rappel, il est probable que l'effet de LTM sur ces temps de rappel serait répliqué au premier essai, et diminuerait ou disparaîtrait progressivement aux essais suivants, de la même manière que l'effet de LTM global disparaissait alors que les groupes de mots non reliés acquéraient progressivement une composante de mémoire à long-terme grâce aux présentations répétées (à la manière d'un effet d'apprentissage). De nouvelles études impliquant l'analyse de la chronologie au sein du rappel pourraient donc être conduites au vu des apports offerts par ce type de mesure.

L'analyse des erreurs commises lors du rappel est plus courante que celle des temps dans l'étude de la mémoire et apporte également un éclairage bienvenu quant à l'impact des effets de LTM sur le rappel et sur les mécanismes qui soutiennent le maintien de l'information. La réduction des omissions durant le rappel en présence d'effets de LTM suppose un renforcement des traces en mémoire de la part de cet effet. La présence d'un cadre sémantique lors du rappel permet également d'écarter tout item candidat au rappel qui ne serait pas en accord avec le gist général de ce cadre sémantique, mais n'apporte cependant aucune protection contre un effet d'interférence phonologique au moment du rappel. Le taux d'erreurs autres que des omissions était faible dans notre étude, mais suffisant pour constater que la présence de connaissances de LTM au sein de la tâche est efficace contre le déclin des traces et contre les effets d'interférences pouvant affecter les représentations en mémoire.

La LTM peut cependant favoriser le rappel au moyen d'un autre mécanisme que celui du rafraichissement attentionnel. Le Chapitre 3 récapitule les hypothèses majeures contemporaines à ce travail concernant ce débat : Élaboration, récupération, reconstruction ou réactivation des traces en mémoire. Comme discuté précédemment, nos résultats ne s'accordent pas avec l'hypothèse d'une meilleure élaboration des traces par effet de LTM. De plus, les résultats des études présentées en Chapitre 5 et 6 ne sont pas non plus favorables envers l'hypothèse de récupération. En effet, l'absence d'effet modérateur du *CL* sur l'effet de LTM indique également que la récupération des items ne dépend pas de l'attention. Ce processus de récupération et celui de rafraichissement représentent ainsi deux mécanismes indépendants bien que pouvant fonctionner conjointement en WM (Voir également Loaiza & Halse, 2019).

Notre première étude établit donc l'absence de modulation des effets de LTM par le mécanisme de rafraichissement attentionnel et apporte des éléments réfutant les hypothèses d'élaboration et de récupération des traces en mémoire telles qu'elles sont actuellement présentées. Cette absence d'interaction entre effets de WM et de LTM sont répliqués sur les performances de rappel dans l'étude présentée en Chapitre 6. Si la nature du rafraichissement attentionnel n'est toujours pas complètement définie, on peut y exclure l'hypothèse d'un rôle de canal d'information entre WM et LTM. Afin d'explorer cette question sous un autre angle, notre deuxième étude (Chapitre 6) se penche sur l'hypothèse selon laquelle le rafraichissement puisse être conçu comme un processus de reconstruction des traces par les connaissances de LTM durant le rappel d'une manière semblable au processus de *redintegration* de Hulme et al. (1991).

1.2. Prédominance de l'accès direct et absence d'effet sur la reconstruction des traces

Comme discuté précédemment, plusieurs résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle les performances de rappel dans les tâches d'empan complexes en WM s'appuient au moins en partie sur la récupération de traces depuis la LTM (Loaiza et al., 2011; McCabe, 2008; Unsworth & Engle, 2007a; Unsworth & Spillers, 2010). Ces résultats suggèrent que les éléments encodés en WM peuvent accéder aux représentations contenues en LTM épisodique durant le temps disponible au terme de chaque traitement de la tâche concurrente. Ainsi, une tâche concurrente à *CL* plus faible accorde un contexte plus favorable à une meilleure récupération des éléments en LTM, alors qu'un fort *CL* concurrent accorde certes plus d'occasions de récupération, mais est associées à une plus faible probabilité de réussite (Jarrold et al., 2010; Loaiza et al., 2011). En parallèle, l'hypothèse de la reconstruction des traces au moyen des traces de LTM prédit également

un effet facilitateur de la LTM sur la reconstruction des traces résiduelles en WM au moyen des indices fournis par les connaissances de LTM (Clarkson et al., 2016; Guitard et al., 2018; Hulme et al., 1997; Poirier et al., 2011; Schweickert, 1993; ou voir Chapitre 3, partie 2.3). La différence principale entre ces deux hypothèses réside dans l'augmentation ou la diminution des performances en WM quand un effet de LTM est impliqué dans une tâche à fort *CL*. Selon l'hypothèse de récupération, en cas de fort *CL* en WM, les performances associées à la présence d'un effet LTM augmentent pour les éléments qui ont bien été récupérés. Selon l'hypothèse de la reconstruction, en cas de fort *CL* en WM, les effets de LTM devraient s'en voir diminués et le besoin de reconstruction augmenter.

Notre étude présentée en Chapitre 6 observait la nature des processus impliqués dans le rappel en WM. Les facteurs de *CL* concurrent et d'effets de LTM tels que précédemment utilisés dans la seconde expérience du Chapitre 5 ont été repris dans cette nouvelle étude. Les performances de rappel obtenues au terme de cette étude répliquaient les observations décrites en partie 1.1 du présent chapitre. La procédure de présentation des essais en trois cycles successifs d'étude et de rappel (S_1T_1 , S_2T_2 , S_3T_3) ont permis l'application du modèle *MPT Trichotomous*, établissant ainsi une estimation de la présence relative des paramètres d'accès direct (D_1 et D_2), de reconstruction (R_1 et R_2) et d'application d'un jugement de familiarité (J_1 , J_2 et J_3) dans le rappel des essais au premier cycle S_1T_1 et lors du rappel aux essais successifs S_2T_2 et S_3T_3 . Nos résultats indiquent la présence des deux processus connus d'accès direct et de reconstruction dans le rappel en WM, avec une large prédominance du premier processus sur le second. L'accès direct aux traces diminuait en cas de fort *CL*, ce qui est en accord avec le fait que la disponibilité attentionnelle constitue un facteur important tant dans le maintien que dans l'accès aux traces, ainsi qu'avec le fait que ces traces peuvent être récupérées directement en WM. De

plus, la présence d'un effet de LTM au sein de la tâche augmentait également la probabilité d'accès direct aux traces D_1 sans affecter le processus de reconstruction R_1 et R_2 . Si ces premiers résultats sont en accord avec le modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2015), il le sont moins avec l'hypothèse selon laquelle le rafraichissement s'apparente à un processus de récupération (*covert retrieval*, voir Loaiza & McCabe, 2013). En effet, malgré une prédominance marquée du processus d'accès direct, celui de reconstruction reste présent en WM même lorsque le CL de la tâche secondaire est plus faible. Si en cas de faible CL tous les éléments étaient maintenus en WM, on n'observerait alors uniquement un processus de recollection, sans effet important de la LTM sur cette recollection. Cependant, il est à noter que nos essais comportaient six items à maintenir, dépassant ainsi la capacité connue de la WM. Pour valider cette conclusion, il serait approprié de répliquer cette étude en proposant une procédure d'empan en incrémentation de quatre à huit items plutôt que des listes fixes de six items. Ceci permettrait de comparer les résultats d'une tâche au nombre d'items en adéquation avec les capacités de la WM et ceux d'une tâche qui les dépassent clairement. Parallèlement, une condition en empan simple à faible nombre d'items à comparer avec notre tâche d'empan complexe permettrait également l'observation d'un maintien d'items purement en WM, en accord avec le modèle théorie PSM.

Ensuite, l'impact bénéfique des connaissances à long-terme sur la recollection d'items indique une favorisation de l'encodage des items reliés. De plus, nous n'avons pas observé d'effet du CL sur les essais à composante LTM, probablement du fait de l'encodage ou de la réactivation simplifiée des items (i.e., par un effet de *chunking*). De son côté, le processus de reconstruction n'a pas été affecté par la présence de connaissances de LTM, ce qui s'accorde avec la vision d'une réactivation ou d'un encodage d'items facilités par la

LTM. Une troisième et une quatrième expérience ont été menées afin d'éprouver la prédominance de l'accès direct sur notre tâche de WM en induisant toujours plus les participants vers une stratégie de reconstruction. Dans ces expériences, les effets précédemment constatés de *CL* et d'effet de LTM sur les paramètres de rappel ont été répliqués, mais l'effet de LTM affectait également le processus d'accès direct durant les essais successifs D_2 , démontrant ainsi d'un nouvel encodage des items. Dans ce contexte, un effet marginal de la LTM a pu être observé sur la reconstruction du premier essai R_1 . Nous avons donc cherché à supprimer tout indice contextuel offert par la procédure de la tâche suivante afin d'éprouver nos résultats mais n'avons obtenu aucun effet significatif sur les processus de reconstruction, répliquant simplement les effets déjà constatés sur l'accès direct. La prédominance de l'accès direct en WM ne dépend donc pas de la disponibilité attentionnelle en WM et est favorisée par les effets de LTM. Une fois qu'une trace est formée en LTM après un premier essai de rappel, ce dernier effet disparaît dans les essais successifs ; à moins d'induire un nouvel encodage en différant chronologiquement les nouvelles présentations des essais ou en bousculant l'ordre de présentation des items dans les essais successifs au premier.

La prédominance écrasante du processus de recollection en WM corrobore de précédentes conclusions selon lesquelles il est difficile d'assimiler le mécanisme de rafraichissement attentionnel en WM à un processus de reconstruction ou de *redintegration* (voir également Camos et al., 2019). Ceci suggère que la WM implique davantage un processus de réactivation des items afin de garantir au maximum leur accès direct. L'encodage d'items à composantes de LTM (i.e., en association sémantique, plus fréquents, etc.) favorise une réactivation optimale de ces traces, ainsi que le démontrent les effets de LTM constatés sur les performances de rappel au sein de nos expériences,

ainsi que la disparition de cet effet au fil des essais successifs, soit au moment même où les groupes de mots originellement sans lien avec la LTM bénéficiaient des traces formées en LTM après le premier essai de rappel.

1.3. Représentations gist et verbatim en mémoire de travail

Alors que nous pensions observer un effet du *CL* sur l'accès direct et un effet de LTM sur la reconstruction en WM, les résultats présentés en Chapitre 6 montrent au contraire que seul l'accès direct aux traces en WM est affecté par les deux facteurs, sans qu'aucun n'impacte la reconstruction. Cependant, cet impact ne découle pas nécessairement des mêmes sources. Au vu de ces résultats, nous avons souhaité tester l'hypothèse selon laquelle l'effet de LTM favorise l'encodage des traces et le *CL* affecte négativement leur maintien en WM. L'étude réalisée en Chapitre 7 cherchait à dissocier ces deux effets en manipulant la nature des items présentés de manière à moduler l'encodage des informations, tout en maintenant notre variation du *CL* de la tâche concurrente afin d'observer le maintien en WM.

L'encodage, le maintien et la récupération de traces mémorielles, qu'elle soit effectuée par un processus d'accès direct ou de reconstruction, comprennent systématiquement deux types de représentations (voir FTT; Brainerd & Reyna, 2002; Reyna, 2012a; Reyna & Brainerd, 1995). Les représentations verbatim représentent la forme littérale et de surface de l'information et les représentations gist le sens général de l'information. Dans le cadre d'un examen de connaissances, les réponses apprises par cœur sont ainsi basées sur les représentations verbatim. Les représentations gist permettent la mémorisation globale, les jugements et les prises de décisions (Reyna & Kiernan, 1994).

La nature des représentations est liée au contexte dans lequel elles ont été encodées. Notre étude ajoutait donc dans sa tâche d'empan complexe des items distracteurs qui interféreraient avec les items à mémoriser. Dans les précédentes études, nous avons fait attention à ce qu'aucune interférence ne soit présente afin de ne pas biaiser nos observations, mais cette fois-ci nous avons cherché à induire et contrôler cet effet d'interférence. L'ajout de matériel plus ou moins interférant permet de moduler la nature représentationnelle des items à mémoriser. L'interférence sémantique est connue pour affecter les représentations gist et l'interférence phonologique affecte directement les représentations verbatim. Notre variable d'effet de LTM commune à toutes nos études changeait donc quelque peu, passant de soutien à la WM à un effet d'interférence, bien que celui-ci puisse toujours rester bénéfique aux performances. En effet, dans une étude similaire, Oberauer (2009) observait un apport bénéfique de la présence de similarité sémantique entre mots cibles et mots distracteurs dans le rappel de mots cibles. La présence de mots sémantiquement reliés à un mot cible peut donc favoriser son encodage, son maintien et/ou son rappel du fait de leurs caractéristiques communes de sens. Ainsi, la représentation gist de l'item *plume* est renforcée par la présence de *cage*, *œuf*, *oiseau* et *bec* (voir Figure 17 pour des exemples en anglais). Cependant, il est également observé que le gist commun entre ces mots perturbe le processus de jugement de familiarité pour les distracteurs interférant (voir Sadeh et al., 2014 pour une revue). Ces distracteurs ou de nouveaux mots sémantiquement reliés à ce gist commun peuvent alors être faussement rappelés ou reconnus en tant que cibles (Brainerd & Reyna, 2002, 2005; Brainerd et al., 2001; Reyna, 2008, 2012a; Reyna & Brainerd, 1995, 1998; Reyna et al., 2016), même en WM au terme d'une tâche de reconnaissance immédiate (Abadie & Camos, 2019).

A l'inverse, la présence d'un effet de similarité sémantique entre les items (*PSE*, voir Chapitre 1, partie 1.1) a été généralement observée comme détériorant le rappel de ces items (Baddeley, 1966, 2007; Camos et al., 2013; Camos et al., 2011; Larsen et al., 2000; Macnamara et al., 2011; mais voir Copeland & Radvansky; Tehan et al., 2001 qui constatent un effet de facilitation par la similarité phonologique). Dans son étude impliquant également une interférence d'ordre phonologique, Oberauer (2009) concluait que l'effet *PSE* induit surtout une confusion entre les traces mémorielles au moment de l'encodage. La représentation verbatim de l'item *plume* est négativement affectée (i.e, devient plus floue) par la présentation de *rune*, *chute*, *nuque* et *cure*. Cette conclusion s'accorde également à de précédentes études relevant une diminution des performances en cas de présentation d'items aux caractéristiques de surface trop proches (e.g., la couleur, la position sérielle, le nombre de lettre, etc., voir Lange & Oberauer, 2005; Oberauer, 2005; Oberauer et al., 2004). Cependant, qu'elles soient bénéfiques ou non aux performances, notre intérêt premier concernant ces effets d'interférence repose sur l'impact qu'elles ont respectivement sur les représentations qu'elles affectent : Gist pour l'interférence sémantique, verbatim pour la phonologique.

Cette étude avait donc pour but d'observer l'évolution des représentations gist et verbatim en fonction des effets d'interférence présentés, ainsi qu'en fonction du *CL* imposé dans la tâche d'empan complexe. Les paramètres pour les représentations gist et verbatim ont été évalués en fonction de l'identification des cibles présentées dans la tâche et des distracteurs qui leur sont reliés grâce à l'application du modèle de reconnaissance conjointe de Brainerd et al. (1999) tel que simplifié par Stahl et Klauer (2008, *SCR*). Les performances de nos participants à cette tâche de reconnaissance étaient très élevées, à l'exception des mots phonologiquement similaires à des cibles qui étaient

majoritairement confondus avec des mots nouveaux et non-reliés, alors que la similarité sémantique favorisait les reconnaissances correctes de ces distracteurs reliés. Ceci va dans le sens des effets attendus des deux conditions d'interférence. Notre intérêt principal concernait l'implication des représentations gist et verbatim G_t et V_t pour la reconnaissance des cibles et G_r et V_r pour la reconnaissance des distracteurs reliés.

Tel que prédit, la présence de similarité sémantique au sein de la tâche conduisait à une augmentation des représentations gist G_t et G_r . Cependant, nous avons également constaté que la similarité phonologique n'augmentait le recours au gist pour la reconnaissance de cibles G_t . Un CL plus faible favorisait le recours aux représentations verbatim pour l'identification de cibles, et en conséquence diminuait le recours au gist en condition de CL plus important. Cet effet d'un fort CL sur les représentations gist se voyait diminué en présence de similarité sémantique, qui renforce par essence ce type de représentation. En présence de similarité phonologique, cet effet du CL n'était pas visible.

La présence de similarité sémantique ou phonologique entre items cibles et distracteurs n'a montré aucune incidence sur l'utilisation des représentations verbatim dans notre étude. Si cet effet sur les verbatim n'était attendu en présence de similarité sémantique, la similarité phonologique est connue pour diminuer la qualité de ce type de représentations (bien qu'également absente dans les résultats d'Oberauer (2009), dont nous avons répliqué une partie de la procédure, à l'exception de la phase de rappel d'items que nous avons remplacé par une phase de reconnaissance). L'absence de PSE dans nos données peut s'expliquer par deux facteurs principaux. Premièrement, et selon l'hypothèse d'Oberauer (2009), il est possible que les participants aient usé de représentations non-phonologiques maintenir pour les items cibles, contrecarrant ainsi

le *PSE*, mais pas celui de la similarité sémantique (tels qu'observés dans son étude et dans la nôtre). Ensuite, les participants effectuaient l'entièreté de la tâche sous suppression articulatoire (voir Chapitre 1, partie 2.3.1), dont la diminution, voir l'annulation, des effets phonologiques est une des conséquences notables (Baddeley & Logie, 1999; Camos et al., 2009). Répliquer notre étude sans articulation concurrente est donc envisageable, mais ne se prêtait pas à une tâche de reconnaissance. En effet, l'entière disponibilité des mécanismes de maintien en WM (i.e., le rafraichissement attentionnel et la répétition articulatoire) permet la formation optimale de représentations verbatim, ce qui diminue fortement l'apparition de faux souvenirs au terme d'une tâche de WM (Abadie & Camos, 2019). Nous avons donc choisi de manipuler la disponibilité du rafraichissement attentionnel au travers de variation du *CL* et d'endiguer la répétition articulatoire par une articulation concurrente afin que notre tâche soit en mesure de faire émerger des fausses reconnaissances en quantité suffisante pour une analyse statistique fiable.

Une tâche de rappel plutôt que de reconnaissance augmenterait suffisamment la difficulté globale de la tâche pour tout de même distinguer vrais et faux souvenirs malgré l'accès libre au mécanisme de répétition articulatoire. Dans le même ordre d'idée, si l'effet du *CL* était observable sur les paramètres gist et verbatim, nos résultats ne révèlent aucun effet du *CL* sur les performances de reconnaissances globales, contrairement à ce qu'Oberauer (2009) observait sur sa tâche de rappel. Cette absence d'effet découle donc probablement du remplacement de la tâche de rappel par une tâche de reconnaissance, trop simple pour que les participants s'engagent totalement dans un processus de maintien actif. Cependant, il est à noter qu'un *CL* important affectait négativement la formation de traces gist pour les vraies reconnaissances (G_t), alors qu'un *CL* plus faible permettait l'émergence de plus de représentations verbatim (V_t) dans les conditions de

similarité sémantique. En somme, une meilleure disponibilité attentionnelle favorisait la formation de représentations verbatim, alors qu'en cas de traitement concurrent plus important, les traces gist, plus globales, étaient privilégiées. Le paramètre G_t pour les reconnaissances en condition sémantiquement similaires diminuait d'ailleurs particulièrement en situation de faible *CL* concurrent.

Il est possible qu'en condition croisée de similarité sémantique et de faible *CL*, les participants aient pu utiliser cette disponibilité attentionnelle pour contrer l'interférence sémantique en formant des représentations plus exactes et moins basées sur le sens (i.e, des représentations verbatim). Le même effet est observé en condition de non-similarité phonologique, ce qui suppose également que cette disponibilité attentionnelle ait pu diriger les participants vers des représentations verbatim, mais pas en situation de similarité phonologique où l'interférence fragilise trop ce type de représentation.

