



**HAL**  
open science

# Etudes des mécanismes de maintien en mémoire de travail chez les personnes jeunes et âgées : approches computationnelle et comportementale basées sur les modèles TBRS\* et SOB-CS

Violette Hoareau

## ► To cite this version:

Violette Hoareau. Etudes des mécanismes de maintien en mémoire de travail chez les personnes jeunes et âgées : approches computationnelle et comportementale basées sur les modèles TBRS\* et SOB-CS. Psychologie. Université Grenoble Alpes, 2017. Français. NNT : 2017GREAS050 . tel-01746120

**HAL Id: tel-01746120**

**<https://theses.hal.science/tel-01746120v1>**

Submitted on 29 Mar 2018

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

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

## THÈSE

Pour obtenir le grade de

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

Spécialité : **CIA – Ingénierie de la Cognition, de l'Interaction, de  
l'Apprentissage et de la Création**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Violette HOAREAU**

Thèse dirigée par **Benoît LEMAIRE, MCF, LPNC**, et  
codirigée par **Gaën PLANCHER, MCF, EMC** et  
**Sophie PORTRAT, MCF, LPNC**

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et Neuro  
Cognition**  
dans l'**École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et  
l'Environnement (EDISCE)**

### **Études des mécanismes de maintien en mémoire de travail chez les personnes jeunes et âgées : approches computationnelle et comportementale basées sur les modèles TBRS\* et SOB-CS**

Thèse soutenue publiquement le **19 décembre 2017**,  
devant le jury composé de :

**Monsieur, Fabien, MATHY**

Professeur, Université Nice Sophia Antipolis, Rapporteur

**Monsieur, Arnaud, SZMALEC**

Professeur, Université catholique de Louvain, Rapporteur

**Monsieur, Alessandro, GUIDA**

Maître de Conférences, Université Rennes 2, Examineur

**Monsieur, François, MAQUESTIAUX**

Professeur, Université de Franche-Comté, Examineur

**Monsieur, George, MICHAEL**

Professeur, Université Lumière Lyon 2, Président

**Monsieur, Benoît, LEMAIRE**

Maître de Conférences, Université Grenoble Alpes, Directeur de thèse

**Madame, Gaën, PLANCHER**

Maître de Conférences, Université Lumière Lyon 2, coDirecteur de thèse

**Madame, Sophie, PORTRAT**

Maître de Conférences, Université Grenoble Alpes, coDirecteur de thèse





## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mes travaux de thèse. Je remercie également la Région Rhône Alpes pour avoir financé ce projet de thèse. Et enfin, merci aux membres du Laboratoire de Psychologie et de NeuroCognition pour l'accueil et l'environnement de travail optimal que vous m'avez offert.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon directeur de thèse Benoît Lemaire et mes codirectrices Sophie Portrat et Gaën Plancher, pour m'avoir permis de faire cette thèse. Merci à vous pour vos encouragements, votre aide précieuse et votre dynamisme tout au long de ces trois années. Et plus particulièrement, merci Benoît et Sophie pour m'avoir supporté quotidiennement et pour m'avoir remonté le moral à de multiples reprises. Vous avez toujours été présents et c'était une très grande chance d'être aussi bien encadrée et aussi bien formée.

Merci également à Gabriel, mon binôme de thèse avec qui nous avons beaucoup échangé et travaillé. Je te souhaite du courage pour la dernière ligne droite.

Je remercie aussi tous les membres du LPNC pour l'ambiance exceptionnelle que j'espère retrouver dans mon futur professionnel. Cette thèse a été agrémentée de bonne rigolade (mais aussi de discussions sérieuses et constructives concernant par exemple les statistiques bayésiennes et fréquentistes, merci Ladislav pour ça d'ailleurs !) au 222 bis, en E121, à la cafèt' . . . ! C'était génial d'être entourée de gens aussi passionnant.

Enfin, merci à mes ami(e)s. Merci Chloé, Morgane, Cindy, Fanny et tous les autres que je nommerai pas car ce serait trop long pour ces trois années passées ensemble! Merci à ma famille (les Girls et Papa) pour votre soutien et vos encouragements. Et, pour finir, merci Poussin. Vous m'avez tous énormément aidée dans les moments difficiles de la thèse et je vous en suis très reconnaissant.



# Table des matières

Nomenclature	5
Glossaire	7
<b>I État de l’art</b>	<b>11</b>
<b>1 Oubli et maintien en mémoire de travail</b>	<b>13</b>
1.1 Les différents systèmes de mémoire . . . . .	15
1.1.1 Mémoire immédiate et mémoire à long terme . . . . .	15
1.1.2 La mémoire de travail . . . . .	19
1.1.3 Conception à composantes multiples ou conception unitaire de la MDT	23
1.1.4 Les tâches d’empan simples et d’empan complexes . . . . .	28
1.2 L’oubli en MDT . . . . .	31
1.2.1 Le déclin temporel . . . . .	32
1.2.2 Les interférences . . . . .	38
1.3 Maintien des informations verbales en MDT . . . . .	45
1.3.1 L’auto-répétition subvocale : <i>rehearsal</i> ou <i>articulatory rehearsal</i> . . . . .	47
1.3.2 Le rafraîchissement attentionnel : <i>refreshing</i> ou <i>attentional refreshing</i> .	49
1.3.3 La récupération silencieuse : <i>covert retrieval</i> . . . . .	60
1.3.4 La consolidation à court terme : <i>short-term consolidation</i> . . . . .	62
1.3.5 La suppression : <i>removal</i> . . . . .	64
1.4 Conclusion . . . . .	68
<b>2 Le modèle verbal TBRS et les modèles computationnels TBRS* et SOB-CS</b>	<b>69</b>
2.1 Le modèle TBRS . . . . .	72
2.1.1 Historique . . . . .	72
2.1.2 Les hypothèses de base du modèle TBRS . . . . .	74
2.1.3 La nouvelle version du modèle TBRS . . . . .	76
2.2 TBRS* : une version computationnelle du modèle TBRS . . . . .	80
2.2.1 Architecture du modèle . . . . .	80
2.2.2 Les quatre phases au sein d’une tâche d’empan complexe . . . . .	84

2.2.3	Les paramètres libres du modèle . . . . .	88
2.3	Le modèle computationnel SOB-CS . . . . .	89
2.3.1	Modélisation de la MCT : SOB et C-SOB . . . . .	89
2.3.2	Architecture du modèle . . . . .	91
2.3.3	Les quatre phases au sein d'une tâche d'empan complexe . . . . .	94
2.3.4	Les paramètres libres du modèle . . . . .	98
2.3.5	Similarités et différences entre TBRS* et SOB-CS . . . . .	99
2.4	L'intérêt des modèles TBRS* et SOB-CS . . . . .	101
<b>II</b>	<b>Travaux expérimentaux</b>	<b>105</b>
<b>3</b>	<b>Étude du mécanisme d'effacement (le <i>removal</i>) des traces non pertinentes</b>	<b>109</b>
3.1	Prédictions du modèle SOB-CS . . . . .	111
3.2	Simulation du modèle SOB-CS . . . . .	116
3.2.1	Méthode . . . . .	116
3.2.2	Résultats de simulation . . . . .	119
3.3	Expérience comportementale (expérience 1) . . . . .	125
3.3.1	Méthode . . . . .	125
3.3.2	Résultats : données comportementales . . . . .	126
3.4	Discussion intermédiaire . . . . .	129
3.5	Estimation de la force du <i>removal</i> . . . . .	129
3.6	Discussion générale et conclusion . . . . .	132
<b>4</b>	<b>Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?</b>	<b>135</b>
4.1	Prédictions des modèles concernant l'effet du nombre de distracteurs . . . . .	136
4.1.1	TBRS et TBRS* . . . . .	136
4.1.2	SOB-CS . . . . .	139
4.2	Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2) . . . . .	142
4.2.1	Simulations . . . . .	142
4.2.2	Expériences comportementales (expériences 2.1 et 2.2) . . . . .	147
4.3	Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3) . . . . .	161
4.3.1	Méthode . . . . .	164
4.3.2	Résultats . . . . .	166
4.3.3	Discussion . . . . .	174
4.4	Au-delà des réponses moyennes correctes . . . . .	180
4.4.1	Analyse par position sérielle chez les humains . . . . .	181
4.4.2	Analyse par position sérielle chez les modèles . . . . .	185
4.4.3	Conclusion . . . . .	191
4.5	Conclusion générale . . . . .	192

## TABLE DES MATIÈRES

<b>5 Étude de la MDT dans le vieillissement</b>	<b>195</b>
5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)	197
5.1.1 Méthode . . . . .	201
5.1.2 Résultats . . . . .	201
5.1.3 Discussion . . . . .	208
5.2 Simulation des modèles TBRS* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2) . . . . .	212
5.2.1 Méthode générale . . . . .	214
5.2.2 Effet de chaque paramètre sur le RMSE selon le groupe d'âge . . . . .	217
5.2.3 Discussion . . . . .	221
5.3 Conclusion . . . . .	225
<b>Discussion générale et perspectives</b>	<b>227</b>
<b>Références</b>	<b>243</b>
Références . . . . .	243
<b>Table des figures</b>	<b>259</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>265</b>
<b>Annexes</b>	<b>269</b>
Annexe 1 . . . . .	271
Annexe 2 . . . . .	274
Annexe 3 . . . . .	275
Annexe 4 . . . . .	276
Annexe 5 . . . . .	278
Annexe 6 . . . . .	280



## *TABLE DES MATIÈRES*

# Nomenclature

MCT Mémoire à court terme

MDT Mémoire de travail

MLT Mémoire à long terme

SOB-CS *Serial Order in a Box-Complex Span*

TBRS *Time Based Resource Sharing*

TBRS\* Version computationnelle du modèle TBRS

CC Coût Cognitif

PA Personnes âgées

PJ Personnes jeunes

FF False-False ; items non rappelés

FT False-True ; items rappelés à long terme mais pas à court terme

TF True-False ; items rappelés à court terme mais pas à long terme

TT True-True ; items rappelés à court terme et à long terme

## *TABLE DES MATIÈRES*

# Glossaire

**refreshing** : mécanisme de maintien élémentaire nécessitant des ressources attentionnelles et permettant de réactiver les informations en mémoire de travail avant que celles-ci ne soient oubliées. Ce mécanisme n'est pas spécifique à un domaine particulier (*domain-general*) contrairement au mécanisme d'auto-répétition subvocale spécifique aux informations verbales décrit par Baddeley (1974). Les recherches théoriques concernant le *refreshing* sont décrites à partir de la page 49. Ce mécanisme est implémenté dans le modèle TBRS\* et contrôlé par le paramètre interne  $T_r$ . La description technique de ce mécanisme au sein de TBRS\* est présentée à la page 87.