Partie 2. Limitations et continuités des études présentées

Dans cette dernière partie, nous nous attachons à émettre un regard critique sur les études présentées précédemment, ainsi que sur plusieurs points importants du champ théorique global entourant nos questionnements. Ce faisant, nous apportons également nos nouveaux objectifs dans la continuité de ce travail.

2.1. Divergences à propos de la présence ou non d'interaction entre rafraichissement attentionnel en WM et effets de LTM

En contradiction avec nos résultats et ceux de précédentes études (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018), certaines études ont mis en avant une modulation en WM d'effets de LTM par le rafraichissement attentionnel (voir notamment

Abadie & Camos, 2018; Rose et al., 2014). Des explications à ces résultats contradictoires peuvent se trouver dans l'hypothèse selon laquelle les connaissances à long-terme favoriseraient un meilleur encodage en LTM (Karpicke & Roediger, 2008; Roediger & Karpicke, 2006), ou dans celle où les connaissances à long-terme aideraient à la reconstruction (ou *redintegration*) des traces dégradées (Hulme et al., 1997). Ces hypothèses ont notamment été respectivement explorées en Chapitres 7 et 6. Dans un rappel différé, nous avons observé en Chapitre 6 que la présence d'un effet de LTM aboutissait également à de meilleures performances de rappel immédiat, mais toujours sans observer de modulation de cet effet par la disponibilité attentionnelle (ni d'effet principal de ce dernier facteur contrairement à de précédentes études à court terme, voir Camos & Portrat, 2015; et à long-terme, voir Jarjat et al., 2018; Jarjat et al., 2020). La considération de ces résultats ne peut cependant être faite qu'en tenant compte des trois cycles successifs d'étude et de rappels immédiats de même groupe d'items, ce qui peut est très probablement la cause de l'absence d'effet de *CL* sur les performances différées. Les présentations successives compensent progressivement l'impact délétère d'un fort *CL* concurrent, même à court-terme. Le bénéfice de l'effet de LTM dans les performances de rappel différé peut être également attribué à une facilité supérieure d'encodage pour les items à composantes de LTM (i.e., reliés sémantiquement, plus fréquents, mieux connus, etc.), et bien sûr à la plus grande résistance au déclin des traces gist basé sur le sens sémantique, lesquelles étaient favorisées par la présence de l'effet de LTM (Brainerd et al., 2011).

Au-delà des considérations d'une facilitation des processus d'encodage et/ou de reconstruction, influée ou non par la disponibilité du rafraichissement attentionnel, il est permis de penser que le rafraichissement puisse ne pas être le seul mécanisme sous-

jacent aux performances de rappel. La comparaison des effets de nos variables sur des performances de rappels immédiats et différés pourrait apporter certains indices, notamment quant aux hypothèses soulevées ci-dessus. En effet, le maintien actif de traces en WM crée des représentations en LTM, qui peuvent alors être accédées plus facilement de manière différée. Si ces traces peuvent être intégrées à un réseau de connaissances préexistant en LTM, elles s'en voient consolidées. Le rappel différé de ces traces devrait donc impliquer un processus de reconstruction facilité en cas de meilleures conditions d'encodage ou de l'augmentation des opportunités de réactivation des items en WM par un *CL* plus faible et d'associations possibles en LTM (voir Barrouillet & Camos, 2015 pour une vision complète).

2.2. Le rafraichissement attentionnel : Trop rapide pour être capté dans des données comportementales ?

Une remarque récurrente et légitime lors nos différentes présentations des résultats de notre première étude quant à l'absence de modulation des effets de LTM par la disponibilité attentionnelle réside dans l'hypothèse suivante : *« L'action du rafraichissement attentionnel est peut-être si rapide ou si implicite que vos paradigmes n'arrivent simplement pas à capter une interaction qui pourrait bien exister »*. Bien qu'ayant répliqué cette absence d'interaction sur toutes nos expériences et que de précédentes études corroborent nos résultats (Camos et al., 2019; Campoy et al., 2015; Loaiza & Camos, 2018), nous reconnaissons bien sûr un tel risque.

Dans un projet parallèle à cette thèse, nous nous sommes penchées sur la mesure de l'impact des effets de LTM directement sur la vitesse du rafraichissement attentionnel par électro-encéphalographie. Cette étude avait pour but d'examiner la vitesse du

rafraichissement attentionnel en WM en termes d'ondes cérébrales et en fonction des conditions expérimentales présentées. A nouveau, la similarité sémantique présente ou non au sein des items à maintenir permettaient de manipuler la présence d'effet de LTM et le *CL* d'une tâche secondaire visuelle (par jugement de localisations spatiales) modérait la disponibilité attentionnelle. Cette étude est toujours en cours et compte actuellement une douzaine de participants. Dans une précédente étude n'impliquant que la variation du *CL*, Vergauwe et al. (2016) étaient parvenus à différencier les ondes cérébrales correspondant aux activités de maintien et de traitement et observent clairement les moments lors desquels les items étaient rafraichis. Il serait donc possible de différencier ces activités en variant également la présence d'un effet de LTM. Si les ondes cérébrales suivent les mêmes patterns en présence et en absence d'effet de LTM, alors ces effets de LTM ne seraient pas liés aux processus de maintien, mais plutôt à ceux d'encodage. A l'inverse, si en présence de LTM les traces sont plus rapidement rafraichies, cela correspondrait davantage à l'hypothèse de réactivation des traces au moyen du rafraichissement attentionnel.

2.3. Processus d'accès direct et de reconstruction en rappel libre en WM

L'application de modèles multinomiaux tels que le modèle *Trichotomous* et le *SCR* présente bien des avantages, mais également certains biais qu'il faut prendre en compte. Brainerd et Reyna (1993) soulignent notamment la vulnérabilité des traces verbatim aux effets d'interférences. De fait, l'accès direct à ce type de représentations se complexifie au fur et à mesure que le test progresse, tel que nous avons pu le constater en brouillant les indices contextuels soutenant le rappel lors de nos deux dernières expériences du Chapitre 6. Un phénomène de souvenirs illusoires, soit l'accès direct ou la reconnaissance assurée d'items n'ayant jamais été présentés, peut alors être observé sans que les modèles

ne puissent les identifier comme tels (voir Payne et al., 1996). Les participants ne s'engageraient donc dans un processus de reconstruction qu'au moment où l'accès direct commence à échouer. Si nous n'avons pas observé d'effets de ré-encodage autres que ceux que nous avons délibérément cherché à provoquer au travers des changements d'ordre de présentation des items et des chronologies de présentations des essais, nous souhaitons tout de même réitérer la dernière expérience présentée en Chapitre 6 et impliquant l'analyse du modèle *Trichotomous*. Bousculer l'ordre sériel des mots d'un essai à l'autre serait hautement instructif du fait de la variation des observations faites entre une analyse de rappel sériel d'une analyse de rappel libre. En effet, le modèle *Trichotomous* ne distingue pas non plus un non-rappel d'une interversion sérielle d'items. Des biais peuvent donc apparaître, tels que nous l'avons observé dans notre quatrième expérience. Reconduire cette même expérience en rappel libre et avec une consigne de rappel libre validerait ses résultats. L'analyse des erreurs commises lors des différents rappels, l'extension vers d'autres tâches que celle d'empan complexe, l'implication d'autres populations (etc.) complémenteraient également ces premiers résultats dans l'utilisation du modèle *Trichotomous* dans une tâche de WM.

2.4. Observer les représentations gist et verbatim également en tâche de rappel à court-terme

Les prémices de la *FTT* (Brainerd & Reyna, 2002) à propos des représentations impliquées dans les processus de mémoire à long-terme ne sont plus à prouver, ayant été validé au fil de nombreuses études. Cependant, le transfert de ces prémices vers la WM ouvre un champ de recherche immense et fascinant (voir Abadie & Camos, 2019; et Rousselle et al., 2021 pour une étude sur les fausses mémoires en WM chez les enfants).

Les résultats de notre dernière étude (Chapitre 7) indiquent un effet des similarités sémantique et phonologique sur les représentations verbatim et une compensation au *CL* concurrent par les représentations gist. Au vu de ces résultats, la transposition de notre expérience en une tâche de rappel nous intéresse d'autant plus afin d'aller plus loin dans nos observations et clarifier l'apparition des effets de *CL* et de *PSE* sur les données comportementales (i.e., des performances de rappel plutôt que de reconnaissance). Cependant, le modèle *SCR* permettant la distinction entre représentations gist et verbatim ne s'applique pas sur une tâche de rappel. D'autres paradigmes permettent l'observation de ces représentations qui forment notre principal intérêt dans cette étude, tel que le paradigme *Remember / Know* (Gardiner, 1988; Tulving, 1985b, voir Chapitre 3, partie 3.1). Ce type de paradigme implique cependant une expérience subjective de la part des participants quant à la fiabilité de leurs propres souvenirs (voir Gardiner & Parkin, 1990; Richardson-Klavehn et al., 1992; Richardson-Klavehn et al., 1994), c'est pourquoi nous envisageons d'autres modèles de type *MPT* ou une extension du modèle *SCR* qui pourraient répondre à nos objectifs. Une possibilité intermédiaire serait de préciser les demandes du paradigme *Remember / Know* en s'inspirant du modèle *SCR* ; c'est-à-dire en demandant aux participants de préciser pour chaque item rappel s'il s'agissait d'un item cible, d'un item pour lequel ils hésitent entre le statut de cible ou de distracteur relié, d'un distracteur relié ou s'ils donnent une réponse au hasard. Si cette clarification n'enlève pas le problème de la subjectivité, elle permettrait tout de même de la compenser grâce à une estimation contrastée d'une vraie mémoire et d'une hésitante.

Un complément à cela pourrait résider dans l'analyse de la position sérielle donnée lors d'un rappel libre. En effet, les faux souvenirs apparaissent le plus souvent en fin de rappel, car ils découlent d'un processus de reconstruction et d'un jugement de familiarité

faussé (Barnhardt et al., 2006). La seconde expérience de l'étude présentée en Chapitre 1 impliquait le rappel de mots sémantiquement reliés et non-reliés et deux conditions contrastées de *CL* au sein d'un paradigme d'empan complexe, soit un paradigme semblable à celui qui pourrait être utilisé dans une réplication de notre étude impliquant des effets d'interférence.

Rose et al. (2014) ont également proposé l'analyse des temps engagés lors de la phase de rappel des mots comme indicateur des représentations activées. Les représentations gist seraient effectivement rappelées après les représentations verbatim, en plus de ne pas être affectés par une manipulation du *CL* (voir Brainerd, Bialer, Chang, et al., 2021 pour une dizaine d'expériences démontrant que les temps de rappel dépendent notamment de la qualité d'accès aux représentations verbatim).

Notre but serait donc de poursuivre les mêmes objectifs que ceux présentés en Chapitre 7 sur un paradigme de rappel immédiat plutôt que de reconnaissance. Au vu de nos derniers résultats et du contexte théorique connu, nous pensons observer un effet du *CL* sur les représentations verbatim et un effet de l'interférence sémantique sur les représentations gist. L'interférence phonologique devrait plutôt affecter les représentations verbatim. Tel qu'évoqué précédemment, le paradigme doit être repensé afin de pouvoir observer suffisamment des faux souvenirs et en différencier la source d'apparition. Une solution complémentaire pourrait résider dans l'augmentation des effets d'interférences sémantiques et/ou phonologiques par la présence de la même similarité non pas seulement intra-essai, mais également au sein d'essais suivant (Bunting, 2006).

2.5. Un rôle de la répétition articulatoire ?

Le rafraichissement attentionnel et la répétition articulatoire ont été dissociés comme étant les deux mécanismes impliqués dans la maintenance d'informations verbales en WM (Barrouillet & Camos, 2022; Camos, 2015, 2017; Camos & Barrouillet, 2014; Camos et al., 2009; Camos et al., 2013; Camos et al., 2011; Camos et al., 2019; Hudjetz & Oberauer, 2007; Mora & Camos, 2013, 2015; Rose et al., 2015; Vergauwe, Camos, et al., 2014, voir également Chapitre 1, partie 2.3). Si nous nous sommes concentrées sur l'absence d'interaction entre disponibilité du rafraichissement attentionnel et effet de LTM, il est à noter que la disponibilité de la répétition articulatoire, bien que très bénéfique aux performances, ne modère pas plus les effets de LTM sur la WM que le rafraichissement (voir Camos et al., 2019, Expérience 2). De plus, la suppression articulatoire dans une tâche d'empan complexe de WM n'affecte pas les performances de rappel différé, ce qui suggère que si la répétition articulatoire est un mécanisme important de la WM, elle ne l'est pas pour la LTM (Camos & Portrat, 2015; Loaiza & McCabe, 2013, mais voir Atkinson & Shiffrin, 1968). Tel qu'évoqué précédemment, les rappels immédiats et différés ne dépendent pas des mêmes mécanismes de maintien ou de processus de rappel (i.e., accès direct et reconstruction) appliqués à l'identique, mais bien de systèmes de mémoire distincts (WM et LTM) aux fonctionnements et représentations propres.

2.6. Considérer les différences interindividuelles

A moins de travailler avec une population spécifiquement choisie pour ses caractéristiques (âge ou pathologie, voir Barrouillet & Camos, 2022 pour une revue à propos de la WM chez des populations atypiques), les études menées dans le domaine de la psychologie cognitive sont le plus souvent réalisées grâce à la collaboration de la

population de jeunes étudiants et, surtout d'étudiantes représentantes d'une moyenne courante de 80% des participations. Si la différence de genre ne constitue généralement pas un biais affectant les performances en WM, cette population étudiante présente en revanche une probabilité élevée de fortes capacités en WM. Nos paradigmes de recherche sont donc présentés à des personnes dont la WM est entraînée quotidiennement en comparaison avec d'autres occupations de vie. Il est donc fortement probable que les participants adultes impliqués dans nos études présentent cette caractéristique de capacité d'empan accrue. La non-considération des différences interindividuelles dans les capacités de WM est un reproche justifié à de nombreuses généralisations de résultats, les nôtres n'échappant pas à la règle car cette comparaison n'intégrait pas nos objectifs premiers au sein de ce travail. Cependant, il est intéressant de se pencher sur la question en observant les performances des enfants ayant participé à notre première étude (voir Chapitre 5). Les enfants de 8 à 12 ans n'ayant pas encore achevé le développement de leurs compétences cognitive globales, incluant celles de WM, leur capacité d'empan moyen est nécessairement plus faible celle d'un étudiant universitaire. Dans nos deux expériences, nos résultats démontrent une absence d'interaction entre *CL* et effet de LTM pour les deux populations. Ceci implique que les connaissances de LTM sont accessibles quelles que soient les capacités d'empan d'un individu en WM.

Une analyse supplémentaire a été réalisée par Pierre Barrouillet dans le cadre de la première expérience de l'étude présentée en Chapitre 6 (i.e., l'impact du *CL* sur les processus impliqués dans le rappel, sans implication d'effets de LTM). Les participants à cette première expérience ont été divisés en deux groupes sur la base de leurs performances au premier essai de rappel, excluant ainsi les effets de répétition causés par les essais successifs. L'accès direct sous-tendait respectivement 90 % et 87 % des rappels

des étudiants à fort empan dans les conditions de *CL* faible et élevée, ces taux ont chuté à 78 % et 73 % chez les étudiants à plus faible empan. En revanche, il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes concernant le nombre d'éléments rappelés grâce aux processus de reconstruction. Les individus à capacités d'empan plus faibles s'appuyaient plus régulièrement sur le processus de reconstruction pour récupérer les items qu'ils peinaient à conserver en accès direct dans leur tampon épisodique. Les valeurs inférieures des paramètres d'accès direct (D_1 et D_2) témoignaient des difficultés à maintenir les traces dans un état actif rencontrées par les participants à plus faible empan. Cependant, si le recours à la reconstruction était plus élevé chez ces étudiants, leurs capacités à la mener à bon terme ne différaient pas de celles des étudiants à plus fort empan. Une fois de plus, ces observations sont en contradiction avec le modèle PSM (Unsworth & Engle, 2007b; Unsworth & Spillers, 2010; Unsworth et al., 2010) selon lequel la capacité à récupérer des informations de la mémoire secondaire est, avec la capacité à conserver des informations dans la mémoire primaire, un composant important de la capacité WM. Nos résultats suggèrent que le maintien actif des informations dans un état directement accessible détermine bien plus les performances de la WM que le processus de reconstruction des traces.

Concernant notre dernière étude présentée en Chapitre 7, il a déjà été démontré que les différences interindividuelles dans les capacités de WM influent sur l'apparition des faux souvenirs. Une plus faible capacité d'empan mnésique diminue la résistance contre les effets d'interférences en WM (Unsworth & Brewer, 2010a, 2010b) et affecte négativement la capacité de récupération des représentations verbatim (Abadie et al., 2013). Ces deux critères favorisent alors l'apparition de faux souvenirs et ont donc leur importance dans les observations quant à la relation entre WM et faux souvenirs.

Conclusion

Les facteurs impactant les capacités de WM et de recours aux connaissances de LTM forment un sujet de premier plan dans le champ de recherche de la mémoire. Si ce travail de thèse s'est principalement concentré sur les implications théoriques des effets observés, nos résultats peuvent cependant être bénéfiques dans ce qu'ils impliquent pour le fonctionnement cognitif global. La mesure de WM est notamment le meilleur prédicteur connu de la réussite de la majorité des activités cognitives, surpassant les prédictions apportées par la mesure du quotient intellectuel et les capacités de vitesse de traitement (Barrouillet et al., 2008; Conway et al., 2007). Les capacités en WM et la possibilité d'impliquer ses connaissances à long-terme exercent donc une influence de premier ordre sur le fonctionnement cognitif, et de fait, sur les performances scolaires. L'implication de connaissances de LTM dans l'enseignement est une pratique qui se doit donc d'être encouragée au vu de ses apports bénéfiques. Relier de nouveaux apprentissages avec les anciens ou à l'inverse, transférer des connaissances déjà acquises sur l'apprentissage de nouvelles permettent un traitement plus approfondi et plus connecté au contenu de la LTM, ce qui favorise les performances et les apprentissages.

Les hypothèses quant à la nature du mécanisme de rafraichissement attentionnel et de son lien avec la LTM s'accordent globalement sur le fait que WM et LTM ont un impact mutuel l'une sur l'autre, mais divergent quant au rôle du mécanisme attentionnel dans cette relation. Toute représentation créée en WM laisse également une trace en LTM ; et l'apprentissage ou la répétition de cette représentation consolide d'autant plus la formation de telles traces. Cet impact de la WM sur la LTM est à la base de tout processus d'apprentissage (e.g., Barrouillet, Camos, et al., 2004).

Dans l'autre sens, il a été démontré que l'implication de connaissances de LTM libère des ressources attentionnelles en WM (e.g., Kowialiewski et al., 2020). Le contenu de la WM se décuple donc spontanément en LTM et la WM s'appuie efficacement sur les connaissances contenues en LTM ainsi que les nouvelles représentations qui y ont été transférées récemment. Nos résultats répliquent de précédentes observations selon lesquelles les représentations contenues en LTM peuvent être récupérées en WM pour une implication immédiate dans la tâche en cours sans modulation par la disponibilité attentionnelle. Cette absence de modulation nous apporte des informations quant à la nature même du rafraichissement attentionnel et permet également des ajustements de modèles théoriques de la WM.

La gouvernance des deux processus indépendants d'accès direct et de reconstruction sur le rappel en WM favorise la vision d'un système dual de mémoires. Le fait d'observer dans notre étude une prédominance nette du processus d'accès direct en WM en opposition avec la prédominance inverse de la reconstruction en LTM s'accorde davantage avec les modèles théoriques présentant deux systèmes de mémoires séparées qu'avec les modèles emboîtés. Le maintien actif des informations dans un état d'accès direct prime largement sur l'application d'un processus de reconstruction de ces mêmes informations. La capacité à récupérer des représentations en LTM pour soutenir une tâche de WM ne forme donc pas une composante essentielle à la capacité de WM.

Nos résultats s'accordent avec la vision selon laquelle la WM consiste à maintenir des représentations principalement verbatim et plus susceptibles de permettre un accès direct lors du rappel. Les représentations sont traitées individuellement au sein de la boucle exécutive en WM, ce qui améliore leur niveau d'activation. Parallèlement, les effets

de LTM influent les performances de rappel immédiat du fait d'une facilité accrue d'encodage, sans que la disponibilité attentionnelle n'influent sur cet apport. L'implication des effets de LTM sur les performances en WM n'est pas attribuable aux mécanismes de maintien verbaux actuellement identifiés en WM. En cas de mauvaises conditions d'encodage, les traces liées à des connaissances de LTM ont de meilleurs moyens pour être rafraichies ou réactivées plus efficacement et compenser une situation défavorable.

Références

- Abadie, M., & Camos, V. (2018). Attentional refreshing moderates the word frequency effect in immediate and delayed recall tasks: Refreshing moderates the word frequency effect. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 127-136. <https://doi.org/10.1111/nyas.13847>
- Abadie, M., & Camos, V. (2019). False memory at short and long term. *Journal of Experimental Psychology: General*, 148(8), 1312-1334. <https://doi.org/10.1037/xge0000526>
- Abadie, M., Gavard, E., & Guillaume, F. (2021). Verbatim and gist memory in aging. *Psychology and Aging*, 36(8), 891-901. <https://doi.org/10.1037/pag0000635>
- Abadie, M., Waroquier, L., & Terrier, P. (2013). Gist memory in the unconscious-thought effect. *Psychological Science*, 24(7), 1253-1259. <https://doi.org/10.1177/0956797612470958>
- Abadie, M., Waroquier, L., & Terrier, P. (2016). Information presentation format moderates the unconscious-thought effect: The role of recollection. *Memory*, 24(8), 1123-1133. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1070179>
- Abadie, M., Waroquier, L., & Terrier, P. (2017). The role of gist and verbatim memory in complex decision making: Explaining the unconscious-thought effect. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 43, 694-705. <https://doi.org/10.1037/xlm0000336>
- Acheson, D. J., & Macdonald, M. C. (2009). Verbal working memory and language production: Common approaches to the serial ordering of verbal information. *Psychological Bulletin*, 135(1), 50-68. <https://doi.org/10.1037/a0014411>
- Acheson, D. J., Postle, B. R., & Macdonald, M. C. (2010). The interaction of concreteness and phonological similarity in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(1), 17-36. <https://doi.org/10.1037/a0017679>
- Allen, R. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2009). Cross-modal binding and working memory. *Visual Cognition*, 17(1-2), 83-102. <https://doi.org/10.1080/13506280802281386>
- Altmann, E. M. (2002). Functional decay of memory for tasks. *Psychological Research*, 66(4), 287-297. <https://doi.org/10.1007/s00426-002-0102-9>
- Altmann, E. M., & Gray, S. (2002). Forgetting to remember : the functional relationship of decay and interference. *Psychological Science*, 13(1), 27-33. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00405>
- Anderson, J. A., Silverstein, J. W., Jones, S. A., & Jones, R. S. (1977). Distinctive features, categorical perception, and probability learning: Some applications of a neural model. *Psychological Review*, 84(5), 413-451. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.5.413>
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. NJ: Lawrence Erlbaum Associate.
- Anderson, J. R., Reder, L. M., & Lebière, C. (1996). Working Memory: Activation limitations on retrieval. *Cognitive Psychology*, 30(3), 221-256. <https://doi.org/10.1006/cogp.1996.0007>
- Anderson, N. D., Jennings, J. M., Cabeza, R., Ebert, P. L., Grady, C. L., & Graham, S. J. (2008). Recollection- and familiarity-based memory in healthy aging and amnesic mild cognitive impairment. *Neuropsychology*, 22(2), 177-187. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.2.177>
- Atkins, A. S., & Reuter-Lorenz, P. A. (2008). False working memories? Semantic distortion in a mere 4 seconds. *Memory & Cognition*, 36(1), 74-81. <https://doi.org/10.3758/MC.36.1.74>

- Atkins, A. S., & Reuter-Lorenz, P. A. (2011). Neural mechanisms of semantic interference and false recognition in short-term memory. *NeuroImage*, 56(3), 1726-1734. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.048>
- Atkinson, R. C., & Juola, J. F. (1973). Factors influencing speed and accuracy in word recognition. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and performance IV* (pp. 583-612). New York: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes". In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation*. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 362-365. <https://doi.org/10.1080/14640746608400055>
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Science*, 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. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford University Press.
- 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., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (Vol. 8, pp. 47-89). Academic Press.
- Baddeley, A. D., Hitch, G., & Allen, R. (2021). A multicomponent Model of Working Memory. In R. Logie, V. Camos, & N. Cowan (Eds.), *Working Memory*. Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J., & Allen, R. J. (2018). From short-term store to multicomponent working memory: The role of the modal model. *Memory & Cognition*, 47(4), 575-588. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0878-5>
- Baddeley, A. D., Lewis, V., & Vallar, G. (1984). Exploring the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A(2), 233-252. <https://doi.org/10.1080/14640748408402157>
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working Memory: The Multiple-Component Model. In A. M. P. Shah (Ed.), *Models of Working Memory*. Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 14(6), 575-589. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80045-4)
- Barnhardt, T. M., Choi, H., Gerken, D. R., & Smith, S. M. (2006). Output position and word relatedness effects in a DRM paradigm: Support for a dual retrieval process theory of free recall and false memories. *Journal of Memory and Language*, 55(2), 213-231. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.04.003>
- 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. (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. (2014). On the proper reading of the TBRS model: reply to Oberauer and Lewandowsky (2014). *Frontiers in Psychology*, 5(1331), 1-3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01331>
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working memory: Loss and reconstruction*.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2021). The Time-Based Resource-Sharing Model of Working Memory. In R. Logie, V. Camos, & N. Cowan (Eds.), *Working Memory*. Oxford University Press.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2022). *La mémoire de travail : Théories, développement et pathologies*. Mardaga. ISBN 9782804720926.
- Barrouillet, P., Camos, V., Morlaix, S., & Suchaut, B. (2008). Progressions scolaires, mémoire de travail et origine sociale : quels liens à l'école élémentaire ? *Revue française de pédagogie*, 162, 5-14. <https://doi.org/10.4000/rfp.719>
- Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P., & Seron, X. (2004). ADAPT: A developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to arabic numerals. *Psychological Review*, 111(2), 368-394. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.2.368>
- 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., Plancher, G., Guida, A., & Camos, V. (2013). Forgetting at short term: When do event-based interference and temporal factors have an effect? *Acta Psychologica*, 142(2), 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.12.003>
- 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>
- Bartsh, L. M., & Shepherdson, P. (2021). Freeing capacity in working memory (WM) through the use of long-term memory (LTM) representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. <https://doi.org/10.1037/xlm0001024>
- Bartsh, L. M., Singmann, H., & Oberauer, K. (2018). The effects of refreshing and elaboration on working memory performance, and their contributions to long-term memory formation. *Memory & Cognition*, 46(5), 769-808. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0805-9>
- Begley, S., & Brant, M. (1994). You must remember this. *Newsweek*, 124(3), 68-70.
- Benjamin, A. S., & Craik, F. I. M. (2001). Parallel effects of aging and time pressure on memory for source: Evidence from the spacing effect. *Memory & Cognition*, 29(5), 691-697. <https://doi.org/10.3758/BF03200471>
- Bertrand, R., & Camos, V. (2015). The role of attention in preschoolers' working memory. *Cognitive Development*, 33, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.10.002>
- Besner, D., & Davelaar, E. (1982). Basic processes in reading: Two phonological codes. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 36(4), 701-711. <https://doi.org/10.1037/h0080665>
- Bonin, P., Méot, A., Ferrand, L., & Bugajska, A. (2013). Normes d'associations verbales pour 520 mots concrets et étude de leurs relations avec d'autres variables psycholinguistiques [Verbal association norms for 520 concrete words and relationships with other psycholinguistic variables]. *L'année psychologique*, 113(1), 63-92. <https://doi.org/10.4074/S0003503313001048>

- Bourassa, D. C., & Besner, D. (1994). Beyond the articulatory loop: A semantic contribution to serial order recall of subspan lists. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(1), 122-125. <https://doi.org/10.3758/BF03200768>
- Brady, T. F., Konkle, T., & Alvarez, G. A. (2009). Compression in visual working memory: Using statistical regularities to form more efficient memory representations. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(4), 487-502. <https://doi.org/10.1037/a0016797>
- Brainerd, C. J., Aydin, C., & Reyna, V. F. (2012). Development of dual-retrieval processes in recall: Learning, forgetting, and reminiscence. *Journal of Memory and Language*, 66(4), 763-788. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2011.12.002>
- Brainerd, C. J., Bialer, D. M., & Chang, M. (2021). Fuzzy-trace theory and false memory: Meta-analysis of conjoint recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/xlm0001040>
- Brainerd, C. J., Bialer, D. M., Chang, M., & Upadhyay, P. (2021). A fundamental asymmetry in human memory: Old \neq not-new and new \neq not-old. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/xlm0001101>
- Brainerd, C. J., Gomes, C. F. A., & Moran, R. (2014). The two recollections. *Psychological Review*, 121(4), 563-599. <https://doi.org/10.1037/a0037668>
- Brainerd, C. J., Payne, D. G., Wright, R., & Reyna, V. F. (2003). Phantom recall. *Journal of Memory and Language*, 48(3), 445-467. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00501-6](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00501-6)
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (1993). Memory independence and memory interference in cognitive development. *Psychological Review*, 100(1), 42-67. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.100.1.42>
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2002). Fuzzy-Trace Theory and False Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 164-169. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00192>
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2004). Fuzzy-trace theory and memory development. *Developmental Review*, 24(4), 396-439. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2004.08.005>
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2005). *The science of false memory*. New York: Oxford University Press.
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2010). Recollective and nonrecollective recall. *Journal of Memory and Language*, 63(3), 425-445. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.05.002>
- Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2015). Fuzzy-trace theory and lifespan cognitive development. *Developmental Review*, 38, 89-121. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.006>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., & Ceci, S. J. (2008). Developmental reversals in false memory: A review of data and theory. *Psychological Bulletin*, 134(3), 343-382. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.3.343>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., & Forrest, T. J. (2002). Are young children susceptible to the false-memory illusion? . *Child Development*, 73(5), 1363-1377. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00477>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., & Howe, M. L. (2009). Trichotomous processes in early memory development, aging and neurocognitive impairment: A unified theory. *Psychological Review*, 116(4), 783-832. <https://doi.org/10.1037/a0016963>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., & Mojardin, A. H. (1999). Conjoint recognition. *Psychological Review*, 106(1), 160-179. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.106.1.160>

- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., Wright, R., & Mojardin, A. H. (2003). Recollection rejection: False-memory editing in children and adults. *Psychological Review*, 110(4), 762-784. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.110.4.762>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F., & Zember, E. (2011). Theoretical and forensic implications of developmental studies of the DRM illusion. *Memory & Cognition*, 39(3), 365-380. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0043-2>
- Brainerd, C. J., Wright, R., Reyna, V. F., & Mojardin, A. H. (2001). Conjoint recognition and phantom recollection. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 27(2), 307-327. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.27.2.307>
- Brainerd, C. J., Wright, R., Reyna, V. F., & Payne, D. G. (2002). Dual-retrieval processes in free and associative recall. *Journal of Memory and Language*, 46(1), 120-152. <https://doi.org/10.1006/jmla.2001.2796>
- Braun, K. A., Ellis, R., & Loftus, E. F. (2002). Make my memory: how advertising can change our memories of the past. *Psychology & Marketing*, 19(1), 1-23. <https://doi.org/10.1002/mar.1000>
- Brown, G. D. A., & Hulme, C. (1995). Modeling item length effects in memory span: No rehearsal needed? *Journal of Memory and Language*, 34(5), 594-621. <https://doi.org/10.1006/jmla.1995.1027>
- Brown, G. D. A., Nealth, I., & Chater, N. (2007). A temporal ratio model of memory. *Psychological Review*, 114(3), 359-576. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.3.539>
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10(1), 12-21. <https://doi.org/10.1080/17470215808416249>
- Budson, A. E., Sullivan, A. L., Daffner, K. R., & Schacter, D. L. (2003). Semantic versus phonological false recognition in aging and Alzheimer's disease. *Brain & Cognition*, 51(3), 251-261. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00030-7](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00030-7)
- Bunting, M. (2006). Proactive interference and item similarity in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(2), 183-196. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.2.183>
- Cam, Y., McBride, D. M., Coane, J. H., Chang, K., Antone, N., & Zeng, Y. (2019). *Does articulatory suppression of phonological coding affect short-and long-term false memory?* Poster presented at the 2019 Annual Meeting of the Psychonomic Society, QC, Canada: Montreal.
- 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: Reconciliation Within the Time-Based Resource Sharing Model. In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 67, 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. (2012). Le développement de la mémoire de travail : Perspectives dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources. *Psychologie française*, 59(1), 21-39. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2012.12.003>
- 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, Article 900. <https://doi.org/10.3389>

- Camos, V., & Barrouillet, P. (2018). *Working Memory in Development*. Essays in Cognitive Psychology. <https://doi.org/10.4324/9781315660851>
- Camos, V., Johnson, M. K., Loaiza, V. M., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (2018). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences* 1424, 19-32. <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., Mora, G., & Barrouillet, P. (2013). Phonological similarity effect in complex span task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(10), 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 and Cognition*, 39(2), 231-244. <https://doi.org/10.1080/20445911.2011.640625>
- Camos, V., Mora, G., Oftinger, A.-L., Mariz-Elsig, S., Schneider, P., & Vergauwe, E. (2019). Does semantic long-term memory impact refreshing in verbal working memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 45(9), 1664-1682. <https://doi.org/10.1037/xlm0000657>
- 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., Castellà, J., Provencio, V., Hitch, G., & Baddeley, A. (2015). Automatic semantic encoding in verbal short-term memory: Evidence from the concreteness effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(4), 759-778. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.966248>
- Case, R. (1985). A developmentally based approach to the problem of instructional design In S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and Learning Skills* (Vol. 2: Research and Open Questions). Routledge.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386-404. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(82\)90054-6](https://doi.org/10.1016/0022-0965(82)90054-6)
- Chandler, C. C. (1989). Specific retroactive interference in modified recognition tests: Evidence for an unknown cause of interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(2), 256-265. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.15.2.256>
- Chang, M., & Brainerd, C. J. (2021). Semantic and phonological false memory: A review of theory and data. *Journal of Memory and Language*, 119, 104210. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104210>
- Chen, Z., & Cowan, N. (2005). Chunk limits and length limits in immediate recall: A reconciliation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(6), 1235-1249. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.6.1235>
- Chen, Z., & Cowan, N. (2009). How verbal memory loads consume attention. *Memory & Cognition*, 37(6), 829-836. <https://doi.org/10.3758/MC.37.6.829>
- Clarkson, L., Roodenrys, S., Miller, D. G., & Hulme, C. (2016). The phonological neighbourhood effect on short-term memory for order. *Memory*, 25(3), 391-402. <https://doi.org/10.1080/09658211.2016.1179330>
- Coane, J. H., McBride, D. M., Raulerson III, B. A., & Jordan, J. S. (2007). False memory in a short-term memory task. *Experimental Psychology*, 54(1), 62-70. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.54.1.62>

- Cocchini, G., Logie, R. H., Della Sala, S., MacPherson, S. E., & Baddeley, A. (2002). Concurrent performance of two memory tasks : Evidence for domain-specific working memory systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(7), 1086-1095.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.82.6.407>
- Conway, A., Jarrold, C., Kane, M. J., Miyake, A., & Towse, J. N. (2007). *Variation in working memory*. Bristol Neuroscience.
- Conway, M. A., & Pleydell-Pearce, C. W. (2000). The construction of autobiographical memories in the self-memory system. *Psychological Review*, 107(2), 261-288. <https://doi.org/10.1037//0033-295X.107.2.261>
- Copeland, D. E., & Radvansky, G. A. (2001). Phonological similarity effect in working memory. *Memory and Cognition*, 29(5), 774-776. <https://doi.org/10.3758/BF03200480>
- Corkin, S. (1984). Lasting consequences of bilateral medial temporal lobectomy: Clinical course and experimental findings in HM. *Seminars in Neurology*, 4(2), 249-259. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1041556>
- Couture, M., & Tremblay, S. (2006). Exploring the characteristics of the visuospatial Hebb repetition effect. *Memory & Cognition*, 34(8), 1720-1729. <https://doi.org/10.3758/BF03195933>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.96.2.341>
- Cowan, N. (1992). Verbal memory span and the timing of spoken recall. *Journal of Memory and Language*, 31(5), 668-884. [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 University Press.
- Cowan, N. (1999a). An embedded-process model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006>
- Cowan, N. (1999b). An embedded-processes model of working memory. In *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (Vol. 20, pp. 506).
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and brain sciences*, 24(1), 87-185. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity limits in a theoretical context. In *Human learning and memory: Advances in theory and application* (pp. 155-175). The 4th Tsukuba international conference on memory.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory ? *Progress in Brain Research*, 169, 323-338. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9)
- 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. (2016). *Working memory capacity*. Routledge [Original edition 2005. New Foreword to the Classic Edition].