**removal** : mécanisme de maintien élémentaire nécessitant des ressources attentionnelles. À la différence du mécanisme de *refreshing* consistant en une focalisation attentionnelle sur le matériel à mémoriser, le *removal* consiste à porter l'attention sur les informations non pertinentes pour les supprimer de la mémoire de travail. Les recherches théoriques concernant le *removal* sont décrites à partir de la page 64. Ce mécanisme est implémenté dans le modèle SOB-CS et contrôlé par le paramètre interne  $r$ . La description technique de ce mécanisme au sein de SOB-CS est présentée à la page 98.

**déclin temporel** : processus passif d'oubli selon lequel l'activation des traces mnésiques déclinent dès lors que l'attention est détournée de ces traces. Les recherches théoriques concernant le déclin temporel sont décrites à partir de la page 32. Ce processus est implémenté dans le modèle TBRS\* et contrôlé par le paramètre interne  $D$ . La description technique de ce processus au sein de TBRS\* est présentée à la page 86.

**interférences par superposition** : type d'interférence implémenté dans SOB-CS (voir la section sur SOB-CS dans le chapitre 2, page 89). Dans ce modèle, toutes les informations (pertinentes ou non) sont encodées et superposées dans une même matrice, induisant des interférences et donc de l'oubli. Ce mécanisme est décrit spécifiquement à la page 42.

*TABLE DES MATIÈRES*

# Préambule

Quand quelqu'un m'interrogeait sur le sujet de ma thèse, je répondais invariablement qu'elle appartenait au domaine des sciences cognitives et que j'étudiais la mémoire de travail. Cette réponse suscitait souvent une même réaction du type : « Oh ! moi j'ai une mémoire catastrophique ! », et chacun de donner des exemples de ses défaillances, mélangeant sans distinction tous les types de mémoires. Qui n'a jamais dit : « Ah mince, j'ai oublié ! » ? En effet, la mémoire est accusée à tout bout de champ alors qu'en définitive elle est plutôt extraordinaire. D'ailleurs, les recherches sur la mémoire sont très nombreuses car c'est un système d'une extrême complexité. La mémoire est partout. Il y a la mémoire des événements passés comme les souvenirs, la mémoire des connaissances acquises et apprises tout au long de notre vie comme le langage, la mémoire des gestes devenus automatiques comme la conduite, mais aussi la mémoire de l'instant, c'est-à-dire celle qui permet de raisonner, de comprendre, de produire, de créer et d'agir sur l'instant. Une des caractéristiques principales de ce type de mémoire est d'être limitée en capacité, c'est ainsi que l'on peut se retrouver dans une pièce en ayant complètement oublié ce qu'on y était venu chercher. C'est peut être pour cette raison que l'on se plaint souvent d'avoir une si mauvaise mémoire. Et c'est cette dernière, centrale à la cognition humaine, et appelée *mémoire de travail*, que l'on étudiera au cours de cette thèse.

En sciences cognitives, une analogie est parfois faite entre le fonctionnement du cerveau humain et celui des systèmes informatiques. À l'origine, Alan Turing (1936) affirmait que le fonctionnement de l'esprit humain pouvait être imité par une machine. Tout comme pour un ordinateur, nos pensées peuvent être envisagées comme l'ensemble des processus permettant de manipuler et de traiter l'information provenant de l'environnement extérieur ou déjà existantes dans notre esprit. La mémoire de travail est aujourd'hui vue comme le système central à la cognition, qui permet de maintenir et de traiter ces informations. De nombreuses études ont montré

que les capacités de mémoire de travail sont fortement corrélées à l'intelligence générale et à la réussite scolaire. Ainsi, la compréhension de ce système est très importante pour améliorer les méthodes d'apprentissage à l'école. De plus, on a remarqué que ce système décline avec l'âge et rend la vie de tous les jours plus compliquée. Son étude est donc d'une grande importance pour proposer des solutions permettant d'obtenir et de garder une mémoire de travail efficace tout au long de sa vie.

Une particularité de cette thèse est d'avoir utilisé deux modèles computationnels pour étudier ce système. Comme nous l'avons dit plus haut, un courant dans les sciences cognitives postule que les pensées sont le résultat de processus mentaux opérés sur des représentations symboliques pouvant être reproduites par un ordinateur. Dès lors, l'utilisation de modèles computationnels devient tout à fait légitime puisque ces modèles informatiques tentent de reproduire les processus mentaux mis à l'oeuvre lors d'une tâche de mémoire de travail. Ces deux modèles, TBRS\* et SOB-CS, expliquent de manières très différentes ce qui se passe au cours d'une tâche de mémorisation et de traitement d'informations. Ils s'opposent l'un l'autre principalement sur les causes de l'oubli et sur les processus de maintien en mémoire de travail. L'objectif principal de cette thèse s'est donc centré sur l'étude de ces deux modèles et plus particulièrement, sur celle des mécanismes de maintien proposés par ces deux modèles : le rafraîchissement des informations pertinentes versus la suppression des informations non pertinentes.

La première partie de cette thèse introduira la mémoire de travail et son contexte (chapitre 1) puis présentera les modèles étudiés dans cette thèse (chapitre 2). La deuxième partie sera consacrée aux travaux effectués au cours de cette thèse. Tout d'abord, le mécanisme de maintien implémenté dans le modèle SOB-CS sera étudié et testé (chapitre 3). Ensuite, nous présenterons les prédictions des modèles sur l'effet des distractions et des périodes de temps libre que nous avons testées dans une tâche d'empan complexe, une tâche typique pour tester la mémoire de travail (chapitre 4). Enfin, notre étude de la mémoire de travail dans le vieillissement à la lueur des modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS sera présentée (chapitre 5). Globalement, cette thèse a combiné simulations de modèles et expérimentations comportementales dans le but d'avancer sur la compréhension des mécanismes de maintien de la mémoire de travail. Tout au long de nos travaux, nous avons donc comparé les données expérimentales aux données de simulation des modèles afin de pointer les limites de ces modèles dans le but de les faire évoluer et d'améliorer la compréhension des mécanismes cognitifs.

# **Première partie**

## **État de l'art**





# **Chapitre 1**

## **Oubli et maintien en mémoire de travail**

Le concept de mémoire de travail (que l'on notera MDT par la suite) représente notre capacité à maintenir et à traiter des informations dans l'instant présent. Une analogie commune permet d'illustrer ce que représente la MDT en la comparant à la mémoire vive d'un ordinateur<sup>1</sup>. Celle-ci permet de stocker les informations dont l'ordinateur a besoin rapidement. Contrairement au disque dur, la mémoire vive est temporaire et a besoin d'énergie : une coupure de courant entraîne la perte des données. De la même manière, le maintien des informations en MDT nécessite de l'énergie. Si on poursuit cette analogie, le disque dur correspond à la mémoire à long terme (MLT).

La MDT est utilisée au quotidien pour accomplir des tâches cognitives complexes telles que suivre une conversation, faire un calcul mental ou apprendre un nouveau morceau de piano. En effet, suivre une conversation nécessite à la fois de traiter ce qui est en train d'être dit mais aussi de maintenir ce qui vient juste d'être dit afin de comprendre le sens global d'une phrase ou d'un discours. Un autre exemple, qui illustre encore mieux le concept de MDT, est d'être interrompu lorsque l'on parle, de répondre à cette sollicitation (traitement d'une distraction), puis d'être capable de reprendre là où l'on en était (maintien de la dernière information produite et du but initial). De la même façon qu'à l'oral, la MDT est également utilisée lorsque l'on cherche à comprendre un texte écrit. Ainsi, dans la suite de ce document, des phrases courtes et cohérentes entre elles seront privilégiées afin d'éviter de surcharger votre MDT de lecteur. Dans le cas contraire, la sensation de surcharge ressentie serait due à une caractéristique principale de la MDT : une capacité de stockage limitée.

L'étude de cette limitation de la MDT, et de l'oubli des informations qui en découle, reste une question majeure des sciences cognitives. Certains chercheurs supposent que l'oubli est principalement dû à un inexorable déclin temporel des traces mnésiques (Atkinson & Shiffrin, 1968 ; Baddeley, 1986 ; Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004 ; J. Brown, 1958 ; Cowan, 1999 ; Ebbinghaus, Ruger, & Bussenius, 1913 ; Peterson & Peterson, 1959 ; Thorndike, 1913) alors que d'autres nient l'existence d'un tel déclin temporel (Farrell & Lewandowsky, 2002 ; Lewandowsky, Duncan, & Brown, 2004 ; McGeoch, 1932 ; Nairne, 2002). Ces derniers supposent que l'oubli est uniquement dû à des interférences entre les traces mnésiques et que le temps n'est pas une explication suffisante.

---

1. Le terme *working memories* était utilisé dans la littérature des sciences de l'informatique par Newell et Simon (1956) et correspondait aux mémoires qui maintenaient des informations temporairement.

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

Pour lutter contre l'oubli, il existerait un ou des mécanismes de maintien. La littérature en distingue deux grands types : ceux qui permettent de limiter le déclin temporel ou ceux qui réduisent les interférences. Dans cette thèse, nous allons étudier deux modèles computationnels qui s'opposent sur les causes de l'oubli et, par conséquent, sur les mécanismes de maintien en MDT. Le premier modèle, TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011), s'appuie sur le déclin temporel tandis que le second, SOB-CS (Oberauer, Farrell, Jarrold, Pasiecznik, & Greaves, 2012), propose que la limitation en MDT peut être dû uniquement aux interférences.