- Cowan, N. (2019). Short-term memory based on activated long-term memory: A review in response to Norris (2017). *Psychological Bulletin*, 145(8), 822-847. <https://doi.org/10.1037/bul0000199>
- Cowan, N. (2022). Working memory development: A 50-year assessment of research and underlying theories. *Cognition*, 224, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105075>
- Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conwan, A. R. A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51(1), 42-100. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.12.001>
- Cowan, N., Keller, T., Hulme, C., Roodenrys, S., McDougall, S., & Rack, J. (1994). Verbal memory span in children: Speech timing clues to the mechanisms underlying age and word length effects. *Journal of Memory and Language*, 33(2), 234-250. <https://doi.org/10.1006/jmla.1994.1012>
- Cowan, N., Morey, C. C., & Naveh-Benjamin, M. (2021). An Embedded-Processes approach to Working Memory. In R. Logie, V. Camos, & N. Cowan (Eds.), *Working Memory*. Oxford University Press.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Elliott, E. M., & Saults, J. S. (2000). Persistence of memory for ignored lists of digits: areas of developmental consistency and change. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 151-172. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2546>
- Cowan, N., Rouder, J. N., Blume, C. L., & Saults, J. S. (2012). Models of verbal working memory capacity : What does it take to make them work ? *Psychological Review*, 119(3), 480-499. <https://doi.org/10.1037/a0027791>
- Cowan, N., Saults, J. S., & Blume, C. L. (2014). Central and peripheral components of working memory storage. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(5), 1806-1836. <https://doi.org/10.1037/a0036814>
- Cowan, N., Towse, J. N., Hamilton, Z., Saults, J. S., Elliott, E. M., Lacey, J. F., Moreno, M. V., & Hitch, G. J. (2003). Children's working-memory processes: A response-timing analysis. *Journal of Experimental Psychology : General*, 132(1), 113-132. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.113>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.127.2.141>
- Craik, F. I. M., & Levy, B. A. (1976). *The concept of primary memory*. Handbook of learning and cognitive processes (Vol. 4). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(6), 671-684. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X)
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104(3), 268-294. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
- Craik, F. I. M., & Watkins, M. J. (1973). The role of rehearsal in short-term memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 12(6), 599-607. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(73\)80039-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(73)80039-8)
- 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)
- De La Haye, F. (2003). Normes d'associations verbales chez des enfants de 9, 10 et 11 ans et des adultes [Verbal association norms in 9, 10 and 11 year old children and adults]. *L'année psychologique*, 103(1), 109-130. <https://doi.org/10.3406/psy.2003.29627>

- Deese, J. (1959). On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. *Journal of Experimental Psychology*, 58(1), 17. <https://doi.org/10.1037/h0046671>
- Dégeilh, F., Viard, A., Dayan, J., Guénolé, F., Egler, P.-J., Baleyte, J.-M., Eustache, F., & Guillery-Girard, B. (2013). Altérations mnésiques dans l'état de stress post-traumatique : résultats comportementaux et neuro-imagerie. *Revue de neuropsychologie*, 5(1), 45-55. <https://doi.org/10.3917/rne.051.0045>
- DeLosh, E. L., & McDaniel, M. A. (1996). The role of order information in free recall: Application to the word-frequency effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(5), 1136-1146. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.22.5.1136>
- Dewhurst, S. A., Bould, E., Knott, L. M., & Thorley, C. (2009). The roles of encoding and retrieval processes in associative and categorical memory illusions. *Journal of Memory and Language*, 60(1), 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2008.09.002>
- Doherty, J. M., Belletier, C., Rhodes, S., Jaroslawska, A. J., Barrouillet, P., Camos, V., Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., & Logie, R. H. (2019). Dual-task costs in working memory: An adversarial collaboration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(9), 1529-1551. <https://doi.org/10.1037/xlm0000668>
- Duff, S., & Logie, R. H. (2001). Processing and storage in working memory: Cognitive capacity or multiple components? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A(1), 31-48. <https://doi.org/10.1080/02724980042000011>
- Dunn, J. C. (2004). Remember-know: a matter of confidence. *Psychological Review*, 111(2), 524-542. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.2.524>
- Duscherer, K., Khan, A., & Mounoud, P. (2009). Recueil d'associations verbales chez des enfants de 5 à 11 ans pour 76 verbes d'action en langue française. *Swiss Journal of Psychology*, 68(2), 113-117. <https://doi.org/10.1024/1421-0185.68.2.113>
- Ebbinghaus, H. (1885/1913). Memory: A contribution to experimental psychology (H. Ruyter & C. E. Bussenius, Trans.). In *Über das Gedächtnis*. New York: Teacher College, Columbus University. (Über das gedächtnis : Untersucher zur Experimentellen Psychologie)
- Engle, R., Nation, J. K., & Cantor, J. (1990). Is "working memory capacity" just another name for word knowledge? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 799-804.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11(19), 19-23. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00160>
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102-134). Cambridge University Press.
- Erdfelder, E., Auer, T.-S., Hilbig, B. E., Assfalg, A., Moshagen, M., & Nadarevic, L. (2015). Multinomial Processing Tree Models. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, 217(3), 108-124. <https://doi.org/10.1027/0044-3409.217.3.108>
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2020). *Cognitive Psychology: A student's handbook*. Psychology press.
- Fitamen, C. (2018). *Développement de la mémoire de travail et aide au maintien du but : Investigation du rôle joué par l'indication du but dans le fonctionnement de la mémoire de travail verbale chez les enfants de 4 à 9 ans* Université de Fribourg]. Fribourg, CH.
- Fitamen, C., Blaye, A., & Camos, V. (2019a). How goal cue and motor activity modulate working memory performance in preschoolers. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/sr8hd>

- Fitamen, C., Blaye, A., & Camos, V. (2019b). Preschoolers' working memory benefits from transparent goal cue if children act on it. *Scientific Reports*, 9, 15342. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51869-4>
- Fitamen, C., Blaye, A., & Camos, V. (2019c). The roal of global cueing in kindergarteners' working memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 187, 104666. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104666>
- Flegal, K. E., Atkins, A. S., & Reuter-Lorenz, P. A. (2010). False memories seconds later: The rapid and compelling onset of illusory recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36(5), 1331-1338. <https://doi.org/10.1037/a0019903>
- Frankish, C. R. (2014). *Memory for alternating lists: Evidence for, rather than against, chaining models of serial order* Paper presented at the International Conference on Working Memory, Cambridge, UK, 9-11 July.,
- French, R. M., & Cleeremans, A. (2002). *Implicit learning and consciousness: An empirical, philosophical and computational consensus in the making*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203989401>
- Gaillard, V., Barrouillet, P., & 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>
- Gallo, D. A. (2006). *Associative illusions of memory: False memory research in DRM and related tasks*. New York: Psychology Press.
- Gardiner, J. M. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*, 16(4), 309-313. <https://doi.org/10.3758/BF03197041>
- Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1991). Forgetting in recognition memory with and without recollective experience. *Memory & Cognition*, 19(6), 617-623. <https://doi.org/10.3758/BF03197157>
- Gardiner, J. M., & Parkin, A. J. (1990). Attention and recollective experience in recognition memory. *Memory & Cognition*, 18(6), 579-583. <https://doi.org/10.3758/BF03197100>
- Gathercole, S. E. (1995). The assessment of phonological memory skills in preschool children. *British Journal of Educational Psychology*, 65(2), 155-164. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1995.tb01139.x>
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 39(1), 3-27. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00301>
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Science*, 3(11), 410-419. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01388-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01388-1)
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). Phonological working memory: A critical building block for reading development and vocabulary acquisition? *European Journal of Psychology of Education*, 8(3), 259-272. <https://doi.org/10.1007/BF03174081>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2014). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Hall, M., & Peaker, S. M. (2001). Dissociable lexical and phonological influences on serial recognition and serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54(1), 1-30. <https://doi.org/10.1080/02724980042000002>

- 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>
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11(3), 501-518. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.11.3.501>
- Greene, R. L. (1987). Effects of maintenance rehearsal on human memory. *Psychological Bulletin*, 102(3), 403-413. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.102.3.403>
- 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>
- Guérard, K., & Saint-Aubin, J. (2012). Assessing the effect of lexical variables in backward recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(2), 312-324. <https://doi.org/10.1037/a0025481>
- Guitard, D., Saint-Aubin, J., Tehan, G., & Tolan, A. (2018). Does neighborhood size really cause the word length effect ? *Memory & Cognition*, 46(2), 244-260. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0761-9>
- Gupta, P., & Cohen, N. J. (2002). Theoretical and computational analysis of skill learning, repetition priming, and procedural memory. *Psychological Review*, 109(2), 401-448. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.2.401>
- Gupta, P., & MacWhinney, B. (1997). Vocabulary acquisition and verbal short-term memory: Computational and neural bases. *Brain and Language*, 59(2), 267-333. <https://doi.org/10.1006/brln.1997.1819>
- Hedden, T., & Park, D. (2003). Contributions of source and inhibitory mechanisms to age-related retroactive interference in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, 132(1), 93-112. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.132.1.93>
- Henson, R. N. A., Norris, D. G., Page, M. P. A., & Baddeley, A. D. (1996). Unchained memory: Error patterns rule out chaining models of immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1), 80-115. <https://doi.org/10.1080/713755612>
- Hirshman, E., Fisher, J., Henthorn, T., Arndt, J., & Passannante, A. (2002). Midazolam amnesia and dual-process models of the word-frequency mirror effect. *Journal of Memory and Language*, 47(4), 499-516. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00017-7)
- Hockley, W. E. (1992). Item versus associative information: Further comparisons of forgetting rates. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(6), 1321-1330. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.18.6.1321>
- Holliday, R. E., Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2008). Recall of details never experienced: Effects of age, repetition, and semantic cues. *Cognitive Development*, 23(1), 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2007.05.002>
- Holliday, R. E., Brainerd, C. J., & Reyna, V. F. (2011). Developmental reversals in false memory : Now you see them, now you don't ! *Developmental Psychology*, 47(2), 442-449. <https://doi.org/10.1037/a0021058>
- Holliday, R. E., & Weekes, B. S. (2006). Dissociated developmental trajectories for semantic and phonological false memories. *Memory*, 14(5), 624-636. <https://doi.org/10.1080/09658210600736525>
- Horton, N. J., Hay, D. C., & Smyth, M. M. (2008). Hebb repetition effects in visual memory: The roles of verbal rehearsal and distinctiveness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(12), 1769-1777. <https://doi.org/10.1080/17470210802168674>

- Howe, M. L., Candel, I., Otgaar, H., Malone, C., & Wimmer, M. C. (2010). Valence and the development of immediate and long-term false memory illusions. *Memory*, 18(1), 58-75. <https://doi.org/10.1080/09658210903476514>
- Hu, X. (1999). Multinomial processing tree models: An implementation. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(4), 689-695. <https://doi.org/10.3758/BF03200747>
- Hu, X., & Phillips, G. A. (1999). GPT.EXE: A powerful tool for the visualization and analysis of general processing tree models. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(2), 220-234. <https://doi.org/10.3758/BF03207714>
- 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 and Cognition*, 35(7), 1675-1684. <https://doi.org/10.3758/BF03193501>
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G. D. A. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: Evidence for a long-term memory contribution to short term memory span. *Journal of Memory and Language*, 30(6), 685-701. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90032-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90032-F)
- Hulme, C., Newton, P., Cowan, N., Stuart, G., & Brown, G. D. A. (1999). Think before you speak: Pauses, memory search, and trace redintegration processes in verbal memory span. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 25(2), 447-463. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.2.447>
- Hulme, C., & Roodenrys, S. (1995). Practitioner Review: Verbal working memory development and its disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 36(3), 373-398. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1995.tb01297.x>
- Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in memory span. *British Journal of Psychology*, 86(4), 527-536. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1995.tb02570.x>
- Hulme, C., Roodenrys, S., Schweickert, R., Brown, G. D. A., Martin, S., & Stuart, G. (1997). Word-frequency effects on short-term memory tasks: Evidence for a redintegration process in immediate serial recall. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 23(5), 1217-1232. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.23.5.1217>
- Hulme, C., Stuart, G., Brown, G. D. A., & Morin, C. (2003). High- and low-frequency words are recalled equally well in alternating lists: Evidence for associative effects in serial recall. *Journal of Memory and Language*, 49(4), 500-518. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00096-2)
- Hyman, I. E., & Loftus, E. F. (1998). Errors in autobiographical memory. *Clinical psychology review*, 18(8), 933-947. [https://doi.org/10.1016/S0272-7358\(98\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0272-7358(98)00041-5)
- Ishiguro, S., & Saito, S. (2020). The detrimental effect of semantic similarity in short-term memory tasks: A meta-regression approach. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(2), 384-408. <https://doi.org/10.3758/s13423-020-01815-7>
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation frameworks: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513-541. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0749-596X(91)90025-F)
- Jacoby, L. L. (1998). Invariance in automatic influences of memory: Toward a user's guide for the process-dissociation procedure. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 24(1), 3-26. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.24.1.3>

- Jacoby, L. L., Toth, J. P., & Yonelinas, A. P. (1993). Separating conscious and unconscious influences of memory: Measuring recollection. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(2), 139-154. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.2.139>
- Jalbert, A., Nealth, I., Bireta, T. J., & Suprenant, A. M. (2011). When does lenght cause the word lenght effect ? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(2), 338-353. <https://doi.org/10.1037/a0021804>
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: 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), 146-160. <https://doi.org/10.1111/nyas.13668>
- Jarjat, G., Plancher, G., & Portrat, S. (2020). Core mechanisms underlying the long-term stability of working memory traces still work in aging. *L'année psychologique*, 120, 203-229. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.202.0203>
- Jarrold, C., Hewes, A. K., & Baddeley, A. (2000). Two separate speech measures constrain verbal short-term memory in children. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 26(6), 1626-1637. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.6.1626>
- Jarrold, C., Tam, H., Baddeley, A. D., & Harvey, C. E. (2010). The nature and position of processing determines why forgetting occurs in working memory tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 772-777. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.6.772>
- Jefferies, E., Frankish, C. R., & Lambon Ralph, M. A. (2006a). Lexical and semantic binding in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 54(1), 81-98. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2005.08.001>
- Jefferies, E., Frankish, C. R., & Lambon Ralph, M. A. (2006b). Lexical and semantic influences on item and order memory in immediate serial recognition: Evidence from a novel task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(5), 949-964. <https://doi.org/10.1080/02724980543000141>
- Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1993). Automatic versus intentional uses of memory: Aging, attention, and control. *Psychology and Aging*, 8(2), 283-293. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.8.2.283>
- Jennings, J. M., & Jacoby, L. L. (1997). An opposition procedure for detecting age-related deficits in recollection: Telling effects of repetition. *Psychology and Aging*, 12(2), 352-361. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.2.352>
- 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., 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(1), 64-67. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00411>
- Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36(2), 138-202. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0684>
- Jones, D. M., & Macken, W. (2018). In the beginning was the deed: Verbal short-term memory as object-oriented action. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), 351-356. <https://doi.org/10.1177/0963721418765796>
- 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>

- Karpicke, J. D., & Roediger, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science*, 319(5865), 966-968. <https://doi.org/10.1126/science.1152408>
- Keating, D. P., Keniston, A. H., Manis, F. R., & Bobbitt, B. L. (1980). Development of the search-processing parameter. *Child Development*, 51(1), 39-44. <https://doi.org/10.2307/1129587>
- Kintsch, W., & Morris, C. J. (1965). Application of a Markov model to free recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology*, 69(2), 200-206. <https://doi.org/10.1037/h0021588>
- Klatsky, R. L. (1988). Theories of information processing and theories of aging. In L. Light & D. M. Burke (Eds.), *Language, memory, and aging* (pp. 1-16). New York, NY: Cambridge University Press.
- Kowialiewski, B., Lemaire, B., & Portrat, S. (2020). How does semantic knowledge impact working memory maintenance? Computational and behavioral investigations. 117, 104208. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2020.104208>
- Kowialiewski, B., & Majerus, S. (2018a). The non-strategic nature of linguistic long-term memory effects in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 101, 64-83. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2018.03.005>
- Kowialiewski, B., & Majerus, S. (2018b). Testing the redintegration hypothesis by a single probe recognition paradigm. *Memory*, 26(9), 1256-1264. <https://doi.org/10.1080/09658211.2018.1448420>
- Krantz, D. H. (1969). Threshold theories of signal detection. *Psychological Review*, 76(3), 308-324. <https://doi.org/10.1037/h0027238>
- Lange, E., & Oberauer, K. (2005). Overwriting of phonemic features in serial recall. *Memory*, 13(3/4), 333-339. <https://doi.org/10.1080/09658210344000378>
- Langerock, N., Vergauwe, E., & Barrouillet, P. (2014). The maintenance of cross-domain association in the episodic buffer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 40(4), 1096-1109. <https://doi.org/10.1037/a0035783>
- LaPointe, L. B., & Engle, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 1118-1133. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.6.1118>
- Larsen, J. D., Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Phonological similarity and the irrelevant speech effect: Implications for models of short-term verbal memory. *Memory*, 8(3), 145-157. <https://doi.org/10.1080/096582100387579>
- Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2018). What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychological 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*. De Boeck Supérieur.
- Lépine, R., Barrouillet, P., & Camos, V. (2005). What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), 165-170. <https://doi.org/10.3758/BF03196363>
- Lewandowsky, S., & Murdock, B. B. J. (1989). Memory for serial order. *Psychological Review*, 101(1), 539-543. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.1.25>
- Lindsay, D. S., & Kelley, C. M. (1996). Creating illusions of familiarity in a cued recall remember/know paradigm. *Journal of Memory and Language*, 35(2), 197-211. <https://doi.org/10.1006/jmla.1996.0011>

- Loaiza, V. M. (2020). Does forgetting in working memory depend on the type of representation? (Oral presentation). 10th European Working Memory Symposium (EWoMSX), Cardiff, UK.
- Loaiza, V. M., & Borovanska, B. M. (2018). Covert retrieval in working memory impacts the phenomenological characteristics remembered during episodic memory *Consciousness and Cognition*, 57(2), 20-32. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2017.11.002>
- 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., Duperreault, K. A., Rhodes, M. G., & McCabe, D. P. (2015). Long-term semantic representations moderate the effect of attentional refreshing on episodic memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 274-280. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0673-7>
- Loaiza, V. M., & Halse, S. C. (2019). Where working memory meets long-term memory: The interplay of list length and distractors on memory performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(8), 1455-1472. <https://doi.org/10.1037/xlm0000652>
- 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. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 20(4), 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 test. *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*, 70(5), 729-736. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbt119>
- Loaiza, V. M., Rhodes, M. G., Camos, V., & McCabe, D. P. (2015). Using the process dissociation procedure to estimate recollection and familiarity in working memory: An experimental and individual differences investigation. *Journal of Cognitive Psychology*, 27(7), 844-854. <https://doi.org/10.1080/20445911.2015.1033422>
- Loftus, E. F. (2003). Our changeable memories: Legal and practical implications. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(3), 231-234. <https://doi.org/10.1038/nrn1054>
- Loftus, E. F., & Loftus, G. R. (1980). On the permanence of stored information in the human brain. *American Psychologist*, 35(5), 409-420. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.35.5.409>
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315804743>
- Logie, R. H., Camos, V., & Cowan, N. (2021). *Working memory: State of the science*. Oxford University Press.
- Love, J., Selker, R., Marsman, M., Jamil, T., Dropmann, D., Verhagen, A. J., Ly, A., Gronau, Q. F., Smira, M., Epskamp, S., Matzke, D., Wild, A., Knight, P., Rouder, J. N., Morey, R. D., & Wagenmakers, E.-J. (2019). JASP: Graphical statistical software for common statistical designs. *Journal of Statistical Software*, 88(2), 1-17. <https://doi.org/10.18637/jss.v088.i02>

- Macnamara, B. N., Moore, A. B., & Conwan, A. R. A. (2011). Phonological similarity effects in simple and complex span tasks. *Memory & Cognition*, 39(7), 1174–1186. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0100-5>
- Majerus, S. (2009). Verbal short-term memory and temporary activation of language representations: The importance of distinguishing item and order information. In A. Thorn & M. Page (Eds.), *Interactions between Short-Term and Long-Term Memory in the Verbal Domain* (pp. 244–276). Hove: Psychology Press.
- Majerus, S. (2013). Language repetition and short-term memory : An integrative framework. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 8–23. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00357>
- Majerus, S. (2019). Verbal working memory and the phonological buffer : The question of serial order. *Cortex*, 112, 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.04.016>
- Majerus, S., Cowan, N., Péters, F., Van Calster, L., Phillips, C., & Schrouff, J. (2016). Cross-modal decoding of neural patterns associated with working memory: Evidence for attention-based accounts of working memory. *Cerebral Cortex*, 26(1), 166–179. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu189>
- Majerus, S., & Van der Linden, M. (2003). Long-term memory effects on verbal short-term memory: A replication study. *British Journal of Educational Psychology*, 21(2), 303–310. <https://doi.org/10.1348/026151003765264101>
- Malmberg, K. J. (2008). Recognition memory: A review of the critical findings and an integrated theory for relating them. *Cognitive Psychology*, 57(4), 335–384. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2008.02.004>
- Mandler, G. (1980). Recognizing: The judgment of previous occurrence. *Psychological Review*, 87(3), 252–271. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.252>
- Martin, R. C. (2005). Components of short-term memory and their relation to language processing - Evidence from neuropsychology and neuroimaging. *Current Directions in Psychological Science*, 14(4), 204–208. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00365.x>
- McBride, D. M., Coane, J. H., Xu, S., Feng, Y., & Yu, Z. (2019). Short-term false memories vary as a function of list type. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(12), 2726–2741. <https://doi.org/10.1177/1747021819859880>
- 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>
- McClelland, J. L., & Elman, J. L. (1986). The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology*, 18(1), 1–86. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(86\)90015-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(86)90015-0)
- McEvoy, C. L., Nelson, D. L., & Komatsu, T. (1999). What is the connection between true and false memories? The differential roles of interitem associations in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(5), 1177–1194. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.5.1177>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. US: Henry Holt and Co.
- Miller, L. M., & Roodenrys, S. (2009). The interaction of word frequency and concreteness in immediate serial recall. *Memory & Cognition*, 37(6), 850–865. <https://doi.org/10.3758/MC.37.6.850>