Après avoir présenté l'origine du concept de MDT ainsi que sa place au sein du système mnésique, nous ferons un état de l'art centré sur deux axes. Une première section, intitulée *Oubli*, présentera les différentes causes théoriques de l'oubli en MDT, puis une deuxième section, intitulée *Maintien*, caractérisera les mécanismes de maintien en MDT actuellement proposés dans la littérature.

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

La mémoire, de manière générale, est définie comme le processus qui nous permet d'encoder, de stocker et de récupérer des informations (Atkinson & Shiffrin, 1968). Plusieurs types de mémoire sont définies dans la littérature. La MDT se distingue à la fois de la mémoire à long terme et de la mémoire à court terme que l'on notera respectivement MLT et MCT par la suite. Nous verrons dans un premier temps la distinction entre la MLT et la MCT. Puis, nous expliquerons comment s'est créée la distinction entre la MCT et la MDT.

### 1.1.1 Mémoire immédiate et mémoire à long terme

La dichotomie entre mémoire immédiate et mémoire à long terme est apparue avec James (1890) qui distinguait la mémoire primaire de la mémoire secondaire. À cette époque, les théories étaient basées sur des expériences introspectives. James avait observé une différence entre les pensées qui sont dans la conscience au moment présent (la mémoire primaire) des pensées qui sont ramenées dans la conscience, nécessitant alors un effort (la mémoire secondaire). Par la suite, les termes de MLT et MCT ont été retenus pour distinguer ces deux types de mémoire. La

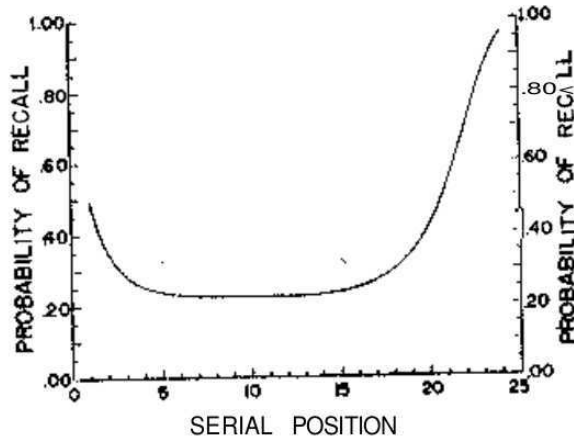


FIGURE 1.1 – Effet de primauté et effet de récence idéalisés sur une liste de 25 mots. Repris de l'étude de Murdock (1962).

MCT et la MLT se différencient principalement vis-à-vis de leur capacité de stockage. La MLT représente le stockage de toutes les connaissances et de tous les événements passés d'un être humain. On considère souvent que la MLT est à durée et capacité illimitées, bien que certains souvenirs ou certaines connaissances soient parfois oubliés. Par opposition, la MCT a une capacité de stockage extrêmement limitée (de l'ordre de  $7 \pm 2$  items d'après Miller, 1956) et une durée éphémère de l'ordre de quelques secondes.

La distinction entre MLT et MCT peut être mise en évidence à travers une tâche de rappel libre. Dans cette tâche, un nombre  $N$  de mots est présenté oralement (ou visuellement) et le participant doit rappeler, dans n'importe quel ordre, tous les mots qu'il a entendu, immédiatement après la présentation de la liste. Afin de surcharger la MCT, le nombre  $N$  de mots à mémoriser est supérieur à sa capacité définie à  $7 \pm 2$  par Miller (1956). De nombreuses études ont montré que la courbe de position sérielle typique d'une tâche de rappel libre était en forme de U (p.ex., Murdock, 1962, voir figure 1.1). Les performances de mémoire apparaissent meilleures en début et en fin de liste et ces effets sont appelés, respectivement, *l'effet de primauté* et *l'effet de récence*.

*L'effet de primauté* serait dû à un meilleur apprentissage des premiers items grâce à l'auto-répétition tout au long de la liste, facilitant alors leur passage en MLT. Les items de fin de liste, seraient plus facilement récupérables car récemment encodés et toujours dans la MCT,

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

expliquant *l'effet de récence* (Glanzer & Cunitz, 1966). Afin de tester l'hypothèse suggérant que les items sont bien récupérés depuis deux stockages de mémoire différents dans une tâche de rappel libre, Glanzer (1972) et Glanzer et Cunitz (1966) ont testé des variables connues pour agir à long terme (p.ex. la fréquence des mots ou le temps de présentation des items) et des variables connues pour agir à court terme (p.ex. le délai entre la fin de la liste à mémoriser et le rappel de cette liste). D'une part, Glanzer (1972) a montré que le temps de présentation et la fréquence des mots avaient un effet sur la composante de la première partie de la courbe (représentant les items stockés à long terme), mais pas sur la seconde partie de la courbe (représentant les items stockés à court terme). D'autre part, des études ont montré que *l'effet de récence*, uniquement, disparaissait lorsque le sujet devait compter à rebours pendant 30 secondes avant de rappeler tous les mots de la liste ( Craik, 1970 ; Glanzer & Cunitz, 1966). Le délai a donc un effet sur les items stockés en MCT mais moins sur les items stockés en MLT. En effet, les items stockés en MCT sont rapidement oubliés pendant le délai de rétention imposant un comptage à rebours car ils ont une durée de vie extrêmement limitée. Ces différents travaux sont en faveur de l'existence d'une distinction fonctionnelle entre deux systèmes de mémoire.

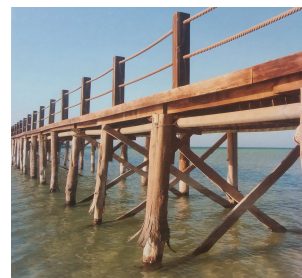
En complément, des études en neuropsychologie sont venues confirmer cette hypothèse. D'un côté, des patients amnésiques montraient des déficits en MLT tout en ayant une MCT intacte (p.ex. le patient H.M.<sup>2</sup> ; Baddeley & Warrington, 1970). D'un autre côté, un pattern inverse a été observé sur le patient K.F. (Shallice & Warrington, 1970) qui avait une atteinte du lobe pariétal. Ce dernier avait des déficits en MCT mais pas en MLT. L'existence de cette double dissociation a eu un impact extrêmement important sur le développement des théories de la mémoire et sur le premier modèle de MDT de Baddeley et Hitch (1974) qui sera décrit très prochainement.

Cependant, d'autres travaux ont montré que *l'effet de récence*, qui semblait être dû à un stockage en MCT uniquement, pouvait apparaître également sur des tâches de MLT (p.ex., Bjork & Whitten, 1974 ; Da Costa Pinto & Baddeley, 1991 ; Tzeng, 1973). Ces résultats ont indiqué que la partie *récence* dans une tâche de rappel libre ne serait pas spécifique à un stockage via un type de mémoire particulier, mais plutôt à une stratégie de récupération des items en mémoire.

---

2. victime d'une ablation de l'hippocampe et des lobes temporaux.

D'après Baddeley, Eysenck, et Anderson (2015) l'interprétation la plus plausible permettant d'expliquer *l'effet de récence* serait la distinction temporelle des items lors de la récupération (G. D. A. Brown, Neath, & Chater, 2007). La distinction temporelle peut être vue comme la vision en perspective lorsque l'on regarde les pylônes d'un pont (exemple inspiré de la couverture du livre de Baddeley et al.,



2015) : à l'horizon les pylônes sont beaucoup moins distincts les uns des autres que ceux au premier plan. De la même manière, mais dans l'espace temporel, plus les items à rappeler sont anciens, moins ils sont distincts de leurs items voisins. Dans une tâche avec un rappel immédiat, les items les plus récents ont un avantage considérable par rapport aux autres items (*effet de récence*) car plus les items encodés sont proches du moment du rappel, plus ils sont distincts les uns des autres. Selon cette conception, les effets de position sérielle peuvent être expliqués sans distinguer deux systèmes de mémoires.

Ainsi, un long débat existe dans la littérature sur la distinction et la définition même de la structure de la mémoire. Actuellement, un consensus est plutôt pour une continuité entre MCT et MLT (Nee, Berman, Moore, & Jonides, 2008; Ranganath & Blumenfeld, 2005). En effet, de nombreux modèles unitaires font l'hypothèse que la MDT représente les informations de la MLT activées au dessus d'un certain seuil (Anderson, Reder, & Lebiere, 1996; Cantor & Engle, 1993; Cowan, 1999; Engle, Kane, & Tuholski, 1999; Lovett, Daily, & Reder, 2000; McCabe, 2008; Oberauer, 2002). Ces modèles supposent que les items présents dans le focus attentionnel reçoivent de l'activation. Mais, comme le focus attentionnel ou les ressources attentionnelles disponibles sont limités, un nombre réduit d'items peut être activés à un instant T.

Toutefois, les modèles unitaires (Cowan, 1999) et les modèles à mémoires multiples (Baddeley, 1986) ne sont pas forcément incompatibles. Il semblerait que les questions qui se posent soient différentes. Dans les modèles à composantes multiples les questions concernant le où? et le quoi? sont mises en avant alors que dans les modèles unitaires le comment? est souvent la question principale. La question que nous nous posons dans cette thèse relève de la seconde approche, plus fonctionnelle. Nous chercherons à avancer dans la compréhension du comment? : comment les informations en MDT sont elles oubliées et, en contrepartie, maintenues?