- Milner, B., Corkin, S., & Teuber, H.-L. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6(3), 215-234. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90021-3)
- 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. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.15.3.527>
- Mora, G., & Camos, V. (2013). Two systems of maintenance in verbal working memory: Evidence from the word length effect. *PLoS ONE*, 8(7), 1-8. <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(11), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00011>
- Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 16(5), 519-533. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(77\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(77)80016-9)
- Moshagen, M. (2010). multiTree : A computer program for the analysis of multinomial processing tree models. *Behavior Research Methods*, 42(1), 42-54. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.1.42>
- Murdock, B. B. (1976). Item and order information in short-term serial memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 105(2), 191-216. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.105.2.191>
- Murdock, B. B., & Hockley, W. E. (1989). Short-term memory for associations. *Psychology of Learning and Motivation*, 24, 71-108. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60535-6](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60535-6)
- Murray, D. J. (1967). The role of speech responses in short-term memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 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, Pt1), 679-684. <https://doi.org/10.1037/h0026641>
- Nairne, J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory & Cognition*, 18(3), 251-269. <https://doi.org/10.3758/BF03213879>
- Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 53-81. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135131>
- Nairne, J. S., & Neath, I. (2003). Sensory and working memory. In A. F. Healy & R. W. Proctor (Eds.), *Comprehensive handbook of psychology: Experimental Psychology* (2nd ed., Vol. 4, pp. 419-445). John Wiley & Sons.
- Neale, K., & Tehan, G. (2007). Age and redintegration in immediate memory and their relationship to task difficulty. *Memory & Cognition*, 35(8), 1940-1953. <https://doi.org/10.3758/BF03192927>
- 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>
- Nelson, D. L., McEvoy, C. L., & Schreiber, T. A. (2004). The University of South Florida free association, rhyme, and word fragment norms. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(3), 402-407. <https://doi.org/10.3758/BF03195588>
- Nelson, D. L., & Zhang, N. (2000). The ties that bind what is known to the recall of what is new. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(4), 604-617. <https://doi.org/10.3758/BF03212998>

- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). LEXIQUE. *L'année psychologique*, 101(3-4), 447-462. <https://doi.org/10.3406/psy.2001.1341>
- Newell, A. (1990). *Unified Theories of Cognition*. Harvard, MA: Harvard University Press.
- Nieznan'ski, M., Obidzin'ski, M., Niedziałkowska, D., & Zyskowska, E. (2019). False memory for orthographically related words: Research in the simplified conjoint recognition paradigm. *The American Journal of Psychology*, 132(1), 57-69. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.132.1.0057>
- Norris, D. (2017). Short-term memory and long-term memory are still different. *Psychological Bulletin*, 143(9), 992-1009. <https://doi.org/10.1037/bul0000108>
- Nyberg, L., Cabeza, R., & Tulving, E. (1996). PET studies of encoding and retrieval: The HERA model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(2), 135-148. <https://doi.org/10.3758/BF03212412>
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 28(3), 411-421. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.3.411>
- Oberauer, K. (2003). Selective attention to elements in working memory. *Experimental Psychology*, 50(4), 257-269. <https://doi.org/10.1027//1618-3169.50.4.257>
- Oberauer, K. (2005). Binding and inhibition in working memory: Individual and age differences in short-term recall recognition. *Journal of Experimental Psychology : General*, 134(3), 368-387. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.134.3.368>
- Oberauer, K. (2009a). Design for a working memory. In B. H. Ross (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 51, pp. 45-100). Elsevier Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(09\)51002-X](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(09)51002-X)
- Oberauer, K. (2009b). Interference between storage and processing in working memory: Feature overwriting, not similarity-based competition. *Memory and Cognition*, 37(7), 346-357. <https://doi.org/10.3758/MC.37.3.346>
- Oberauer, K., Awh, E., & Sutterer, D. W. (2017). The role of long-term memory in a test of visual working memory: Proactive facilitation but no proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(1), 1-22. <https://doi.org/10.1037/xlm0000302>
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2001). Beyond resources: Formal models of complexity effects and age differences in working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1-2), 187-215. <https://doi.org/10.1080/09541440042000278>
- 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., Lange, E., & Engle, R. (2004). Working memory capacity and resistance to interference. *Journal of Memory and Language*, 51(1), 80-96. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.03.003>
- Oberauer, K., & Lewandowski, S. (2008). Forgetting in immediate serial recall: decay, temporal distinctiveness, or interference? *Psychological Review*, 115(3), 544-576. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.115.3.544>
- Oberauer, K., Lewandowski, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(5), 779-819. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0272-4>
- Ochsner, K. N. (2000). Are affective events richly recollected or simply familiar? The experience and process of recognizing feelings past. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(2), 242-261. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.129.2.242>

- Odegard, T. N., & Lampinen, J. M. (2005). Recollection rejection: gist cuing of verbatim memory. *Memory & Cognition*, 33(8), 1422-1430. <https://doi.org/10.3758/BF03193375>
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2016). Maintenance mechanisms in children's verbal working memory. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 6(1), 16-28. <https://doi.org/10.5539/jedp.v6n1p16>
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2017). Developmental improvement in strategies to maintain verbal information in working memory. *International Journal of Behavioral Development*, 1-10. <https://doi.org/10.1177/0165025416679741>
- Oftinger, A.-L., & Camos, V. (2018). Phonological Similarity Effect in Children's Working Memory: Do Maintenance Mechanisms Matter? *Journal of Child Psychology*, 1(1), 5-11. <https://doi.org/10.1177/0165025416679741>
- Page, M. P. A., & Norris, D. (1998). The primacy model: A new model of immediate serial recall. *Psychological Review*, 105(4), 761-781. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.4.761-781>
- Parks, C. M. (2007). The role of noncriterial recollection in estimating recollection and familiarity. *Journal of Memory and Language*, 57(1), 81-100. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.03.003>
- Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32(4), 301-345. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(70\)90108-3](https://doi.org/10.1016/0001-6918(70)90108-3)
- Patterson, K., Graham, N., & Hodges, J. R. (1994). The impact of semantic memory loss on phonological representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6(1), 57-69. <https://doi.org/10.1162/jocn.1994.6.1.57>
- Payne, D. G., Elie, C. J., Blackwell, J. M., & Neuschatz, J. S. (1996). Memory illusions: Recalling, recognizing, and recollecting events that never occurred. *Journal of Memory and Language*, 35(2), 261-285. <https://doi.org/10.1006/jmla.1996.0015>
- 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, B., Lemaire, P., & Portrat, S. (2017). Under which conditions can older adults maintain information in working memory? *Experimental Aging Research*, 43(5), 409-429. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2017.1369730>
- Poirier, M., Dhir, P., Saint-Aubin, J., Tehan, G., & Hampton, J. (2011). The influence of semantic memory on verbal short-term memory. In B. Kokinov, A. Karmiloff-Smith, & N. J. Nersessian (Eds.), *European Perspectives on Cognitive Science*.
- Poirier, M., & Saint-Aubin, J. (1995). Memory for related and unrelated words: Further evidence on the influence of semantic factors in immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48(2), 384-404. <https://doi.org/10.1080/14640749508401396>
- Poirier, M., & Saint-Aubin, J. (1996). Immediate serial recall, word frequency, item identity and item position. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 50(4), 408-412. <https://doi.org/10.1037/1196-1961.50.4.408>
- Poirier, M., Yearsley, J. M., Saint-Aubin, J., Fortin, C., Gallant, G., & Guitard, D. (2019). Dissociating visuo-spatial and verbal working memory: It's all in the features. *Memory & Cognition*, 47(4), 603-618. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0882-9>
- Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2009a). L'attention comme mécanisme mémoriel chez l'enfant. *UB Sciences*, 4, 153-163.

- Portrat, S., Camos, V., & Barrouillet, P. (2009b). 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>
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: the Loyola symposium*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Psychology Software Tools Inc. [E-Prime 2.0]. (2012). [E-Prime 2.0]. In Retrieved from <http://www.pstnet.com>.
- Qualtrics XM Plateform. (2005). *Qualtrics*. In (Version March 2018) Retrieved from <https://www.qualtrics.com>.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-compoment model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5-21. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.061>
- Reyna, V. F. (1996). Meaning, memory and the interpretation of metaphors. In J. Mio & A. Katz (Eds.), *Metaphor: implications and applications* (pp. 39-57). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reyna, V. F. (2008). A theory of medical decision making and health: Fuzzy trace theory. *Medical Decision Making*, 28(6), 850-865. <https://doi.org/10.1177/0272989X08327066>
- Reyna, V. F. (2012a). A new intuitionism : Meaning, memory, and development in Fuzzy-Trace Theory. *Judgment and Decision Making*, 7(3), 332-359.
- Reyna, V. F. (2012b). Risk perception and communication in vaccination decision : A Fuzzy-Trace Theory approach. *Vaccine*, 30(25), 3790-3797. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.11.070>
- Reyna, V. F. (2013). Intuition, reasoning and development: A fuzzy-trace theory approach. In P. Barrouillet & C. Gauffroy (Eds.), *The development of thinking and reasoning* (pp. 193-220). Psychology Press.
- Reyna, V. F. (2021). A scientific theory of gist communication and misinformation resistance, with implications for health, education, and policy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(15), 1-6. <https://doi.org/10.1073/pnas.1912441117>
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (1992). A fuzzy-trace theory of reasoning and remembering: Paradoxes, patterns, and parallelism. In A. Healy, S. Kosslyn, & R. M. Shiffrin (Eds.), *From learning processes to cognitive processes: Essays in honor of William K. Estes* (Vol. 2, pp. 235-259). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (1995). Fuzzy-trace theory: An interim synthesis. *Learning and Individual Differences*, 7(1), 1-75. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(95\)90031-4](https://doi.org/10.1016/1041-6080(95)90031-4)
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (1998). Fuzzy-trace theory and false memory: new frontiers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 71(2), 194-209. <https://doi.org/10.1006/jecp.1998.2472>
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (2011). Dual processes in decision making and developmental neuroscience : A Fuzzy-Trace model. *Developmental Review*, 31(2-3), 180-206. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2011.07.004>
- Reyna, V. F., Corbin, J. C., Weldon, R. B., & Brainerd, C. J. (2016). How fuzzy-trace theory predicts true and false memories for words, sentences, and narratives. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.003>
- Reyna, V. F., & Kiernan, B. (1994). Development of gist versus verbatim memory in sentence recognition: Effects of lexical familiarity, semantic content, encoding instructions, and retention interval. *Developmental Psychology*, 30(2), 178-191. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.30.2.178>

- Reyna, V. F., & Kiernan, B. (1995). Children's memory and metaphorical interpretation. *Metaphor and Symbolic Activity*, 10(4), 309-331. https://doi.org/10.1207/s15327868ms1004_5
- Reyna, V. F., & Lloyd, F. J. (2006). Physician decision making and cardiac risk: Effects of knowledge, risk perception, risk tolerance, and fuzzy processing. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 12(3), 179-195. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.12.3.179>
- Reyna, V. F., & Mills, B. A. (2007). Interference processes in fuzzy-trace theory: Aging, Alzheimer's disease, and development. In C. MacLeod & D. Gorfein (Eds.), *Inhibition and cognition* (pp. 185-210). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/11587-010>
- Reyna, V. F., Mills, B. A., Estrada, S., & Brainerd, C. J. (2006). False memory in children: Data, theory, and legal implications. In M. P. Toglia, J. D. Read, D. F. Ross, & C. L. Lindsay (Eds.), *The handbook of eye-witness psychology memory for events* (pp. 473-510). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Reyna, V. F., & Rivers, S. E. (2008). Current theories of risk and rational decision making. *Developmental Review*, 28(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2008.01.002>
- Rhodes, M. G., & Anastasi, J. S. (2000). The effects of a levels-of-processing manipulation on false recall. *Psychological Bulletin & Review*, 7(1), 158-162. <https://doi.org/10.3758/BF03210735>
- Richardson-Klavehn, A., Gardiner, J. M., & Java, R. I. (1992). Involuntary conscious memory and the method of opposition. *Memory*, 2(1), 1-29. <https://doi.org/10.1080/09658219408251490>
- Richardson-Klavehn, A., Lee, M. G., Joubert, R., & Bjork, R. A. (1994). Intention and awareness in perceptual identification priming. *Memory & Cognition*, 22(3), 293-312. <https://doi.org/10.3758/BF03200858>
- 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., & Hardman, K. O. (2017). The nature of short-term consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(11), 1551-1573. <https://doi.org/10.1037/xge0000346>
- 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>
- Riefer, D. M., & Batchelder, W. H. (1988). Multinomial modeling and the measurement of cognitive processes. *Psychological Review*, 95(3), 318-339. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.3.318>
- Ritchie, Tolan, A., & Tehan, G. (2015). Redintegration, task difficulty, and immediate serial recall tasks. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 69(1), 54-63. <https://doi.org/10.1037/cep0000031>
- Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Psychological Science*, 17(3), 249-255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x>
- Roediger, H. L., & McDermott, K. B. (1995). Creating false memories : Remembering words not presented in lists. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 21(4), 803-814. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.4.803>
- Rohrer, D., & Wixted, J. T. (1994). An analysis of latency and interresponse time in free recall. *Memory & Cognition*, 22(5), 511-524. <https://doi.org/10.3758/BF03198390>

- Romani, C., Mcalpine, S., & Martin, R. C. (2008). Concreteness effects in different tasks: Implication for models of short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(2), 292-323. <https://doi.org/10.1080/17470210601147747>
- Roodenrys, S., Hulme, C., & Brown, G. (1993). The development of short-term memory span: Separable effects of speech rate and long-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56(3), 431-442. <https://doi.org/10.1006/jecp.1993.1043>
- Roodenrys, S., & Miller, L. M. (2008). A constrained Rasch model of trace redintegration in serial recall. *Memory & Cognition*, 36(3), 578-587. <https://doi.org/10.3758/MC.36.3.578>
- Roodenrys, S., Miller, L. M., & Josifovski, N. (2022). Phonemic interference in short-term memory contributes to forgetting but is not due to overwriting. *Journal of Memory and Language*, 122(1), 104301. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2021.104301>
- Rose, N. S., Buschsbaum, B. R., & Craik, F. I. M. (2014). Short-term retention of a single word relies on retrieval from long-term memory when both rehearsal and refreshing are disrupted. *Memory & Cognition*, 42(5), 689-700. <https://doi.org/10.3758/s13421-014-0398-x>
- 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., Craik, F. I. M., & Buschsbaum, B. R. (2015). Levels of processing in working memory: differential involvement of frontotemporal networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(3), 522-532. <https://doi.org/10.1162/jocn.2014.00738>
- Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2022). Role of Attention in the Associative Relatedness Effect in Verbal Working Memory: Behavioral and chronometric perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/xlm0001102>
- Rothkegel, R. (1999). AppleTree: A multinomial processing tree modeling program for Macintosh computers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(4), 696-700. <https://doi.org/10.3758/BF03200748>
- 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), 356-373. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2012.08.001>
- Rousselle, M., Abadie, M., Blaye, A., & Camos, V. (2021). *False memories in children's working memory* 10th European Working Memory Symposium (EWoMSX), Cardiff, UK.
- Rubin, D. C., & Wenzel, A. E. (1996). One hundred years of forgetting: A quantitative description of retention. *Psychological Bulletin*, 103(4), 734-760. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.103.4.734>
- Rubin, D. C., Wetzler, S. E., & Nebes, R. D. (1986). Autobiographical memory across the life span. In D. C. Rubin (Ed.), *Autobiographical memory*. Cambridge University Press.
- Sadeh, T., Ozubko, J. D., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2014). How we forget may depend on how we remember. *Trends in Cognitive Science*, 18(1), 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.10.008>
- Sadeh, T., Ozubko, J. D., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2016). Forgetting Patterns Differentiate Between Two Forms of Memory Representation. *Psychological Science*, 27(6), 810-820. <https://doi.org/10.1177/0956797616638307>
- Sadeh, T., Ozubko, J. D., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2018). A remember/know examination of free-recall reveals dissociative roles of item-and context-information over time. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31401-w>

- Saint-Aubin, J., & Leblanc, J. (2005). Word frequency effects in immediate serial recall of pure and mixed lists: Tests of the associative link hypothesis. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 219-227. <https://doi.org/10.1037/h0087477>
- Saint-Aubin, J., Ouellette, D., & Poirier, M. (2005). Semantic similarity and immediate serial recall: Is there an effect on all trials? *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), 171-177. <https://doi.org/10.3758/BF03196364>
- Saint-Aubin, J., & Poirier, M. (1999a). The influence of long-term memory factors on immediate serial recall: An item and order analysis. *International Journal of Psychology*, 34(5-6), 347-352. <https://doi.org/10.1080/002075999399675>
- Saint-Aubin, J., & Poirier, M. (1999b). Semantic similarity and immediate serial recall: Is there a detrimental effect on order information? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52(2), 367-394. <https://doi.org/10.1080/713755814>
- Saint-Aubin, J., & Poirier, M. (2005). Word frequency effects in immediate serial recall: Item familiarity and item co-occurrence have the same effect. *Memory*, 13(3-4), 325-332. <https://doi.org/10.1080/09658210344000369>
- Saito, S., Nakayama, M., & Tanida, Y. (2020). Verbal working memory, long-term knowledge, and statistical learning. *Current Directions in Psychological Science*, 29(4), 340-345. <https://doi.org/10.1177/0963721420920383>
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 21(2), 150-164. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(82\)90521-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(82)90521-7)
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (1994). What are the memory systems in 1994? In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory systems*. MIT Press.
- Schacter, D. L., Wagner, A. D., & Buckner, R. L. (2000). Memory systems of 1999. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory*. Oxford University Press.
- Schleeper, T. M. J., & Jonkman, L. M. (2014). A longitudinal study of semantic grouping strategy use in 6-11 year-old children : Investigating developmental phases, the role of working memory and strategy transfer. *The journal of genetic psychology*, 175(6), 451-471. <https://doi.org/10.1080/00221325.2014.958126>
- Schweickert, R. (1993). A multinomial processing tree model for degradation and reintegration in immediate recall. *Memory & Cognition*, 21(2), 168-175. <https://doi.org/10.3758/BF03202729>
- Schweickert, R., Chen, S., & Poirier, M. (1999). Redintegration and the useful lifetime of the verbal memory representation. *International Journal of Psychology*, 34(5-6), 447-453. <https://doi.org/10.1080/002075999399800>
- Service, E. (2009). From auditory traces to language learning: Behavioural and neuropsychological evidence. In A. Thorn & M. P. A. Page (Eds.), *Interactions between short-term memory and long-term memory in the verbal domain* (pp. 277-300). Psychology Press.
- Shallice, T., & Papagno, C. (2019). Impairments of auditory-verbal short-term memory: Do selective deficits of the input phonological buffer exist? *Cortex*, 112, 107-121. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.10.004>
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22(2), 261-273. <https://doi.org/10.1080/00335557043000203>

- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84(2), 127-190. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.127>
- Shivde, G., & Anderson, M. C. B. (2011). On the existence of semantic working memory : Evidence for direct semantic maintenance. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 37(6), 1342-1370. <https://doi.org/10.1037/a0024832>
- Shulman, H. G. (1972). Semantic confusion errors in short-term memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(2), 221-227. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80080-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80080-X)
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1992). Determining spatial span: The role of movement time and articulation rate. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45(3), 479-501. <https://doi.org/10.1080/02724989208250624>
- Snodgrass, J. G., & Corwin, J. (1988). Pragmatics of measuring recognition memory: Applications to dementia and amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(1), 34-50. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.117.1.34>
- Souza, A. S., & Oberauer, K. (2017). The contribution of visual and central attention to visual working memory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(7), 1897-1916. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1357-y>
- 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/10.5167/uzh-104480>
- Spillers, G. J., & Unsworth, N. (2011). Variation in working memory capacity and temporal-contextual retrieval from episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(6), 1532-1539. <https://doi.org/10.1037/a0024852>
- Stadler, M. A., Roediger III, H. L., & McDermott, K. B. (1999). Norms for word lists that create false memories. *Memory and Cognition*, 27(3), 494-500. <https://doi.org/10.3758/BF03211543>
- Stahl, C., & Klauer, K. C. (2007). HMMTree: A computer program for hierarchical multinomial processing tree models. *Behavior Research Methods*, 39(2), 267-273. <https://doi.org/10.3758/BF03193157>
- Stahl, C., & Klauer, K. C. (2008). A simplified conjoint recognition paradigm for the measurement of gist and verbatim memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 34(3), 570-586. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.3.570>
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153(3736), 652-654. <https://doi.org/10.1126/science.153.3736.652>
- Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R. L., & Wright, C. E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In *Information processing in motor control and learning* (pp. 117-152). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-665960-3.50011-6>
- Stuart, G., & Hulme, C. (2000). The effects of word co-occurrence on short-term memory: Associative links in long-term memory affect short-term memory performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26(3), 796-802. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.3.796>
- Swets, J. A. (1961). Is there a sensory threshold? *Science*, 134(3473), 168-177. <https://doi.org/10.1126/science.134.3473.168>
- Tam, H., Jarrold, C., Baddeley, A., & 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(3), 306-324. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.05.006>

- Tehan, G. (2010). Associative relatedness enhances recall and produces false memories in immediate serial recall. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 64(4), 266-272. <https://doi.org/10.1037/a0021375>
- 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>
- Thapar, A., & McDermott, K. B. (2001). False recall and false recognition induced by presentation of associated words: effects of retention interval and level of processing. *Memory & Cognition*, 29(3), 424-432. <https://doi.org/10.3758/bf03196393>
- Thompson-Schill, S. L., Kurtz, K. J., & Gabrieli, J. D. E. (1998). Effects of semantic and associative relatedness on automatic priming. *Journal of Memory and Language*, 38(4), 440-458. <https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2559>
- Thorn, A. S. C., Gathercole, S. E., & Frankish, C. R. (2005). Redintegration and the benefits of long-term knowledge in verbal short-term memory: An evaluation of schweickert's (1993) multinomial processing tree model. *Cognitive Psychology*, 50, 133-158. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.07.001>
- Thorn, A. S. C., & Page, M. P. A. (2009). *Interactions between short-term and long-term memory in the verbal domain*. Psychological Press.
- Toglia, M. P., Neuschatz, J. S., & Goodwin, K. A. (1999). Recall accuracy and illusory memories: when more is less. *Memory*, 7(2), 233-256. <https://doi.org/10.1080/741944069>
- Tolkien, J. R. R. (1954). *The fellowship of the ring*. George Allen & Unwin.
- Toth, J. P., & Parks, C. M. (2006). Effects of age on estimated familiarity in the process dissociation procedure: the role of noncriterial recollection. *Memory & Cognition*, 34(3), 527-537. <https://doi.org/10.3758/BF03193576>
- Tousignant, J. P., Hall, D., & Loftus, E. F. (1986). Discrepancy detection and vulnerability to misleading postevent information *Memory & Cognition*, 14(4), 329-338. <https://doi.org/10.3758/bf03202511>
- Towse, J. N., & Cowan, N. (2004). Working memory and its relevance for cognitive development. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler, & B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: interrelation- ships among executive functioning, working memory, verbal ability and theory of mind* (pp. 9-37). Erlbaum.
- Towse, J. N., Cowan, N., Hitch, G. J., & Horton, N. J. (2008). The recall of information from working memory: insights from behavioural and chronometric perspectives. *Experimental Psychology*, 55(6), 371-383. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.55.6.371>
- 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*, 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>
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2002). On the nature of the relationship between processing activity and item retention in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(2), 156-184. [https://doi.org/10.1016/S0022-0965\(02\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0965(02)00003-6)

- Towse, J. N., & Houston-Price, C. M. T. (2001). Combining representations in working memory: A brief report. *British Journal of Developmental Psychology*, 19(3), 319-324. <https://doi.org/10.1348/026151001166100>
- Tse, C.-S. (2009). The role of associative strength in the semantic relatedness effect on immediate serial recall. *Memory*, 17(8), 874-891. <https://doi.org/10.1080/09658210903376250>
- Tse, C.-S., & Altarriba, J. (2007). Testing the associative-link hypothesis in immediate serial recall: Evidence from word frequency and word imageability effects. *Memory*, 15(6), 675-690. <https://doi.org/10.1080/09658210701467186>
- Tse, C.-S., Li, Y., & Altarriba, J. (2011). The effect of semantic relatedness on immediate serial recall and serial recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(12), 2425-2437. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.604787>
- Tulving, E. (1982). Synergistic ecphory in recall and recognition. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 36(2), 130-147. <https://doi.org/10.1037/h0080641>
- Tulving, E. (1985a). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40(4), 385-398. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.40.4.385>
- Tulving, E. (1985b). Memory and consciousness. *Canadian Psychologist*, 26(1), 1-12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>
- Tulving, E. (1989). Memory: Performance, knowledge, and experience. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1(1), 3-26. <https://doi.org/10.1080/09541448908403069>
- Tulving, E., & Schacter, D. L. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, 247(4940), 301-306. <https://doi.org/10.1126/science.2296719>
- Turella, L., Pierno, A. C., Tubaldi, F., & Castiello, U. (2009). Mirror neurons in humans: Consisting or confounding evidence? *Brain & Language*, 108(1), 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2007.11.002>
- Turner, J. E., Henry, L. A., & Smith, P. T. (2000). The development of the use of long-term knowledge to assist short-term recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53(2), 457-478. <https://doi.org/10.1080/713755899>
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2), 127-154. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(89\)90040-5](https://doi.org/10.1016/0749-596X(89)90040-5)
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1983). Extensional versus intuitive reasoning : The conjunction fallacy in probability. *Psychological Review*, 90(4), 293-315. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.90.4.293>
- Unsworth, N. (2007). Individual differences in working memory capacity and episodic retrieval: Examining the dynamics of delayed and continuous distractor free recall. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 33(6), 1020-1034. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.6.1020>
- Unsworth, N. (2009). Variation in working memory capacity, fluid intelligence, and episodic recall: A latent variable examination of differences in the dynamics of free recall. *Memory & Cognition*, 37(6), 837-849. <https://doi.org/10.3758/MC.37.6.837>
- Unsworth, N., & Brewer, G. A. (2009). Examining the relationship among item recognition, source recognition, and recall from an individual differences perspective. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 35(6), 1578-1585. <https://doi.org/10.1037/a0017255>

- Unsworth, N., & Brewer, G. A. (2010a). Individual differences in false recall: A latent variable analysis. *Journal of Memory and Language*, 62(1), 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2009.08.002>
- Unsworth, N., & Brewer, G. A. (2010b). Variation in working memory capacity and intrusions: Differences in generation or editing? *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(6), 990-1000. <https://doi.org/10.1080/09541440903175086>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007a). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114(1), 104-132. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.1.104>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007b). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin*, 133(6), 1038-1066. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.6.1038>
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010). Variation in working memory capacity and episodic recall: The contributions of strategic encoding and contextual retrieval. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 200-205. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.2.200>
- Unsworth, N., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2010). The contribution of primary and secondary memory to working memory capacity: An individual differences analysis of immediate free recall. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 36(1), 240-247. <https://doi.org/10.1037/a0017739>
- Vallar, G., & Papagno, C. (1995). Neuropsychological impairments of short-term memory. In A. D. Baddeley, B. A. Wilson, & F. N. Watts (Eds.), *Handbook of memory disorders*. Wiley & Sons.
- 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. (2010a). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological Science*, 21(3), 384-390. <https://doi.org/10.1177/0956797610361340>
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010b). Verbal and visuo-spatial working-memory: a case for domain-general time-based resource sharing. *Psychological Science*, 21(3), 384-390. <https://doi.org/10.1177/0956797610361340>
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (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., 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(126), 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>
- Vergauwe, E., & Langerock, N. (2017). Attentional refreshing of information in working memory : Increased 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., Price, M. H., Douglass, A., Henry, F., Cowan, N., & Johnson, J. D. (2016). *Using EEG to decode the content of the focus of attention in a complex span task : Can we find evidence for spontaneous refreshing ?* 8th European Working Memory Symposium, University of Liège, Belgium.
- Walker, I., & Hulme, C. (1999). Concrete words are easier to recall than abstract words: Evidence for a semantic contribution to short-term serial recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25(5), 1256-1271. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.5.1256>
- Watkins, O. C., & Watkins, M. J. (1977). Serial recall and the modality effect: Effects of word frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(6), 712-718. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.3.6.712>
- Weber, E. U., & Johnson, E. J. (2009). Mindful judgment and decision making. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 53-85. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.60.110707.163633>
- Wessel, E., Magnussen, S., & Melinder, A. M. D. (2013). Expressed emotions and perceived credibility of child mock victims disclosing physical abuse. *Applied Cognitive Psychology*, 27(5), 611-616. <https://doi.org/10.1002/acp.2935>
- Wixted, J. T. (2007). Dual-process theory and signal-detection theory of recognition memory. *Psychological Review*, 114(1), 152-176. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.1.152>
- Yonelinas, A. P. (1994). Receiver-operating characteristics in recognition memory: Evidence for a dual-process model. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 20(6), 1341-1354. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.6.1341>
- Yonelinas, A. P. (1997). Recognition memory ROCs for item and associative information: The contribution of recollection and familiarity. *Memory & Cognition*, 25(6), 747-763. <https://doi.org/10.3758/BF03211318>
- Yonelinas, A. P. (1999). The contribution of recollection and familiarity to recognition and source-memory judgments: A formal dual-process model and an analysis of receiver operating characteristics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(6), 1415-1434. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.6.1415>
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46(3), 441-517. <https://doi.org/10.1006/jmla.2002.2864>
- Yonelinas, A. P., Dobbins, I., Szymanski, M. D., Dhaliwal, H. S., & L., K. (1996). Signal-detection, threshold, and dual-process models of recognition memory: ROCs and conscious recollection. *Consciousness and Cognition*, 5(4), 418-441. <https://doi.org/10.1006/ccog.1996.0026>



ANNEXES



Liste des annexes

Annexe A. Équations du modèle *Trichotomous*.

Annexe B. Équations du modèle simplifié de reconnaissance conjointe *SCR*.

Annexe C. Décision du comité d'éthique de l'Université de Fribourg.

Annexe D. Formulaire de consentement pour participants adultes (a) et enfants (b).

Annexe E. Matériel supplémentaire créé pour les expériences présentées en Chapitre 5.

Annexe F. Listes des mots utilisés dans le Chapitre 5, expériences 1 et 2.

Annexe G. Listes des mots utilisés dans le Chapitre 6, expériences 1, 2, 3 et 4.

Annexe H. Listes des mots utilisés dans le Chapitre 7, sémantiques et phonologiques.

Annexe I. Documents administratifs.

Annexe A

Équations du modèle de l'Alternative Error de la théorie *Trichotomous*

A1. D_{1a}

A1. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times J_{1a} \times J_{2a} \times J_{3a}$

A2. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times J_{1a} \times J_{2a} \times (1-J_{3a})$

A3. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times J_{1a} \times (1-J_{2a}) \times D_{2a}$

A3. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times J_{1a} \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times J_{3a}$

A4. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times J_{1a} \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{3a})$

A5. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times D_{2a}$

A5. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times J_{2a} \times J_{3a}$

A6. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times J_{2a} \times (1-J_{3a})$

A7. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{2a}) \times D_{2a}$

A7. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times J_{3a}$

A8. $(1-D_{1a}) \times R_{1a} \times (1-J_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{3a})$

A5. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times D_{2a}$

A5. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times J_{2a} \times J_{3a}$

A6. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times J_{2a} \times (1-J_{3a})$

A7. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times (1-J_{2a}) \times D_{2a}$

A7. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times J_{3a}$

A8. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times (1-J_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-J_{3a})$

A7. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-R_{2a}) \times D_{2a}$

A7. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-R_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times J_{3a}$

A8. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-R_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times R_{2a} \times (1-J_{3a})$

A8. $(1-D_{1a}) \times (1-R_{1a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-R_{2a}) \times (1-D_{2a}) \times (1-R_{2a})$

Annexe B

Équations du modèle simplifié de reconnaissance conjointe selon l'arbre de probabilité présenté dans la Figure 9, p. 62 (équations SCR1-9) et équations pour les paramètres G_c ,

V_c, G_r, V_r, a et b (équations SCR10-15)

Probabilités qu'un item cible (c) soit catégorisé comme cible (C), relié (R) ou non-relié (N) :

SCR1. $P(c, C) = V_c + (1-V_c) \times G_c \times a + (1-V_c) \times (1-G_c) \times b \times a$

SCR2. $P(c, R) = (1-V_c) \times G_c \times (1-a) + (1-V_c) \times (1-G_c) \times b \times (1-a)$

SCR3. $P(c, N) = (1-V_c) \times (1-G_c) \times (1-b)$

Probabilités qu'un item relié (r) soit catégorisé comme cible (C), relié (R) ou non-relié (N) :

SCR4. $P(r, C) = (1-V_r) \times G_r \times a + (1-V_r) \times (1-G_r) \times b \times a$

SCR5. $P(r, R) = V_r + (1-V_r) \times G_r \times (1-a) + (1-V_r) \times (1-G_r) \times b \times (1-a)$

SCR6. $P(r, N) = (1-V_r) \times (1-G_r) \times (1-b)$

Probabilités qu'un item non-relié (n) soit catégorisé comme cible (C), relié (R) ou non-relié (N) :

SCR7. $P(n, C) = b \times a$

SCR8. $P(n, R) = b \times (1-a)$

SCR9. $P(n, N) = 1-b$

Les paramètres du modèles *SCR* peuvent alors être estimé par les équations suivantes :

SCR10. $G_c = \frac{p(c,R) \times p(n,N) \times (1-p(n,N)) - p(c,N) \times p(n,R) \times (1-p(n,N))}{p(c,R) \times p(n,N) \times (1-p(n,N)) + p(c,N) \times p(n,R) \times p(n,N)}$

SCR11. $V_c = \frac{p(c,C) - p(n,C)}{p(n,R) \times p(c,R)}$

SCR12. $G_r = \frac{p(r,C) \times p(n,N) \times (1-p(n,N)) - p(r,N) \times p(n,C) \times (1-p(n,N))}{p(r,C) \times p(n,N) \times (1-p(n,N)) + p(r,N) \times p(n,C) \times p(n,N)}$

SCR13. $V_r = \frac{p(r,R) - p(n,R)}{p(n,C) \times p(r,C)}$

SCR14. $A = \frac{p(n,C)}{p(n,C) + p(n,R)}$

SCR15. $B = p(n, N)$

Annexe C

 Faculty of Arts and Humanities
Department of Psychology
Institute for Family Research and Counseling

 Prof. Dr. Dominik Schoebi
Rue P.-A. Faugigny 2
1700 Fribourg

 T +41 26 300 7470
dominik.schoebi@unifr.ch
www.unifr.ch/psycho

**Internal Review Board of the
Department of Psychology
University of Fribourg**

 Fiona Laura Rosselet-Jordan
Prof. Dr. Valérie Camos
Department of Psychology
University of Fribourg

Fribourg, January 10, 2018

Decision of the Internal Review Board

The Internal Review Board of the Department of Psychology of the University of Fribourg has closely examined the following research project ☐ on its meeting of / x by means of an electronic circulation of files.

Title of the research project Code of study: Ref-No.: 350

Comment l'attention influence-t-elle les relations entre la mémoire à long terme et la mémoire de travail?

Members of the ethics committee

The ethics committee has held its meeting in the following composition and hence had the quorum. The ethics committee draws upon the rules of the implementation of ethical principals and the definition of a code of conduct for the psychological research at the department of Psychology at the University of Fribourg (1.7.2011).

	Name, given name	Professional position / Title	m	f	Involved members		
					yes	no	
						absent	withdrawn
Head	Schöbi, Dominik	Prof.	x	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Representative Professorate	Klumb, Petra	Prof.	<input type="checkbox"/>	x	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Representative Professorate	Sauer, Jürgen	Prof.	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Representative scientific collaborators / students	Ackert, Michael		x	<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Representative scientific collaborators / students	Petri, Laura		<input type="checkbox"/>	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
External member	Bresciani, Jean-Pierre	Prof.	x	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Main examiner (responsible director of study at the site of experiment)

Prof. Dr. Valérie Camos

Address: Department of Psychology, University of Fribourg

The ethics committee bases its evaluation on the documents as listed:

- ☒ on the basic request form dated 2017-12-11
- ☐ on the attached cover letters
- ☒ on the category „evaluated documents“ (see below)

Way of procedure:

- ☒ Single approval
- ☐ Group approval
- ☐ Simplified procedure (Alteration of approval)
- ☐ Subsequent Evaluation

The ethics committee issues the following **resolution**:

- ☐ **A positive**
 - ☒ **B positive with suggestions**
 - ☐ **C conditions**
 - ☐ subsequent evaluation by the ethics committee necessary
 - ☐ written notification to the ethics committee sufficient
 - ☐ **D negative (with justification and recommendations for subsequent evaluation)**
 - ☐ **E Refusal to consider (with justification)**
- ☐ The resolution applies to all examiners listed by name being in the scope of responsibility of the ethics committee (according to separate detailed list).

The resolution is effective within the following period:

- ☐ Period as indicated in the basic request form.
- ☒ From 10.01.2018 to 31.12.2021.

Evaluated documents

 2017-350_Deroulement	12/11/2017 7:12 PM	Microsoft Word D...	329 KB
 2017-350_Informations_consentement	12/11/2017 7:12 PM	Microsoft Word D...	179 KB
 2017-350_Instructions	12/11/2017 7:12 PM	Microsoft Word 9...	32 KB
 2017-350_request	12/11/2017 7:12 PM	Adobe Acrobat D...	9 KB

(expandable)

Suggestions

1. It is stated that for participation in the experiment, students can obtain obligatory hours OR the cinema tickets. This is not completely in line with the answers to the first two questions in "3. Aspects éthiques spécifiques au projet de recherche proposé". Please double-check and if necessary clarify on the study materials whether everyone can have a cinema ticket after taking part in the experiment (instead of experimental hours) or that they have to take part in a lottery.

(expandable)

Conditions

- none

(expandable)

Justification for a negative resolution and recommendation for re-evaluation

-/-

(expandable)

Justification for refusal to consider

-/-

(expandable)

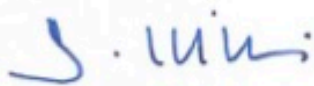
Pro Memoria: **Responsibilities of the main examiner**

- Obligation to report :
- a) immediately by severe non desired incidents
 - b) new findings, which come up during the experiment and which influence security of the participants and/or the continuation of the experiment
 - c) severe modifications of the protocol (experimental design)
 - d) End or abandonment of experiment

For the ethics committee: Prof. Dr. Dominik Schöbi

Fribourg, 10.01.2018

Signature:



Dominik Schöbi

Copy to:

- Members of the ethics committee

Annexe D

a) Formulaire de consentement pour participants adultes



Je certifie avoir donné mon accord pour participer à cette étude de psychologie. J'accepte de participer volontairement à cette étude et je comprends que ma participation n'est pas obligatoire et que je peux stopper ma participation à tout moment sans avoir à me justifier, ni n'encourir aucune sanction. Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Au cours de cette étude, j'accepte que les données sur mes réponses soient recueillies. Je comprends que les informations recueillies sont strictement confidentielles.

J'ai été informé-e du fait que mon identité n'apparaîtra dans aucun rapport ou publication, et que toute l'information me concernant sera traitée de manière confidentielle. J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement non-nominatif par les investigateurs concernés.