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

### 1.1.2 La mémoire de travail

Le terme *working memory* est utilisé pour la première fois dans le livre de Miller, Galanter, et Pribram (1960). Ce terme faisait référence à la mémoire utilisée pour planifier et atteindre un objectif. Puis ce terme a été repris dans le modèle de Atkinson et Shiffrin (1968). D'après Atkinson et Shiffrin (1971, p. 83) : *Because consciousness is equated with STS, and because control processes are centered in and act through STS, this store is considered to be a "working memory" : a store in which decisions are made, problems are solved, and information flow is directed.* Les auteurs supposaient donc que le STS (le stockage à court terme - *short-term store*) était une MDT temporaire dans laquelle agissent les processus de contrôle et sont maintenues les informations souhaitées. Le modèle de Atkinson et Shiffrin (1971) (voir figure 1.2) a été un modèle de la mémoire très influent. Ce modèle à mémoires multiples considère que la différence principale entre les types de mémoires était le temps de rétention de l'information. Ce modèle est composé de trois mémoires différentes : la mémoire sensorielle, le stockage à court terme (STS) et le stockage à long terme (LTS). La durée de rétention est inférieure à une seconde dans le registre sensoriel, de l'ordre de quelques secondes dans le STS et de l'ordre de la minute, l'heure, la journée, les années voire toute la vie pour le LTS. De plus, le modèle de Atkinson et Shiffrin (1971) supposait que ce qui entre en MLT est d'abord stocké en MCT. D'après cette hypothèse, un déficit en MCT devait mener à un déficit en MLT.

La théorisation et le concept même de MDT a été lancé par les fameux travaux de Baddeley et Hitch (1974). La problématique des chercheurs de cette époque s'est basée sur l'incohérence entre le modèle de Atkinson et Shiffrin (1971) et les observations du patient K.F. (Shallice & Warrington, 1970) : comment ce patient K.F. parvenait-il à apprendre des listes de mots alors que sa MCT était déficitaire ? De plus, bien que la MCT soit présentée comme un espace central au traitement de l'information par le modèle de Atkinson et Shiffrin (1971), les preuves empiriques d'une telle affirmation ne semblaient pas réellement exister.

Baddeley et Hitch (1974) se sont donc interrogés sur les liens entre la MCT et les tâches d'apprentissage, de raisonnement et de compréhension. Les patients ayant uniquement des troubles de MCT étant rares, l'idée a été de simuler cette condition en surchargeant la MCT avant de réaliser une tâche complexe. Pour surcharger la MCT, les participants devaient mémoriser une liste comportant jusqu'à 6 chiffres, tout en effectuant une tâche de raisonnement verbal, de compréhension orale ou d'apprentissage de listes de mots. Si, comme Atkinson et Shiffrin (1971)



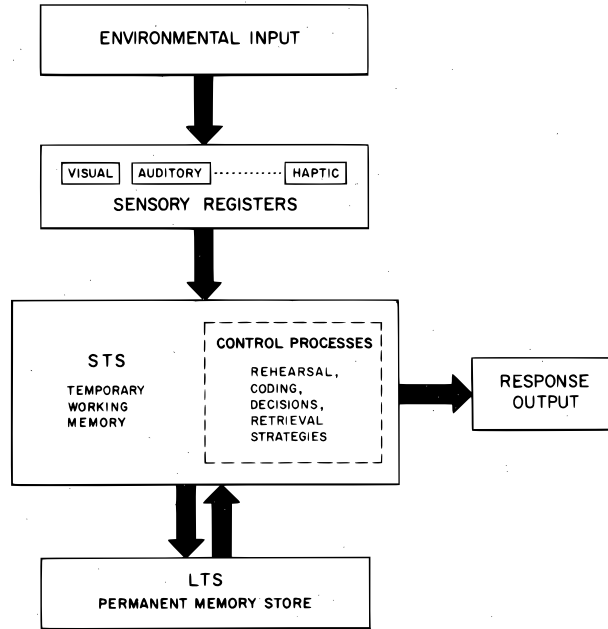


FIGURE 1.2 – *Le modal model* de Atkinson et Shiffrin (1971).

le suggèrent, la MCT est un système de stockage dédié au traitement et si cet espace est limité, alors la surcharge de la MCT devrait affecter la réalisation d'un traitement concurrent. Cependant, à travers dix expériences, Baddeley et Hitch (1974) ont montré que le taux de bonnes réponses aux tâches concurrentes n'était pas affecté par une surcharge en MCT, bien que cette surcharge fût proche de la capacité maximum de stockage à court terme (Miller, 1956). Cependant, le temps de réponse aux différentes tâches était ralenti à mesure que la surcharge de la MCT augmentait. Ces résultats suggèrent que la surcharge de la MCT ralentit le traitement d'autres informations sans pour autant abaisser les performances du traitement. Ce ralentissement des temps de réponse indique qu'un espace commun existe entre le traitement et le maintien d'information. Cependant, la qualité des réponses au traitement n'étant pas affectée par la surcharge de la MCT, l'espace de stockage des informations semble être distinct de l'espace permettant le traitement d'informations.

Les auteurs ont alors proposé un système de MDT, remplaçant la MCT du *modal model* d'Atkinson et Shiffrin, ayant une capacité limitée pouvant être allouée soit au maintien soit au traitement d'informations. D'après Baddeley et Hitch (1974), la MCT est une composante passive du système de MDT et permet le maintien passif des informations à court terme. Nous

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

proposerons une description du modèle de Baddeley et Hitch (1974, 2000) dans la section suivante. Mais avant cela, comment pouvons-nous, aujourd'hui, définir la MDT ?

Suite à la publication d'un article intitulé *The many faces of Working Memory and Short term storage* (Cowan, 2017), Stephan Lewandowsky, en novembre 2016, a lancé un événement numérique nommé #WhatWM en posant la question suivante : *How are we to respond to this ambiguity and multitude of measures and definitions ? If we do not agree on what WM is how can we examine it in 54,000 publications ? How can we even talk about WM ?*<sup>3</sup>. Schweppe, Oberauer, Morey et Cowan ont répondu à ce message.

De nombreuses recherches se sont déployées autour du système de MDT et les définitions même de ce système se sont donc multipliées et diversifiées. Cowan (2017) présente neuf définitions de la MDT dans la littérature (voir figure 1.3). D'après le message laissé par Judith Schweppe, cette multitude de définitions indique la difficulté et la confusion possible lorsque l'on doit définir la MDT. Elle souligne une des problématiques exposées par Cowan (2017) qui dit qu'une théorie sur un concept ne devrait pas servir de définition de ce concept. De plus, elle critique le fait qu'en psychologie en général, un risque est de se focaliser sur un paradigme (par exemple la tâche d'empan complexe) et de trouver une théorie permettant d'expliquer le comportement des participants dans ce paradigme en particulier, sans pouvoir réellement expliquer le rôle de la MDT dans des tâches plus écologiques telles que la compréhension d'un discours.

De même, Candice Morey considère que la MDT devrait être définie en tant que telle sans que ce concept soit synonyme de modèle. Candice Morey suggère que le système MDT devrait être défini en référence aux phénomènes<sup>4</sup> que ce système engendre et non pas en référence à la manière dont ces phénomènes peuvent être expliqués.

Au contraire, selon Klaus Oberauer, *As long as we have competing theories of working memory, we will have different definitions of that concept. As our theories evolve – hopefully becoming more precise and more accurate – our definitions of "working memory" will change.* D'après lui, la définition de la MDT semble donc dépendre de la théorie qui permet de la définir et ce n'est donc pas un problème. Klaus Oberauer donne cependant une définition de la MDT

---

3. Voici le lien de cette discussion : <https://featuredcontent.psychonomic.org/whatwm-a-digital-event-celebrating-the-9-lives-of-working-memory/>

4. Voici des exemples de phénomènes observés cités par Candice Morrey : *It is very clear that people can only remember a small amount of new, arbitrary information at once. It is very clear that we remember even less when we are required to try to remember new information while doing some other task. It is very clear that this loss is greater when the information maintained shares characteristics with the information processed.*

---

**1. Computer WM (e.g., Newell & Simon, 1956; Laird, 2012)**

A holding place for information to be used temporarily, with the possibility of many working memories being held concurrently.

**2. Life-Planning WM (e.g., Miller et al., 1960)**

A part of the mind that saves information about goals and sub-goals needed to carry out ecologically useful actions.

**3. Multicomponent WM (e.g., Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1986, 2000)**

A multicomponent system that holds information temporarily and mediates its use in ongoing mental activities.

**4. Recent-Event WM (e.g., Olton et al., 1977)**

This definition refers to a part of the mind that can be used to keep track of recent actions and their consequences in order to allow sequences of behaviors to remain effective over time.

**5. Storage-and-Processing WM (e.g., Daneman & Carpenter, 1980)**

This definition refers to a combination of temporary storage and the processing that acts upon it, with a limited capacity for the sum of storage and processing activities. When the storage component alone is measured, or the processing component alone is measured, the term WM is not applied, in contrast to the usage within multicomponent WM. Further distinguishing this definition from multicomponent WM, there is not always a clear commitment to multiple storage components, only a separation between storage and processing.

**6. Generic WM (e.g., Cowan, 1988)**

This definition refers to the ensemble of components of the mind that hold a limited amount of information temporarily in a heightened state of availability for use in ongoing information processing.

**7. Long-term WM (e.g., Ericsson & Kintsch, 1995)**

The use of cue and data-structure formation in long-term memory that allows the information related to an activity to be retrieved relatively easily after a delay.

**8. Attention-Control WM (e.g., Engle et al., 2002)**

This definition refers to the use of attention to preserve information about goals and sub-goals for ongoing processing and to inhibit distractions from those goals; it operates in conjunction with short-term storage mechanisms that hold task-relevant information in a manner that does not require attention.

**9. Inclusive WM (e.g., Unsworth & Engle, 2007)**

The mental mechanisms that are needed to carry out a complex span task; it can include both temporary storage and long-term memory, insofar as both of them require attention for the mediation of performance.

FIGURE 1.3 – Les neuf définitions de la MDT données par Cowan (2017).

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

qui pourrait s'accorder pour tous les modèles : *"Working memory" refers to the mechanisms and processes that hold the mental representations currently most needed for an ongoing cognitive task available for processing.* Il souligne que cette définition est très proche de celle de Cowan (2017) tout en évitant de faire des hypothèses se basant sur un modèle : *My working definition is very similar to Cowan's "generic WM", but drops the theoretical assumptions that working memory has a capacity limit (because I think of the capacity limit as an empirical fact, rather than as a feature characterizing the extension of the concept of working memory) and the assumption that it is short-lived (because for all we know, information in working memory lasts as long as it is needed for the person's goals—usually not long, but that says more about the pace of our thinking than about working memory).*

Cependant, dans le message final de Cowan, ce dernier ne semble pas être en accord avec la définition de Oberauer car celle-ci implique que les informations en MDT concernent uniquement les informations utiles à la tâche à accomplir. Cowan s'interroge donc sur les informations non pertinentes à une tâche en cours qui sont pourtant disponibles. D'après lui, la MDT ne contient pas forcément des informations dépendantes d'un but particulier. Il préfère donc sa propre définition qui est la suivante : la MDT représente l'ensemble des composantes permettant de maintenir temporairement une information dans un état accessible nécessaire au traitement continu du flux d'informations (voir définition *generic WM* dans le tableau 1.3). Il suggère cependant que chacun puisse avoir sa définition. Mais alors, quelle définition devons-nous choisir ? L'exposé de cette entrevue en ligne entre différents experts de la MDT donne un aperçu de la complexité à définir ce système. La définition que nous retiendrons par la suite est celle de Cowan. Nous choisissons cette définition car nous nous intéressons à la manière dont les informations sont maintenues en MDT et donc nous étudions les processus mis en oeuvre dans une tâche de MDT.

### 1.1.3 Conception à composantes multiples ou conception unitaire de la MDT

Comme l'a fait remarquer Candice Morrey en réponse à l'événement numérique #WhatWM?, un modèle et une définition ne devraient pas être confondus. Cependant, le modèle de Baddeley est souvent utilisé pour définir la MDT car ce modèle est simple et permet d'avoir une idée

assez complète de ce que peut représenter la MDT. Dans cette sous-section, nous présenterons donc rapidement le modèle de Baddeley à composantes multiples. Puis, nous décrirons un des modèles référents concernant la vision unitaire de la MDT : le modèle de Cowan (1999).

### **Le modèle à composantes multiples de Baddeley et Hitch**

Le modèle de Baddeley (Baddeley & Hitch, 1974 ; Baddeley, 1986, 2000) est une référence en MDT. Il est souvent utilisé pour définir la MDT et pour présenter l'architecture de la MDT et ses différentes composantes.

Comme indiqué précédemment, le premier modèle de Baddeley et Hitch, en 1974, a été développé suite au modèle de MCT de Atkinson et Shiffrin (1971). À la différence de ce dernier, le modèle de Baddeley et Hitch n'est plus en faveur d'un stockage unitaire de la MCT, mais présente un modèle à composantes multiples. Ce modèle est composé d'un système de contrôle attentionnel, *le central exécutif*, assisté par deux systèmes esclaves : *la boucle phonologique* et *le calepin visuo-spatial*. *La boucle phonologique* est dédiée au maintien des informations verbales et acoustiques alors que *le calepin visuo-spatial* est dédié au maintien des informations visuo-spatiales.

La boucle phonologique peut être vue comme un système de MCT verbale. Cette composante, spécifique aux informations phonologiques, est constituée d'une partie passive de stockage limité et d'un mécanisme actif de maintien, l'auto-répétition subvocale. Un item entrant dans cette zone de stockage va immédiatement, après quelques secondes, tomber dans l'oubli, sauf si le sujet a la volonté de maintenir cet item en se le répétant intérieurement. Le mécanisme d'auto-répétition permettrait de garder actives les traces mnésiques verbales dans la zone de stockage verbal jusqu'au rappel. La limitation à 7 items en tâche d'empan simple peut être expliquée simplement à travers ce modèle : sachant que l'action d'auto-répétition prend un certain temps, le nombre d'items rappelés correspondrait au nombre d'items qui peuvent être répétés avant que ceux-ci ne déclinent.

Le calepin visuo-spatial est l'équivalent de la boucle phonologique, mais concerne le maintien des informations visuelles et/ou spatiales. Cette zone de stockage permet, par exemple, de manipuler des images mentales et de créer ainsi un nouvel objet. Dans le livre de Baddeley et al. (2015), différentes tâches de manipulation d'images sont décrites (p. 76-77). Par exemple, Finke et Slayton (1988) ont développé une tâche permettant d'étudier la manipulation spatiale

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

et mentale d'objets : *Premièrement, formez une image mentale de lettre capitale J. Ensuite, imaginez la lettre capitale D. Maintenant, faites tourner la lettre D à 90 degrés vers la gauche et placez-la au dessus de la lettre J. Que visualisez-vous ? (Réponse : un parapluie).* Pour réussir cette simple tâche nous utilisons ce que Baddeley nomme le calepin visuo-spatial. Les informations visuo-spatiales peuvent être fractionnées en deux sous-composantes : visuelles et spatiales. Les informations visuelles concernent les objets et répondent à la question *quoi ?* alors que les informations spatiales correspondent aux positions des objets dans l'espace et répondent à la question *où ?*

Dans cette thèse, nous nous sommes focalisés sur le maintien d'informations verbales. Cependant, comme le souligne Baddeley et al. (2015), le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique peuvent travailler ensemble pour améliorer les performances. Nous verrons d'ailleurs, dans le chapitre 4, que les participants de notre étude ont parfois utilisés l'imagerie mentale pour mémoriser des informations verbales. Pour illustrer le fait que la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial travaillent parfois ensemble, Baddeley et al. (2015) donnent l'exemple de Hatano et Osawa (1983). Ils ont montré que des experts japonais, utilisant couramment le boulier, avait un empan de chiffres d'environ 16. Cette amélioration, par rapport à l'empan classique d'environ 7 (Miller, 1956), est observée uniquement pour les chiffres. En effet, ces experts peuvent s'aider de la visualisation du boulier pour mémoriser les chiffres, en plus de l'auto-répétition subvocale.

Le central exécutif est la troisième composante du modèle de Baddeley (1986) qui permet, selon les besoins de la tâche, de choisir si l'on utilise la boucle phonologique, le calepin visuo-spatial, ou les deux à la fois. Le central exécutif est donc responsable de la coordination des systèmes esclaves. Mais celui-ci permet également le contrôle des stratégies d'encodage et de récupération, et la gestion de l'attention. Baddeley (1986) s'inspire du modèle de Norman et Shallice (1980) décrivant l'action du contrôle attentionnel. D'après ce modèle, le cerveau fonctionne selon deux systèmes distincts : (1) le premier est automatique, rapide et inconscient (2) le deuxième est contrôlé, lent et conscient. Le premier système, dit automatique, dépend de nos expériences passées et fonctionne uniquement dans des situations déjà rencontrées. Ce premier système dépend donc fortement de la MLT. Au contraire, le second système, nommé SAS (pour *Supervisor Attentional System*), permet d'agir dans des situations nouvelles, lors d'un apprentissage ou lorsque le système automatique échoue. Voici trois exemples d'action utilisant d'abord

le SAS, puis avec la pratique, le système automatique : conduire, faire ses lacets, jouer un morceau de piano. Le central exécutif du modèle de Baddeley (1986) peut être assimilé au SAS du modèle de Norman et Shallice (1980). En bref, Baddeley suppose que la MDT est commandée par le central exécutif qui est le dirigeant de l'attention contrairement aux systèmes esclaves qui sont plutôt des systèmes de mémoire.

L'exemple concernant les experts japonais en calcul mental montre que l'expérience et les connaissances en MLT ont une importance sur les performances de rappel à court terme. Un autre exemple est celui concernant les joueurs d'échec experts. Chase et Simon (1973) ont montré, d'une part, que les performances de rappel des pièces positionnées aléatoirement sur un échiquier ne dépendaient pas du niveau des joueurs d'échec. Tous rappelaient, en moyenne, quatre pièces. En revanche, lorsque les pièces positionnées sur l'échiquier représentaient une configuration de partie réelle, les performances dépendaient largement du niveau des joueurs d'échec. Le joueur expert rappelait environ seize pièces, les joueurs d'un niveau avancé rappelaient huit pièces et les joueurs débutants n'en rappelaient que quatre. Selon les auteurs, cette différence peut être expliquée par le fait que les experts mémorisent finalement sept *chunks* en MCT selon Miller (1956) (ou quatre selon Cowan, 2001). Un *chunk* représenterait une configuration incluant deux à cinq pièces, cette configuration ayant été rencontrée à de nombreuses reprises lors de parties d'échec et ayant donc été enregistrée en MLT. De même, le mot « échec » peut être vu comme un *chunk* de cinq lettres. Ces cinq lettres, dans cet ordre, représentent une seule entité. La question qui se pose alors est la suivante : comment la MDT et la MLT communiquent-elles ?

La MDT utilise les connaissances de la MLT permettant ainsi d'augmenter les performances en MDT. De plus, la MLT s'acquiert grâce à la MDT. Par exemple, des études ont montré qu'un bon fonctionnement de la boucle phonologique était nécessaire à l'acquisition d'un nouveau langage (p.ex., Gathercole & Baddeley, 1990). Mais le modèle princeps de Baddeley ne répondait pas à cette question. En conséquence, Baddeley (2000) a ajouté à son modèle une quatrième composante : le *buffer épisodique* (voir figure 1.4). Ce système peut maintenir environ quatre *chunks* dans un codage multidimensionnel (visuel, phonologique, sémantique, etc) provenant de sources différentes (perceptions, LTM ou MDT). Le *binding*<sup>5</sup> se ferait, selon Baddeley (2000),

---

5. Le *binding* est un terme utilisé pour décrire le fait de relier différentes caractéristiques ou éléments en un même objet. Par exemple, si l'on présente une couleur rouge et une forme carrée sur un écran, ces deux éléments peuvent se regrouper simplement en un seul élément : un carré rouge. Ce terme peut également définir le fait de relier différents événements en un même épisode cohérent.