Madame/Monsieur _____ (Nom et prénom)

Numéro de téléphone _____

Adresse e-mail _____

Cochez la case appropriée, svp.

J'accepte de participer à cette étude ☐

Je n'accepte pas de participer à cette étude ☐

Lieu et date :

Signature :

Contacts :

Fiona Laura Rosselet-Jordan
Université de Fribourg, Département de Psychologie, Rue de Faucigny 2, 1700 Fribourg
fionalaura.rosselet-jordan@unifr.ch, tél. 026 300 76 67

Prof. Dr. Valérie Camos
Université de Fribourg, Département de Psychologie, Rue de Faucigny 2, 1700 Fribourg
valerie.camos@unifr.ch, tél. 026 300 76 75

Annexe D

b) Formulaire de consentement pour participants enfants



Madame, Monsieur,

Une étude sur la mémorisation chez des enfants va être effectuée dans l'école de votre enfant. Les tâches utilisées seront ludiques et adaptées à ses capacités. Les résultats pourront éventuellement être utilisés pour des publications ou communications scientifiques. Dans tous les cas, ces résultats seront anonymes et aucun traitement de données ne sera fait sur la base de scores individuels. En aucun cas cette étude ne permettrait de juger d'une quelconque performance d'ordre intellectuelle ou d'un état psychologique.

Cette étude est menée par le département de psychologie du développement de l'Université de Fribourg, avec l'autorisation de la Direction de l'instruction publique.

Madame/ Monsieur* (Nom et prénom du parent)

Père/ Mère / Tuteur(trice) légal(e)* de (Nom et prénom de l'enfant)

Cocher la case appropriée svp :

J'autorise mon enfant à participer à cette étude	<input type="checkbox"/>
Je n'autorise pas mon enfant à participer à cette étude	<input type="checkbox"/>

Date :

Signature

*Rayer les mentions inutiles

Contact : Fiona Laura Rosselet-Jordan
Université de Fribourg, Département de Psychologie, Rue de Faucigny 2, 1700 Fribourg
fionalaura.rosselet-jordan@unifr.ch ; +41 (0) 79 724 69 36

Annexe E

Développement de la construction et du pré-test du matériel utilisé dans les expériences présentées en Chapitre 5.

1. Experiment 1

1.1. Method

We used free association norms in French language collected in 9- to 11-year-old children by De La Haye (2003) and Duscherer et al. (2009). We combined information from these two studies to be able to create lists of two to six related words. For example, in De La Haye (2003) norms, the stimulus-word *cheminée* (fireplace) calls first the response-word *feu* (fire), and *feu* (fire) calls *pompier* (fireman) while *briquet* (lighter) calls *feu* (fire). In Duscherer et al. (2009), *allumer* (to light) produces *feu* (fire) and *briquet* (lighter). Hence, the words *cheminée-feu-pompier-briquet-allumer* (fireplace – fire – fireman – lighter – to light) were combined to form a list of five related words. Through this procedure, 40 lists of two to six related words, with eight lists in each length were selected (i.e., a total of 160 words). The 40 lists of related words were divided into two sets of 80 words each, with the constraint that each set had similar word frequencies according to the database of (seeNew et al., 2001 database). Moreover, we verified that the words in a given list did not belong to the same lexical categories (e.g., *pomme-poire-banane*; apple-pear-banana) but were associatively related (*lapin-carotte-oreille*; rabbit-carrot-ear). All emotionally valenced words were discarded.

As explained in the main text, related words of a set were mixed to create lists of unrelated words. At the end, each set contained both lists of related and unrelated words (see lists presented at the end of the Supplementary Material), and we verified that the different grammatical categories (i.e., verb, noun, adjective) were similarly represented in each set. The average word frequencies were similar between sets ($M = 63.7$; $SD = 36.1$, and $M = 67.7$; $SD = 41.5$, $BF_{10} = .26$), and lists of the same length had similar word frequencies in the two sets. Finally, we minimized the repetition of phonemes within a given list.

1.2. Pre-tests of the material

Each set was first pre-tested by 90 native French-speaker adults (58 females, $M_{\text{age}} = 32.2$ years, $SD = 11.8$). Each participant judged the associative relatedness of each list of words on a Likert scale (from 1 = not related at all; to 7 = strongly related). Two examples were given at the beginning of the pre-test: an example of a related list (e.g. *Suisse-chocolat-montre*; Switzerland-chocolate-watch), and another of an unrelated list (e.g. *Suisse-méduse-camembert*; Switzerland-jellyfish-camembert). Related word lists with an average score of less than 5.5 and unrelated word lists with an average score greater than 2.5 were excluded and replaced by new ones. Two related and seven unrelated lists were then modified and tested in a second pre-test with 56 adults who did not participate to the first pre-test. All the scores were higher than 5.5 for the related word lists ($M = 6.57$; $SD = .29$) and lower than 2.5 for unrelated word lists ($M = 1.61$; $SD = .41$). Finally, as mentioned in the procedure of the experiment, a post-test similar to the pre-test was performed by the participants at the end of the experiment. Each participant ($N = 64$) judged the lists s-he did not studied during the experiment. Children ($M = 6.28$, $SD = .48$, for the related lists, and $M = 1.77$, $SD = .36$, for the unrelated lists) and adults' judgments ($M = 6.55$, $SD = .33$, and $M = 1.62$, $SD = .28$, respectively) were close across lists.

2. Experiment 2

2.1. Method

According to results in Experiment 1, children's recall performance dropped below 50% for lists longer than four words. Hence, in Experiment 2, we chose to present lists of constant length of four words. Because Experiment 1's material included lists longer than four, we had to create new lists for Experiment 2. Moreover, unlike Experiment 1, unrelated word lists were not created from the reorganization of the related word lists, but other words were selected from databases for creating the unrelated word lists. This should minimize the formation of semantic links between lists. Sixty-five percent of words of the related lists came from Experiment 1 and additional words were also selected from free association norms of De La Haye (2003) and Duscherer et al. (2009). Words showing no semantic association between them were selected to form unrelated word lists. As in Experiment 1, only one to three syllables and neutrally valenced words were chosen. Based on New et. Al. (2001) database, we verified that word frequencies were similar

between related ($M = 30.7$, $SD = 7.67$) and unrelated ($M = 33.3$, $SD = 6.68$) lists, $BF_{10} = .49$. Each list includes a maximum of one verb, with a total of 10 verbs and 54 nouns in related and unrelated lists. There was no repetition of phonemes within a list.

2.2. Pre-tests of the material

In a pre-test similar to that of Experiment 1, 120 students from the University of Fribourg (96 females, $M_{\text{age}} = 22.1$ years, $SD = 3.70$), all native French-speakers judged the associative relatedness of 44-word lists on a Likert scale (from 1 = not related at all; to 7 = strongly related). The order of presentation of the words within the lists being randomized in the experiment, four sets of words were created in which each word was presented in one of the four possible serial positions. Each participant was assigned to one of these sets and none of them took part of the experiment. The 16 related and 16 unrelated best judged lists were selected as experimental material. Scores were higher than 5.5 for the related lists ($M = 6.60$; $SD = .73$) and lower than 2.5 for unrelated lists ($M = 1.48$; $SD = .94$). Judgments on the four pre-test sets were highly correlated ($\alpha_{\text{Cronbach}} = .89$ for related and $\alpha_{\text{Cronbach}} = .90$ for unrelated word lists).

Annexe F

Listes des mots utilisés dans le Chapitre 5, Expériences 1 et 2.

Expérience 1

Mots reliés

poule	œuf				
laver	propre				
carte	jeu				
cinéma	film				
farine	gâteau	blé			
ligne	trait	droit			
lapin	oreille	carotte			
courir	marcher	sport			
ciel	nuage	pluie	bleu		
clou	marteau	outil	bricoler		
brosse	cheveux	peigne	coiffer		
lampe	lumière	phare	éclairer		
clé	fenêtre	porte	ouvrir	sonner	
descente	glisser	ski	neige	montagne	
fourchette	couteau	salade	nourriture	manger	
miel	ruche	piquer	moustique	abeille	
mordre	chat	chien	aboyer	promener	niche
bébé	biberon	enfant	petit	amuser	jouer
chanteur	micro	musique	danse	trompette	disque
bateau	mer	piscine	nager	sable	plonger

Liste 1

poche	pantalon				
classe	école				
lunettes	vue				
vider	poubelle				
bureau	travail	table			
laine	mouton	animal			
costume	habit	carnaval			
pomme	fruit	peler			
cage	oiseau	plume	nid		
bouteille	vin	eau	déboucher		
ballon	football	gonfler	lancer		
mal	douleur	bobo	tomber		
écureuil	noisette	arbre	grimper	feuille	
café	sucré	boire	tasse	bonbon	
avion	vacance	voler	voyage	partir	
cheminée	feu	briquet	pompier	allumer	
accident	voiture	conduire	moto	vitesse	route
bruit	son	crier	sourd	hurler	fort
écrire	stylo	lire	journal	crayon	lettre
jardin	fleur	vase	arroser	plante	cueillir

Liste 2

Mots non-reliés

laver	cinéma				
jeu	oeuf				
film	propre				
carte	poule				
courir	blé	oreille			
farine	carotte	droit			
trait	gâteau	marcher			
lapin	ligne	sport			
clou	brosse	phare	ciel		
coiffer	marteau	bleu	lampe		
lumière	nuage	outil	peigne		
pluie	éclairer	cheveux	bricoler		
porte	descente	abeille	neige	nourriture	
fourchette	ski	miel	fenêtre	piquer	
clé	montagne	ruche	sonner	manger	
ouvrir	glisser	salade	moustique	couteau	
mordre	enfant	micro	plonger	musique	chat
promener	petit	nager	niche	danse	sable
aboyer	bébé	bateau	trompette	piscine	amuser
chien	biberon	chanteur	mer	jouer	disque

Liste 1

école	pantalon				
classe	poche				
poubelle	vue				
lunettes	vider				
pomme	costume	animal			
bureau	fruit	laine			
mouton	table	habit			
carnaval	peler	travail			
lancer	vin	plume	douleur		
cage	ballon	mal	déboucher		
bouteille	oiseau	gonfler	tomber		
bobob	football	eau	nid		
sucre	voyage	briquet	boire	grimper	
tasse	voler	écureuil	feu	feuille	
arbre	café	pompier	vacances	allumer	
bonbon	avion	cheminée	noisette	partir	
voiture	son	journal	plante	hurler	crayon
route	crier	stylo	moto	fleur	lire
conduire	bruit	arroser	vitesse	lettre	cueillir
accident	sourd	écrire	jardin	fort	vase

Liste 2

Expérience 2

Mots reliés

vin	bouteille	bouchon	raisin
théière	sucré	boire	tasse
passeport	avion	vacances	voyager
oiseau	plume	bec	aile
œuf	farine	gâteau	lait
lampe	phare	éclairer	lanterne
goutte	nuage	brouillard	averse
fleur	vase	plante	arroser
flamme	cheminée	pompier	incendie
écureuil	noisette	arbre	grimper
descente	skier	neige	montagne
clé	serrure	sonner	poignée
chanter	micro	musique	trompette
bébé	biberon	parent	pleurer
balle	sport	équipe	course
abeille	voler	miel	ruche

Mots non-reliés

falaise	reposer	sujet	couvercle
ami	autruche	espionner	chimie
boulangier	échec	signe	chignon
changer	limace	cirque	cave
foule	classeur	sauce	retraite
manège	polluer	oignon	service
note	région	pétard	comité
placard	marquer	clinique	paille
porter	forme	tartine	grenouille
poster	robinet	couronne	jambe
prise	louer	ligne	pantin
puzzle	rester	squelette	limonade
quartier	sursauter	commande	boule
rideau	betterave	rêve	cendrier
semaine	cocktail	troupeau	langage
vélo	charbon	moitié	fièvre

Annexe G

Listes des mots utilisés dans le Chapitre 6, Expériences 1, 2, 3 et 4, pour les mots reliés et non-reliés (à l'exception de l'expérience 1 où tous les mots sont non-reliés).

Expérience 1

trousse	nage	pince	vogue	ruche	menthe	<i>Liste 1</i>
trompe	drogue	guêpe	muse	tri	crampe	
jeûne	casse	bêche	clan	seau	stage	
fougue	rade	raie	flair	stand	gîte	
brosse	mage	liasse	dinde	rhume	coiffe	
rail	friche	transe	niche	biche	panse	
zinc	mât	sonde	coque	quête	braise	
bille	rente	riz	guet	phoque	chaux	
trame	souche	pousse	butte	crotte	bail	
tôle	tresse	stock	sève	flore	duel	
code	truite	bac	miche	crabe	moule	<i>Liste 2</i>
teinte	bise	colle	glaise	ver	bâche	
crêpe	fente	bosse	toque	douche	tape	
ode	pneu	test	lobe	gage	ligue	
hausse	mule	moelle	prime	tueur	halle	
pion	digue	faune	fosse	croupe	claque	
prêt	ronce	crin	quinte	jade	bol	
flotte	cuve	liane	anse	rime	hotte	
frise	cote	baisse	heurt	bûche	craie	
trot	tripe	broche	fée	baie	hache	
latte	tranche	griffe	bulle	jarre	douane	<i>Liste 2</i>
buée	gamme	lac	housse	toux	crèche	
trappe	fonte	peigne	cruche	brousse	natte	
frêne	site	ère	four	sauce	tome	

Expérience 2 & 3 – Liste de mots reliés

camion	voiture	conduire	moto	virage	rouler	<i>Liste 1</i>
chanter	micro	musique	danser	trompette	disque	
goutte	nuage	pluie	brouillard	averse	orage	
bébé	biberon	parent	pleurer	fils	jouer	
lampe	ombre	phare	éclairer	bougie	lanterne	
clé	portail	serrure	entrer	sonner	poignée	
bouteille	vin	verre	verser	bouchon	raisin	<i>Liste 2</i>
balle	football	sport	lancer	équipe	courir	
jardin	fleur	vase	arroser	plante	cueillir	
cage	oiseau	plume	œuf	bec	aile	
descente	glisser	skier	neige	montagne	hiver	
cheminée	feu	briquet	pompier	allumer	incendie	

Expérience 2 & 3 – Liste de mots non-reliés

semaine	prise	cocktail	puzzle	âme	pantin	<i>Liste 1</i>
ami	placard	marque	clinique	coiffer	paille	
tante	menu	tortue	cabane	rendre	maudire	
falaise	repos	cause	abeille	sujet	louer	
croisière	échec	signe	tradition	baisser	changer	
couronne	quartier	condition	désert	sursauter	devenir	
métal	parquet	art	muscle	troupeau	pensée	<i>Liste 2</i>
forme	fil	orteil	oser	porter	prison	
respect	parier	parfum	chauffeur	poche	rebord	
couvercle	paix	suivre	colle	planer	poste	
vélo	lait	charbon	rideau	moitié	préparer	
manège	omettre	oignon	griffe	écrire	service	

Expérience 4

Mots reliés

camion	voiture	conduire	moto	virage	rouler	<i>Liste 1</i>
costume	habit	carnaval	poche	pantalon	déguiser	
clé	portail	serrure	entrer	sonner	poignée	
chanter	micro	musique	danser	trompette	disque	
lampe	ombre	phare	éclairer	bougie	lanterne	
goutte	nuage	pluie	brouillard	averse	orage	
bébé	biberon	parent	pleurer	fils	jouer	<i>Liste 2</i>
avion	vacance	valise	voyage	congé	bagage	
jardin	fleur	vase	arroser	plante	cueillir	
cheminée	feu	briquet	pompier	allumer	incendie	
descente	glisser	skier	neige	montagne	glace	
balle	football	sport	lancer	équipe	courir	

Mots non-reliés

congé	courir	allumer	neige	bébé	plante	<i>Liste 1</i>
équipe	avion	skier	cueillir	feu	biberon	
descente	valise	sport	pompier	fils	jardin	
jouer	vase	balle	incendie	glisser	bagage	
montagne	cheminée	voyage	arroser	football	pleurer	
lancer	vacance	parent	glace	briquet	fleur	
goutte	musique	pantalon	rouler	clé	phare	<i>Liste 2</i>
habit	portail	moto	ombre	trompette	nuage	
chanter	virage	sonner	carnaval	lampe	pluie	
voiture	averse	déguiser	éclairer	disque	serrure	
conduire	brouillard	poche	micro	bougie	poignée	
danser	orage	camion	lanterne	entrer	costume	

Annexe H

Listes des mots utilisés dans le Chapitre 7 selon la similarité ou non-similarité sémantique et phonologique.

Similarité sémantique

Cibles	----- Mots associés -----				D. Reliés	D. Non-reliés
champagne	raisin	carafe	bouteille	vin	bouchon	droit
balle	équipe	maillot	course	football	sport	désert
plume	cage	oiseau	bec	œuf	moineau	méduse
montagne	descente	ski	hiver	glisse	neige	chaussure
flamme	fumée	briquet	brûlure	feu	pompier	église
pétale	champ	plante	jardin	vase	fleur	kiosque
camion	voiture	moto	virage	conduite	permis	sirop
chant	micro	musique	trompette	disque	piano	bâton
pleurs	cigogne	jeu	berceau	parent	bébé	cabane
lampe	ampoule	phare	bougie	lumière	lanterne	cristal
poignée	clé	portail	sonnette	entrée	serrure	canon
orage	brouillard	goutte	nuage	averse	pluie	sifflet
plongeon	sable	vague	palmier	nage	piscine	blé
valise	voyage	congé	touriste	avion	vacances	journal
clou	marteau	outil	écrou	ciseaux	mur	tortue
dent	bouche	dentiste	lèvre	gencive	mâche	pétard
armoire	caisse	tiroir	cintre	placard	commode	trait
métro	ticket	bus	arrêt	parking	train	panier
miroir	beauté	vernis	parfum	collier	reflet	puzzle
fourchette	assiette	salade	four	tomate	couteau	toile
brosse	coiffe	peigne	cheveux	chauve	chignon	cocktail
bureau	classe	école	maîtresse	stylo	cahier	insecte
costume	habit	bal	cape	soirée	fête	souris
gâteau	tarte	farine	cuisine	lait	biscuit	prison
tissu	fil	aiguille	tricot	couture	épingle	café
trésor	bateau	pirate	île	sabre	carte	niche
docteur	urgence	blessure	plâtre	malade	béquille	poubelle
diable	démon	dieux	ange	aile	enfer	hibou
mariage	alliance	bague	voile	bijou	robe	lunettes
soldat	flèche	épée	arc	arme	combat	marron
cadeau	noël	ruban	papier	nœud	surprise	héron
tente	repos	sauvage	camping	couchage	hamac	rideau
roi	marraine	princesse	rêve	citrouille	carrosse	quartier
message	timbre	lettre	courrier	cachet	poste	falaise
château	dragon	magie	baguette	sort	légende	pendule
filet	poisson	pêche	lac	rivière	barque	réveil
feuille	bosquet	herbe	forêt	trèfle	arbre	mouton
tableau	peinture	portrait	couleur	palette	pinceau	pigeon
monnaie	dépense	argent	crédit	dette	richesse	espion
squelette	os	tombe	fantôme	vampire	cercueil	salon

Note : Selon la condition, les mots cibles et les distracteurs reliés sont intervertis.