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

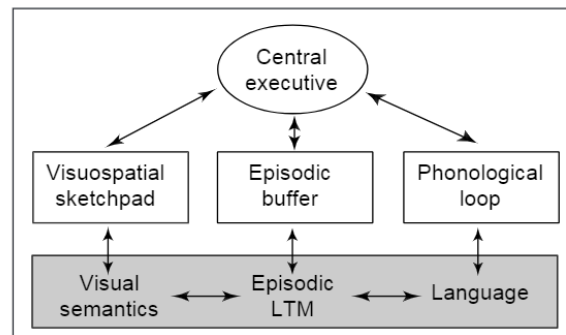


FIGURE 1.4 – La dernière version du modèle de Baddeley (2000). Ajout du buffer épisodique et des liens avec la MLT.

au sein du buffer épisodique. Baddeley (2000) suppose donc qu'il existe un lien direct entre la MLT et les autres composantes, excepté avec le central exécutif. Ce dernier contrôle le buffer épisodique, de la même manière qu'il contrôle le calepin visuospatial et la boucle phonologique. L'ajout de cette composante indique l'intérêt grandissant concernant le lien entre la MDT et la MLT sans pour autant considérer que la MDT est la partie activée de la MLT, contrairement au modèle de Cowan (1999) que nous allons présenter dans la section suivante.

### Une conception unitaire de la MDT : le modèle de Cowan (1999)

Contrairement à une description structurelle de la MDT telle que le modèle à composantes multiples de Baddeley (2000), Cowan (1999, 2010) propose une description plus fonctionnelle de la MDT. En effet, selon Cowan (1999) : [...] *working memory refers to cognitive processes that retain information in an unusually accessible state, suitable for carrying out any task with a mental component* (Cowan, 1999, p. 62). D'après le modèle dit « des processus emboîtés », les informations en MDT proviennent (1) de la MLT, (2) d'une partie activée de la MLT et (3) d'une partie encore plus activée se trouvant dans le focus attentionnel.

Les informations au sein du focus attentionnel sont celles qui sont le plus facilement accessibles. Ensuite, les informations activées, mais en dehors de la conscience, sont également faciles à récupérer mais avec un certain délai par rapport aux informations qui sont dans le focus attentionnel. Finalement, les informations uniquement en MLT sont plus difficiles à récupérer et nécessitent un contexte facilitant leur récupération. L'activation des informations, permettant



une meilleure accessibilité de celles-ci, peut se faire via le focus attentionnel dirigé par le central exécutif de manière consciente et volontaire. Ce processus volontaire est cognitivement coûteux et permet de maintenir très activées les informations pertinentes à la tâche en cours pour permettre un accès direct et rapide à ces informations. Certaines informations peuvent également être activées de manière automatique, non volontaire, par le biais des stimulations extérieures. Ce modèle est dit unitaire car les différentes parties de mémoire (représentées par différentes forces d'activation de l'information) sont emboîtées selon leur niveau d'activation.

La description de ces deux modèles très connus de la MDT montre que chacun d'eux est composé d'une partie de stockage (les composantes esclaves dans le modèle de Baddeley et les informations dans leurs différents états d'accessibilité dans le modèle de Cowan) et d'une partie dédiée au traitement (le central exécutif dans le modèle de Baddeley et les différents processus permettant de maintenir un haut état d'accessibilité des informations dans le modèle de Cowan). Ces deux fonctions, stockage et traitement, sont souvent utilisées pour décrire la MDT, en comparaison à la MCT. En effet, de la même manière qu'une distinction existe entre MCT et MLT, il est également apparu dans la littérature une distinction entre MCT et MDT, bien que ces termes soient parfois utilisés de manière indifférenciée. De manière générale, la MCT est définie comme un système de stockage immédiat des informations. La MDT, en plus du stockage immédiat, englobe les processus de traitement de l'information utiles à l'accomplissement de tâches cognitives complexes, ainsi que les processus permettant le maintien des informations.

De manière plus pratique et empirique, il est à noter que MDT et MCT sont étudiées, dans la littérature, grâce à des tâches qui leur sont propres. La section suivante va présenter les deux tâches typiques utilisées pour mesurer la MCT d'une part, et la MDT d'autre part.

### **1.1.4 Les tâches d'empan simples et d'empan complexes**

Contrairement aux tâches d'empan simples (conçues pour mesurer les capacités en MCT), les tâches d'empan complexes (conçues pour mesurer les capacités en MDT) corrèlent très fortement avec les fonctions cognitives de haut niveau<sup>6</sup> telles que la compréhension verbale (Daneman & Carpenter, 1980), les compétences mathématiques (Case, Kurland, & Goldberg, 1982), le raisonnement (Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002) ou l'intelligence

---

6. Cette dichotomie stricte ne fait pas l'unanimité (Chekaf, 2017).

## 1.1 Les différents systèmes de mémoire

fluide (Kane et al., 2004). Par son rôle central dans la cognition, l'étude concernant la nature et les propriétés de ce système est devenue un pan important de la littérature. C'est d'ailleurs de ce lien étroit entre intelligence et MDT qu'est né l'engouement pour l'étude de ce système mnésique.

La tâche d'empan simple permet de mesurer le nombre d'items que l'on peut restituer immédiatement après les avoir vus ou entendus (Miller, 1956). Le rappel des items doit se faire dans l'ordre d'apparition des items. Ces derniers peuvent être de différentes natures (chiffres, lettres, mots, couleurs, images, symboles dénués de sens, formes géométriques, etc.). Par exemple, l'empan visuel peut être mesuré en utilisant une matrice dans laquelle une moitié des cases sont blanches et l'autre moitié des cases sont noires formant ainsi des patterns différents. Le participant doit alors reproduire le pattern. Pour commencer, la matrice est de taille 2x2, puis 3x3, puis 4x4 jusqu'à atteindre une taille 8x8. L'empan spatial, quant à lui, peut être mesuré en utilisant un ensemble de 9 blocs disposés devant le participant. L'expérimentateur montre un certain nombre de blocs dans un certain ordre. Puis le participant doit reproduire la séquence. L'empan verbal peut simplement être mesuré en utilisant une liste de mots, de lettres ou encore de chiffres. La tâche d'empan simple a permis de mettre en avant différents effets dans le domaine verbal comme l'effet de similarité phonologique ou l'effet de longueur des mots, spécifiques à la mémoire à court terme verbale impliquant la boucle phonologique du modèle de Baddeley. Ces résultats seront décrits plus spécifiquement dans la section consacrée aux mécanismes de maintien.

À la suite de l'article de Baddeley et Hitch (1974), de nombreux chercheurs se sont penchés sur le lien éventuel entre la capacité de la MDT et les capacités cognitives complexes telles que la lecture ou les compétences mathématiques. Plusieurs types de tâches d'empan complexes ont alors vu le jour : la tâche d'empan de lecture (Daneman & Carpenter, 1980), la tâche d'empan de comptage (Case et al., 1982), la tâche d'empan de rotation (Shah & Miyake, 1996) ou encore la tâche que l'on nomme classiquement tâche d'empan complexe (Barrouillet et al., 2004), où les distracteurs et les items sont indépendants.

Dans la tâche d'empan de lecture, par exemple, les participants doivent lire des phrases, décider si la phrase est vraie ou fausse et mémoriser le dernier mot de la phrase. Après une séquence de plusieurs phrases, le participant doit rappeler les mots dans l'ordre de présentation. Le nombre de mots à rappeler varie généralement de 2 à 6. Dans cet exemple, on comprend

Tâches d'empan complexe

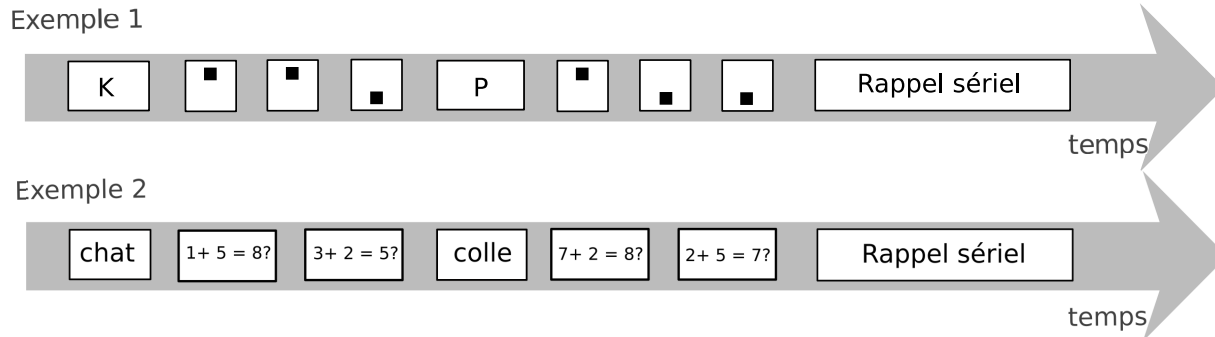


FIGURE 1.5 – Voici deux exemples de tâches d’empan complexes. Dans le premier exemple, les items à mémoriser sont des lettres (K et P) et la tâche de traitement consiste à dire si le carré est en haut ou en bas de l’écran. Dans le deuxième exemple, les items à mémoriser sont des mots (chat et colle) et la tâche de traitement consiste à dire si le résultat de l’opération est correct. A la fin de chaque essai, lorsque tous les items et distracteurs ont été présentés cumulativement, le participant doit rappeler, dans l’ordre, les items ayant été présentés.

qu’en plus du maintien d’une liste de mots comme dans une tâche d’empan simple mesurant la MCT, le participant doit également traiter une information, ici comprendre le sens d’une phrase en jugeant de sa véracité.

Dans les travaux de thèse présentés ici, nous avons utilisé une tâche d’empan complexe similaire à celle développée par Barrouillet et al. (2004). Dans cette tâche, les informations à traiter, que l’on nommera distracteurs par la suite, sont indépendantes des items à mémoriser (voir figure 1.5). L’avantage de cette tâche est de pouvoir manipuler et/ou de contrôler précisément les interférences entre les distracteurs et les items, la difficulté de la tâche ainsi que le temps total de la tâche. Ces contrôles et/ou manipulation sont autant de moyens permettant d’étudier et de comprendre les mécanismes d’oubli en MDT qui font l’objet de la section suivante.

## 1.2 L'oubli en MDT

Dans une tâche de mémorisation, le fait d'ajouter des distracteurs entre la phase d'encodage et la phase de rappel détériore les performances de rappel (p.ex., J. Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959). De même, les performances dans une tâche d'empan complexe sont bien moindres que dans une tâche d'empan simple (McCabe, 2008). Une question se pose alors : pourquoi les distracteurs nous font-ils oublier les informations que l'on souhaite maintenir ? Cette question a un intérêt majeur dans l'étude de la MDT car la compréhension de la limitation des performances due aux distracteurs permettrait également de mieux identifier, de manière générale, pourquoi nous oublions des informations. Nous pourrions alors mieux comprendre pourquoi il existe des différences interindividuelles en MDT ou encore une détérioration des performances de MDT chez les personnes âgées.

Deux hypothèses majeures concernant l'oubli en MDT se confrontent depuis plus de cinquante ans dans la littérature. Certains soutiennent l'hypothèse que l'oubli est en partie dû à un inexorable déclin temporel des traces mnésiques<sup>7</sup>. D'autres, au contraire, réfutent l'existence d'un déclin temporel en tant que tel et privilégient l'idée que l'oubli est uniquement dû aux interférences existant entre les items et les distracteurs, ainsi qu'entre les items eux-mêmes. Ces derniers considèrent finalement que l'oubli en MDT ne diffère pas réellement de l'oubli en MLT (Nairne, 2002).

L'hypothèse du déclin temporel passif des traces mnésiques est fortement controversée dans la littérature actuelle (p.ex., Farrell et al., 2016; Lewandowsky, Oberauer, & Brown, 2009b; Nairne, 2002; Oberauer & Lewandowsky, 2014) et elle l'était déjà à l'époque de J. Brown (1958) qui était en faveur du déclin temporel (p.ex., Keppel & Underwood, 1962). En effet, J. Brown (1958) écrivait *The hypothesis of decay of memory trace as a cause of forgetting has been unpopular*. À cette époque, une critique majeure concernait le manque d'explications de cette théorie : le temps n'est pas une cause en tant que telle et l'analogie de McGeoch (1932) est souvent utilisée : bien que la rouille apparaisse au fur et à mesure du temps, celle-ci n'est pas due au temps à proprement parler, mais au processus d'oxydation.

---

7. La trace mnésique d'un item correspond à la représentation mentale de l'item que nous avons encodé après que celui-ci ne soit plus présent dans l'environnement extérieur.

Pratt (1936) avait répondu ainsi :

*Science often speaks of change as a function of time, meaning thereby that alterations are produced by processes internal to the event in question rather than by external forces acting upon the event. Let A and B represent two neural traces. Either one may change as the result of the action of the other upon it. A change may also occur in A by way of metabolic processes within its own organization which have nothing to do with B, and vice versa.*  
(Pratt, 1936, p.91)

Cette citation issue de la revue de littérature *Decay theory of immediate memory : From Brown (1958) to today (2014)* de Ricker, Vergauwe, et Cowan (2014) est reprise car, de notre point de vue, elle illustre une différence principale entre déclin et interférences. Dans la notion de déclin temporel, le temps a une action sur l'activation de l'item lui-même alors que dans la notion d'interférence, les interactions entre les informations créent l'oubli au cours du temps et repoussent le temps comme cause secondaire de l'oubli.

Ainsi, nous allons passer en revue quelques expériences visant à démontrer les causes de l'oubli. Dans un premier temps, nous présenterons des observations en faveur du déclin temporel. Puis, dans un deuxième temps, nous étudierons les différents types d'interférences.

### **1.2.1 Le déclin temporel**

La théorie du déclin temporel des traces mnésiques à court terme a commencé en partie avec les travaux de J. Brown (1958) ainsi que ceux de Peterson et Peterson (1959). Leur objectif était de tester l'hypothèse suivante : le déclin temporel ou, en d'autres termes, la diminution de l'activation des traces mnésiques au cours du temps, serait la cause principale de l'oubli en MCT. D'après J. Brown (1958), plus l'activation de la représentation en mémoire d'un item est faible, plus il sera difficile, voire parfois impossible, de récupérer cet item. Cette explication a l'avantage d'être parcimonieuse. Cependant, il semble délicat de réellement tester l'impact du temps sur les traces mnésiques de façon pure.

Prenons comme exemple la première expérience de J. Brown (1958) qui avait pour objectif de tester l'effet du temps sur les performances mnésiques. Les participants devaient mémoriser 1, 2, 3 ou 4 paires de lettres puis les rappeler après un délai de l'ordre de quelques secondes. Soit le délai était vide (condition *empty delay*), soit cinq paires de chiffres étaient présentées

## 1.2 L'oubli en MDT

successivement après les lettres, et les participants devaient alors les lire à haute voix (condition *filled delay*). Comme attendu, Brown observa de meilleures performances dans la condition *empty delay* que dans la condition *filled delay*. La présence d'une tâche dans la condition *filled delay* durant le délai avait pour objectif d'empêcher le participant de maintenir les paires de lettres et de permettre au déclin temporel (s'il existe) d'être observé<sup>8</sup>. L'absence d'une baisse des performances entre les deux conditions aurait été un argument fort contre l'existence d'un déclin temporel. Cependant, la présence d'une différence ne prouve pas catégoriquement la présence d'un déclin temporel. En effet, la présence des chiffres à lire peut créer des interférences qui peuvent alors être la cause même de l'oubli. Cet exemple illustre la difficulté de tester l'existence du déclin temporel.

Des études se sont alors intéressées à l'effet du temps sur la mémorisation en utilisant des stimuli non connus et non verbalisables (McKeown & Mercer, 2012; Ricker & Cowan, 2010; Zhang & Luck, 2009). Contrairement aux lettres, chiffres ou mots, ce type de stimuli ne peut pas être maintenu par récapitulation subvocale pendant le temps libre. L'effet du temps peut donc être observé directement, même en l'absence de distractions créant des interférences. Par exemple, Ricker et Cowan (2010) ont utilisé des caractères inhabituels à mémoriser (p. ex. des lettres grecques, cyrilliques et arabes) et les résultats ont montré un effet délétère du temps, en l'absence de distracteurs, sur les performances de rappel. Ces résultats sont fortement en accord avec la théorie du déclin temporel. En effet, en l'absence de distraction, les interférences ne peuvent pas être la cause de l'oubli au cours de l'intervalle de rétention.

Cependant, ces résultats peuvent être expliqués autrement que par le déclin temporel des traces mnésiques. En effet, une alternative au déclin temporel, la *distinction temporelle* (*temporal distinctiveness* en anglais), est avancée par G. D. A. Brown et al. (2007). Cette hypothèse, mentionnée au début de ce manuscrit, se situe entre les théories du déclin temporel et des interférences. En effet, la notion de *distinction temporelle* prend en compte les interférences entre les informations sur la dimension temporelle et non pas de manière statique entre les représentations des items. C'est-à-dire que l'interférence varie en fonction du temps. Ces interférences temporelles dépendent du temps entre l'encodage d'un item et le rappel de celui-ci ainsi que du temps entre chaque item encodé. G. D. A. Brown et al. (2007) ont testé cette théorie à l'aide

---

8. À l'époque, il était considéré qu'un chiffre ne pouvait pas interférer avec une lettre. Aujourd'hui, on considère que les chiffres et les lettres, bien que différents, peuvent interférer car ces deux matériaux appartiennent au même domaine : le domaine verbal.

d'un modèle computationnel, nommé SIMPLE.

Brièvement, ce modèle postule que la confusion de deux items en mémoire dépend du rapport entre les distances temporelles encodage-rappel pour chacun des items. Le plus petit est divisé par le plus grand donc ce rapport est compris entre 0 et 1. Plus le rapport est élevé plus la confusion est importante entre les deux items. Comment ce modèle explique-t-il l'effet de l'intervalle de rétention ? C'est-à-dire le fait que les performances de rappel diminuent à mesure que le temps de rétention entre l'encodage d'une liste d'item et le rappel augmente. Considérons deux items A et B. Par exemple, A est encodé 2 secondes avant le rappel et B est encodé 1 seconde avant le rappel. Le rapport de confusion sera de  $1/2 = 0.5$ . Supposons maintenant que l'on ajoute un intervalle de rétention de 10 secondes. Le rapport sera alors de  $11/12 = 0.92$ . On constate à travers cet exemple simple que la confusion augmente à mesure que l'intervalle de rétention augmente induisant des baisses de performances. Cette théorie considère donc que le temps a un impact sur la confusion entre les items, elle-même impactant les performances.

Comme le font remarquer Neath et Brown (2012), le modèle SIMPLE se situe au-dessus du débat déclin/interférence car le concept de *distinction temporelle* pourrait être implémenté par du déclin temporel. De plus, comme le souligne Ricker et Cowan (2010), les données expérimentales montrent que le temps a un rôle majeur sur l'oubli en mémoire, rendant la simple explication de l'oubli en terme d'interférences plus difficile.

Ainsi, de nombreux modèles de MDT supposent que l'oubli est principalement dû au déclin des représentations au cours du temps (p.ex., le *Time based resource sharing model* de Barrouillet et al., 2004 ; le modèle de la boucle phonologique de Burgess & Hitch, 1999 ; le *Primacy model* de Page & Norris, 1998 ; le *Task-switching model* de Towse & Hitch, 1995). Il est important de noter que ces modèles ne nient pas l'existence d'interférences entre les représentations en MDT mais supposent que le temps est le facteur principal de l'oubli. Ces modèles supposent en effet que le délai entre l'encodage et le rappel est un facteur crucial sur les performances de rappel. De plus, ces modèles considèrent que l'équilibre entre déclin temporel et réactivation des traces à l'aide de différents mécanismes de maintien permet d'expliquer les performances de rappel dans des tâches de MDT.