Non-similarité sémantique

Cibles	----- Mots associés -----				D. Reliés	D. Non-reliés
champagne	maîtresse	ski	île	feu	bouchon	droit
balle	portail	carafe	épée	placard	sport	désert
plume	brouillard	dieux	cheveux	vase	moineau	méduse
montagne	voile	maillot	bec	entrée	neige	chaussure
flamme	peinture	tarte	repos	nœud	pompier	église
pétale	tombe	papier	ampoule	parent	fleur	kiosque
camion	lettre	outil	palmier	couture	permis	sirop
chant	cuisine	dragon	camping	stylo	piano	bâton
pleurs	pirate	brûlure	course	soirée	bébé	cabane
lampe	cape	farine	démon	jeu	lanterne	cristal
poignée	goutte	fantôme	cintre	tomate	serrure	canon
orage	lac	tricot	alliance	parking	pluie	sifflet
plongeon	forêt	caisse	marraine	conduite	piscine	blé
valise	jardin	phare	baguette	glisse	vacances	journal
clou	sort	bague	bougie	gencive	mur	tortue
dent	école	touriste	descente	disque	mâche	pétard
armoire	herbe	clé	beauté	aile	commode	trait
métro	parfum	oiseau	flèche	citrouille	train	panier
miroir	bosquet	voyage	noël	bijou	reflet	puzzle
fourchette	sonnette	bateau	princesse	couchage	couteau	toile
brosse	assiette	arrêt	classe	arme	chignon	cocktail
bureau	couleur	rêve	dentiste	football	cahier	insecte
costume	marteau	timbre	briquet	rivière	fête	souris
gâteau	habit	vernis	magie	averse	biscuit	prison
tissu	bouteille	plante	berceau	chauve	épingle	café
trésor	courrier	cigogne	hiver	vin	carte	niche
docteur	nuage	arc	bus	lait	béquille	poubelle
diable	bal	urgence	salade	avion	enfer	hibou
mariage	fumée	équipe	tiroir	sabre	robe	lunettes
soldat	peigne	crédit	moto	ciseaux	combat	marron
cadeau	four	aiguille	congé	dette	surprise	héron
tente	écrou	poisson	dépense	cachet	hamac	rideau
roi	virage	trompette	bouche	palette	carrosse	quartier
message	ruban	argent	sauvage	vampire	poste	falaise
château	micro	blessure	ticket	lumière	légende	pendule
filet	portrait	ange	coiffe	malade	barque	réveil
feuille	os	sable	fil	collier	arbre	mouton
tableau	vague	cage	plâtre	trèfle	pinceau	pigeon
monnaie	raisin	musique	voiture	nage	richesse	espion
squelette	pêche	champ	lèvre	œuf	cercueil	salon

Note : Selon la condition, les mots cibles et les distracteurs reliés sont intervertis.

Similarité phonologique

Cibles	----- Mots associés -----				D. Reliés	D. Non-reliés
zone	taupe	paume	faute	dose	sauce	juge
vache	gare	dalle	batte	nappe	page	hutte
bar	rame	canne	châle	sage	charge	bulle
race	panne	case	dame	bac	malle	frime
fer	messe	grec	gel	sève	veine	luth
gêne	hier	mèche	selle	thèse	paire	luxé
rive	mine	cire	gîte	vide	tic	côte
mode	colle	pote	tort	bosse	roche	mule
note	folle	gosse	coq	bonne	pomme	muscle
poule	douche	douze	coupe	boule	pouce	clause
danse	banque	gang	fente	trente	manche	pub
brave	tache	cave	rage	patte	plaque	truc
lame	bâche	gaffe	date	chasse	cap	pull
chute	tube	ruse	cure	lune	nuque	crampe
brèche	chèque	thème	scène	guêpe	grêle	cancre
laine	fesse	nerf	bête	chaise	pelle	cube
pipe	rire	fiche	guide	bise	digue	pose
vol	somme	botte	port	rock	code	frange
bol	poche	gomme	loge	choc	fosse	cuve
soupe	court	touffe	mousse	bouc	foule	fauve
pile	riche	biche	pire	pic	vis	pulpe
drame	gaz	farce	lard	basse	grappe	bûche
serre	set	zèbre	fief	maître	plaine	mûre
chic	chiffre	mille	bip	miche	tir	puce
sel	miette	peste	baisse	greffe	sept	boucle
pape	char	tape	glace	blague	flaque	cruche
crime	lys	ring	cil	cygne	lire	lance
phrase	pâques	barbe	trace	pâte	liane	saule
chouette	vert	graisse	bière	miel	chêne	toast
perte	nièce	siècle	piège	plaire	naître	prune
boxe	toque	sol	vote	nonne	sotte	fougue
stade	moine	star	vanne	boîte	cache	tome
rampe	tempe	cendre	chance	hanche	planque	style
lâche	crasse	quart	maths	cadre	lave	lime
règne	graine	verre	zèle	liesse	flemme	fourche
bloc	corde	drogue	coque	coffre	grotte	tranche
souple	coude	loupe	souche	double	couple	rhume
viande	langue	vente	sangle	membre	planche	souffre
temple	bande	jambe	menthe	trempe	pente	rime
perle	gêne	celte	pollen	maire	laisse	gym

Note : Selon la condition, les mots cibles et les distracteurs reliés sont intervertis.

Non-similairité phonologique

Cibles	----- Mots associés -----				D. Reliés	D. Non-reliés
zone	maths	celte	drogue	blague	sauce	juge
vache	gel	taupe	choc	vide	page	hutte
bar	selle	tube	loge	trente	charge	bulle
race	scène	douche	rock	greffe	malle	frime
fer	gare	paume	gosse	miche	veine	luth
gêne	rame	ruse	pote	boule	paire	luxe
rive	dalle	messe	cure	port	tic	côte
mode	farce	miette	faute	pic	roche	mule
note	tape	vert	loupe	membre	pomme	muscle
poule	lard	hier	cendre	bise	pouce	clause
danse	châle	mèche	coude	cygne	manche	pub
brave	bête	touffe	mine	bosse	plaque	truc
lame	fief	banque	sol	miel	cap	pull
chute	vanne	verre	sangle	vote	nuque	crampe
brèche	tache	court	tort	nappe	grêle	cancre
laine	panne	riche	douze	bonne	pelle	cube
pipe	canne	graisse	coupe	maire	digue	pose
vol	cadre	nièce	souche	chaise	code	frange
bol	glace	graine	chance	bouc	fosse	cuve
soupe	star	peste	coque	guêpe	foule	fauve
pile	case	chèque	mousse	basse	vis	pulpe
drame	baisse	gang	rire	double	grappe	bûche
serre	gaz	tempe	coq	sage	plaine	mûre
chic	cave	fesse	vente	barbe	tir	puce
sel	bâche	fente	pire	dose	sept	boucle
pape	bière	langue	cil	lune	flaque	cruche
crime	gaffe	set	corde	hanche	lire	lance
phrase	piège	bande	cire	liesse	liane	saule
chouette	char	menthe	fiche	boîte	chêne	toast
perte	pâques	somme	guide	trempe	naître	prune
boxe	quart	gène	jambe	thèse	sotte	fougue
stade	zèle	colle	gîte	maître	cache	tome
rampe	dame	thème	botte	bac	planque	style
lâche	pollen	folle	mille	plaire	lave	lime
règne	moine	poche	biche	patte	flemme	fourche
bloc	batte	grec	ring	chasse	grotte	tranche
souple	trace	siècle	bip	nonne	couple	rhume
viande	rage	nerf	gomme	sève	planche	souffre
temple	date	zèbre	chiffre	coffre	pente	rime
perle	crasse	toque	lys	pâte	laisse	gym

Note : Selon la condition, les mots cibles et les distracteurs reliés sont intervertis.

Note 2 : Chaque matériel est normé en français et disponible pour utilisation sur les liens *OSF* indiqués en introduction de chaque chapitre, ou partagé sur demande.

Annexe I

Documents administratifs

- i. Curriculum Vitae.
- ii. Articles publiés ou en préparation.
- iii. Communications scientifiques et financements associés.
- iv. Récapitulatif de participation aux formations.
- v. Déclaration sur l'honneur.

FIONA LAURA ROSSELET-JORDAN

PHD STUDENT & RESEARCH ASSISTANT



CONTACT ME



Rainweg 10
4415 Lausen
Phone : +41 79 724 69 36
fionalaura.rosselet-jordan@unifr.ch

ABOUT ME



Swiss-Italian
20.08.1992 - 29yo
Driving licence



ACADEMIC FORMATION

- 2020** **Certificate of Advanced Studies (CAS)** in Higher Education and Education Technologies – Fribourg University Didactic Center, CH.
- 2017 – Current** **PhD student in cognitive psychology** – University of Fribourg, CH, & University of Aix-Marseille, FR
- Fribourg Cognitive Psychology and Development department (full time)
- CHF 10'000 thesis funding by Swissuniversities
- Thesis: “An attentional mediation between working memory and long-term memory? The impact of the attentional refreshing availability on the long-term knowledge effects in working memory tasks” – Submitted in March 2022
- Director: Prof. Dr. Valérie Camos (University of Fribourg, CH)
- Co-director: Dr. Marlène Abadie (University of Aix-Marseille, FR)
- 2015 – 2017** **Master of Science in Psychology MCs** – University of Fribourg, CH
- Specializations: Developmental and School Psychology & Cognitive Neurosciences
- Master Thesis: “Does attentional refreshing allow a long-term memory implication in a working memory span task?”
- Advisors: Dr. Marlène Abadie, & Prof. Dr. Valérie Camos
- Mention: Insigni Cum Laude
- 2012 – 2015** **Bachelor of Science in Psychology BCs** – University of Fribourg, CH
- Bachelor Thesis: “The usage of attentional refreshing and articulatory rehearsal by children from 6 to 8 years old through the phonological similarity effect and the rhyme effect.”
- Mention: Magna Cum Laude
- 2010 – 2012** **3 semesters of Bachelor in Logopedics, Psychology and Education** – University of Neuchâtel, CH



MAJOR COMMUNICATIONS

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2022). Role of Attention in the Associative Relatedness Effect in Verbal Working Memory: Behavioral and chronometric perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Camos V. (2020). Does attentional modulate the associative relatedness effect in children and adult's working memory? Oral presentation at the 10th European Working Memory Symposium, UK.

National finalist at the “Ma thèse en 180 secondes” competition (2019), Switzerland

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Camos V. (2019). Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall. Oral presentation at the 21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Tenerife, Spain.



TEACHING ACTIVITIES

- 2020 – Current** Teaching “Development and teaching of the critical mind” for MCs students, Fribourg (1x)
- 2019 – Current** Teaching “Tests in school and developmental psychology” for MCs students, Fribourg (2x)
- 2018 – 2020** Teaching “Psychology of development” for 1st year BCs students, Fribourg (3x)
- 2016 – Current** BCs (19) and MCs (3) thesis co-supervision for students in psychology studies



PROFESSIONAL EXPERIENCE

- 2016** **Internship as neuropsychologist** (2 months, full time) – Hôpital Cantonal Fribourgeois HFR, CH
Activities: Clinical observation and patient care, application and scoring of neuropsychological tests, attendance and presentations at seminars, project development (protocol assessment of driving).
- 2014-2015** **Internship as psychologist** (8 months, part time – 25%) – ANAAP, Fleurier & Neuchâtel, CH – Association Neuchâteloise d'Accueil et d'Action Psychiatrique ANAAP
- Activities: Psychological and social council on request, supervision of activities and venues.
- 2010-2015** **Office assistant** – Concordia Assurance Maladie, Cernier, CH
Activities: Processing, mailing, logistic support, marketing competences (part time up to 60%)
- 2012** **Internship as teacher assistant** (4 months, full time) – Primary school of Fontainemelon, Neuchâtel, CH
Activities: Supervision and students tutoring.



SKILLS

- Psychology** Psychometric tests (WAIS, WISC, WPPSI, CMS, K-ABC, NEPSY, Rey's tests, etc.)
- Neuropsychology** Evaluation & psychometric tests (MOCA, MMS, BREF, RLRI-16, BNS, etc.)
- Software** Microsoft Office
Statistical Software SPSS & Statistical Software JASP
Experiment presenter software E-Prime
EEG Programming and testing
Communication software (Skype, Zoom, Microsoft Teams, Discord, social networks, etc.)
Diverse (EndNote X9, YouTube administrator, iMovie, etc.)
- Language** First language French
Written & Spoken (C1) English
Written & Spoken (A2) Italian



ADDITIONAL ACTIVITIES

- 2017 – Current** **Continuing education** on academic and professional subjects, by the Conférence Universitaire de Suisse Occidentale (CUSO) and the French PhD schools (Aix-Marseille & Lyon)
- 2010-2017** **President and in charge of communication and administration** – *Oniris*, Game association, CH
Activities: Events planning, managing and leading team, conception and development, networking.



REFERENCES

University of Fribourg – Cognitive development psychology department

Prof. Dr. Valérie Camos, Head of Cognitive Psychology and Development Chair – W-MOVE Lab – University of Fribourg
Rue P.-A. de-Faucigny 2, 1700 Fribourg, CH – valerie.camos@unifr.ch – phone : +41 26 300 76 75

Association Neuchâteloise d'Accueil et d'Action Psychiatrique (ANAAP)

Mrs Maude Rondez, Psychologist FSP and intervener in regional psychiatry. – Phone: +41 32 913.12.69



PERSONAL ACTIVITIES

Live-action role-playing games (LARP) – Scuba diving (PADI patent) – Sewing and crafting

ii. Articles publiés ou en préparation

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2022). Role of Attention in the Associative Relatedness Effect in Verbal Working Memory: Behavioral and chronometric perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Barrouillet, P., Gomes, C. F. A., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (in prep). Recollective and non-recollective processes in working memory retrieval (provisional title).

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., & Camos, V. (in prep). What is left in your mind? Semantical and phonological interference effects on short-term false memories (provisional title).

iii. Communications scientifiques et financements associés

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2017, October). *Does attentional refreshing allow a long-term memory implication in a working memory span task?* Oral session at the 4th Fribourg Day of Cognition, Fribourg, Switzerland.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2018, May). *Does attentional refreshing allow a long-term memory implication in a working memory span task?* Poster session at the 3rd Psychonomics International, Amsterdam, Netherlands.

- Participation du Fond d'Action Facultaire FAF de l'Université de Fribourg de CHF 1'244.25.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2018, June). *Does attentional refreshing allow a long-term memory implication in a working memory span task?* Poster session at the 3rd Jean Piaget Conference, Genève, Switzerland.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2018, August). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Poster session at the 9th European Working Memory Symposium (EWOMS), Pavia, Italy.

- Participation de l'Académie Suisse des Sciences humaines (ASSH) à hauteur de CHF 500.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2018, October). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Oral session at the 5th Fribourg Day of Cognition, Fribourg, Switzerland.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2019, March). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Oral session at the 4th Swiss Working Memory Meeting, Fribourg, Switzerland.

Rosselet-Jordan, F. L. (2019, March). *Comment les mécanismes attentionnels impliqués dans la maintenance en mémoire de travail modulent-ils les représentations en mémoire à long-terme ?* Concours régional « Ma Thèse en 180 secondes, Fribourg, Suisse.

Rosselet-Jordan, F. L. (2019, June). *Comment les mécanismes attentionnels impliqués dans la maintenance en mémoire de travail modulent-ils les représentations en mémoire à long-terme ?* Finale nationale « Ma Thèse en 180 secondes », La Chaux-de-Fonds, Suisse.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2019, September). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Oral session at the 21th European Society of Cognitive Psychology, Tenerife, Spain.

- Participation du Fond d'Action Facultaire FAF de l'Université de Fribourg de CHF 1'101.80.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2019, September). *The Role of Attention on the Associative Relatedness Effect in Verbal Working Memory.* Poster session at the 16th Swiss Society of Psychology (SPS), Bern, Switzerland.

- Participation du Fond continu du CSWM de l'Université de Fribourg à hauteur de CHF 164.20.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2019, October). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Oral session at the 6th Fribourg Day of Cognition, Fribourg, Switzerland.

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., Mariz-Elsig, S., & Camos, V. (2020, August). *Effects of attentional refreshing and associative relatedness on recollective and non-recollective recall.* Online oral session at the 10th European Working Memory Symposium (EWOMS), Cardiff, United-Kingdom.

- Participation (inutilisée) du Fond d'Action Facultaire (FAF) à hauteur de CHF 1'610.00

Rosselet-Jordan, F. L., Abadie, M., & Camos, V. (2022, March). *What remains you in mind? Semantic and phonological interference effects on false memories at short-term.* Oral session at the 5th Swiss Working Memory Meeting, Fribourg, Switzerland.

Cotutelle de thèse : Subside de cotutelle de Swissuniversities à hauteur de CHF 10'000.

Récapitulatif de participation aux formations

Accompagnement de la thèse

Conception et réalisation de posters scientifiques, Conférence universitaire de Suisse Occidentale CUSO – Neuchâtel - 4 heures enregistrées

Getting the Writting Done, Conférence universitaire de Suisse Occidentale CUSO – Fribourg - 4 heures enregistrées

Giving and Receiving Text Feedback, Conférence universitaire de Suisse Occidentale CUSO – Fribourg - 4 heures enregistrées

Compétences propres au métier de chercheur - Formations professionnalisantes

Ethique de la recherche (22 septembre 2020 - 20 octobre 2020) Université de Lyon, Plateforme FUN (MOOC) - 10 heures enregistrées

MOOC : Ethique de la recherche 20-09 / Research Ethics 20-09 (01 septembre 2020) En ligne / On line - 10 heures enregistrées

Compétences relationnelles, organisationnelles, managériales - Formations professionnalisantes

Certificat Did@cTIC en Enseignement supérieur et Technologie de l'éducation (CAS) (01 janvier 2019 - 18 novembre 2020) Centre de Didactique Universitaire de l'Université de Fribourg - 30 heures enregistrées

Enseignement : Pratiques pédagogiques pour l'université

Débuter dans l'enseignement Did@cTIC - Centre de Didactique Universitaire, Université de Fribourg, Suisse - 4 heures enregistrées

Outils de la thèse – Formations scientifiques (Total : 4h00)

Research in Psychology: From replication crisis to open science (28 - 29 novembre 2018) - 4 heures enregistrées

Compétences propres au métier de chercheur

Intégrité Scientifique : module en ligne (20 avril 2018 - 8 avril 2018) En ligne - 15 heures enregistrées

Séminaires disciplinaires et transdisciplinaires - Formations scientifiques

16th Swiss Psychological Society SPS SGP SSP Conference (09 septembre 2019 - 11 septembre 2019) Swiss Psychological Society, University of Bern, Bern, Switzerland
11 heures enregistrées

2018 Psychonomics International (10 mai 2018) Psychonomics Society, Amsterdam, The Netherlands - 8.5 heures enregistrées

21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology ESCOP-19 (25 septembre 2019) European Society for Cognitive Psychology, Cognitive Neuroscience and Psycholinguistics Research Group, University of La Laguna, Tenerife, Canary Island, Spain - 10.5 heures enregistrées

Finale Suisse de 'Ma thèse en 180 secondes' (06 juin 2019) Conférence Universitaire de Suisse Occidentale, Fribourg & Neuchâtel - 5 heures enregistrées

Fribourg Day of Cognition (02 octobre 2019) Perceptual Network Group, Université de Fribourg, Fribourg, Suisse - 4.5 heures enregistrées

Fribourg Day of Cognition (03 octobre 2018) Perceptual Network Group, Université de Fribourg, Fribourg, Suisse - 7 heures enregistrées

Fribourg Day of Cognition (04 octobre 2017) Perceptual Network Group, Université de Fribourg, Fribourg, Suisse - 4.5 heures enregistrées

MT180 masterclass : Coaching individuel (24 mai 2019) Conférence Universitaire de Suisse Occidentale - 2 heures enregistrées

Ninth European Working Memory Symposium EWOMS-9 (29 août 2018) European Society for Cognitive Psychology, Università di Pavia, Italia - 8.5 heures enregistrées

4th Swiss WM Meeting (07 février 2020) Université de Fribourg, Fribourg, Suisse - 4.5 heures enregistrées

Third Jean Piaget Conference : The origin of numbers (27 juin 2018) Université de Genève, Genève, Suisse - 8.5 heures enregistrées

Total participation : 159.5 heures / 20 modules

Je déclare sur mon honneur que ma thèse est une œuvre personnelle, composée sans concours extérieur non autorisé, et qu'elle n'a pas été présentée devant une autre Faculté.

Fribourg, le 15 mars 2022