Un exemple de modèle considérant que l'oubli en MDT est principalement dû au déclin temporel des traces mnésiques est le *Time Based Resource Sharing* (TBRS, Barrouillet et al., 2004). Nous consacrerons d'ailleurs une partie entière à la description et à l'historique de ce

## 1.2 L'oubli en MDT

modèle dans le chapitre 2.

Brièvement, ce modèle a mis en avant un « prédicteur » important des performances de rappel dans une tâche d'empan complexe : le *coût cognitif* (CC) de la tâche de traitement. Le CC représente le rapport entre le temps de capture attentionnelle imposé par le traitement d'un distracteur et le temps total disponible pour traiter ce distracteur. Par exemple, un CC de 40% indique que les tâches distractrices occupent 40% du temps, hors encodage des memoranda ou rappel. Les figures 1.6 et 1.7 montrent, à travers de multiples expériences (tâches d'empan complexes), que les scores d'empan moyen sont linéairement dépendants du CC de la tâche de traitement, peu importe le type de tâche et le domaine auquel appartiennent les distracteurs. Cet effet robuste est expliqué simplement à travers le modèle TBRS. Lorsque, dans une tâche d'empan complexe, l'attention du sujet est portée sur la tâche à traiter, ce modèle suppose que les traces mnésiques des items à mémoriser vont décliner inexorablement avec le temps. Dès que du temps libre est disponible, suite au traitement du distracteur par exemple, celui-ci sera utilisé pour restaurer les items à maintenir. Le CC reflète donc l'équilibre entre le temps pendant lequel les items déclinent et le temps pendant lequel ils sont rafraîchis. Plus le déclin est important par rapport aux opportunités de maintien (CC élevé) moins les performances seront bonnes et inversement.

Plusieurs manières de manipuler le CC d'une tâche existent. Celui-ci est fonction du temps et ce temps peut varier de différentes façons : rythme des distracteurs, nombre de distracteurs, complexité des items à traiter (voir l'encadré 1.1 p. 37 pour plus de détails). De nombreuses études ont montré la robustesse de l'effet du CC (p. ex., Barrouillet et al., 2004 ; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007 ; Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011 ; Barrouillet & Camos, 2012 ; Baumans, Adam, & Seron, 2012 ; Bayliss, Bogdanovs, & Jarrold, 2015 ; Camos & Portrat, 2015 ; De Schrijver & Barrouillet, 2017 ; Portrat, Barrouillet, & Camos, 2008 ; Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2010).

Finalement, Altmann et Schunn (2012) relèvent un point important en faveur du déclin temporel. En effet, si l'interférence était l'unique mécanisme expliquant l'oubli en MDT, alors il serait rapidement impossible de se rappeler de quoi que ce soit. Le déclin temporel permettrait d'éviter la saturation des informations en MDT. Pourtant l'effet du temps comme facteur principal de l'oubli est toujours controversé dans la littérature. Dès lors, nous allons étudier la théorie selon laquelle les interférences seraient la cause principale dans le processus de l'oubli.



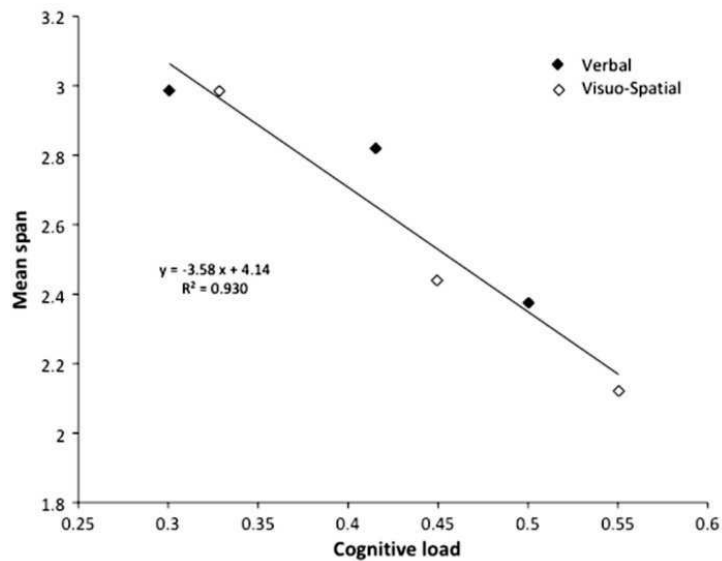


FIGURE 1.6 – Empan de lettres moyen dans une tâche d’empan complexe en fonction du coût cognitif (CC) induit par une tâche de traitement verbal ou visuel. Figure reprise de Barrouillet, Portrat, Vergauwe, Diependaele et Camos (2011). Les données de cette figure proviennent de l’article de Vergauwe, Barrouillet et Camos (2010).

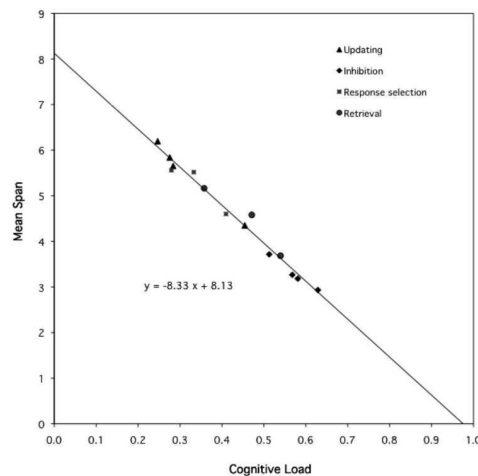
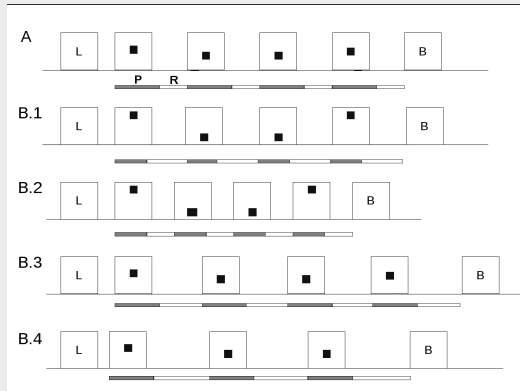


FIGURE 1.7 – Figure reprise de Barrouillet, Portrat et Camos (2011). Empan moyen en fonction du CC induit par quatre différents types de tâches. Les données de cette figure proviennent de l’expérience 3 de l’article de Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, et Camos (2007).

## 1.2 L'oubli en MDT

### Encadré 1.1 – Les différentes manières de manipuler le CC de la tâche de traitement

Il existe quatre manières différentes de faire varier le CC comme le montre la figure ci-dessous.



*Illustration des différentes manières de faire varier le CC. Utilisation de l'exemple d'une tâche de jugement spatial d'un carré (haut ou bas) compris entre deux items à mémoriser. Cet exemple est repris de Portrat et al. (2008). Les barres grises et blanches représentent la durée du traitement ( $P$ ) et de la restauration ( $R$ ), respectivement. B.1, B.2, B.3 et B.4 représentent les quatre possibilités de faire varier le CC, en comparaison au CC de A.*

Pour faire varier le CC, une première approche est de faire varier le temps de capture attentionnelle (voir ligne A vs B.1). Sur ce schéma par exemple, on constate que la tâche de jugement de localisation est plus ou moins ardue selon la position du carré par rapport au centre : plus le carré est proche du centre, plus le temps de réponse sur la localisation sera longue (voir Barrouillet et al., 2007 ; Portrat, 2008). En effet, le CC de B.1 est plus faible que le CC de A car la proportion  $\frac{P}{P+R}$  est plus faible (où  $R$  étant le temps de restauration et  $P$  étant celui du traitement du distracteur). D'ailleurs nous rappellerons que (Barrouillet et al., 2007) ont utilisé cette méthode pour manipuler le CC et montré que les performances de rappel étaient inversement proportionnelles au CC : un temps de traitement moins long du distracteur entraînerait moins de déclin des traces mnésiques, et donc de meilleures performances. Cependant, on remarque qu'en manipulant le CC de cette manière, le temps de restauration ( $R$ ) varie également.

Une deuxième manière de manipuler le CC est la variation du temps de traitement ( $P$ ) tout en s'assurant de la constance du temps de restauration ( $R$ ) (voir lignes A et B.2). Dans ce cas, on constate que le temps entre deux items n'est plus constant. De cette manière, le CC a toujours le même effet que lors de la première manipulation comme l'ont montré Portrat (2008).

Une troisième façon de manipuler le CC est, contrairement aux deux manières précédentes, de garder la même tâche de traitement et de jouer sur la variation du temps de restauration, et, par conséquent, sur le rythme auquel apparaissent les distracteurs à traiter (voir lignes A vs B.3). De cette manière le temps total entre deux items est également différent entre deux CC.

Enfin, une dernière possibilité de faire varier le CC est de modifier le nombre de distracteurs tout en gardant constant le temps entre deux items (voir A versus B.4). Ainsi, plus il y aurait de distracteurs dans le même laps de temps, plus le CC serait élevé et inversement.

### 1.2.2 Les interférences

Comme nous l'avons vu ci-dessus, de nombreux chercheurs pensent que le déclin temporel n'est pas une explication valable de l'oubli et estiment au contraire que les interférences constituent un facteur bien plus important. Récemment, Oberauer, Farrell, Jarrold, et Lewandowsky (2016) ont testé l'hypothèse du déclin temporel et celle des interférences<sup>9</sup> face à un ensemble important de résultats. Voici par exemple, sur la figure 1.8, un ensemble de six effets différents, qui sont des références (*benchmarks*) issues de la littérature, concernant l'impact des distracteurs. Par exemple, le premier effet concerne celui du CC que nous avons présenté précédemment : un mécanisme de restauration (réactivation), en contrepartie du déclin temporel, explique simplement l'effet du CC. Cependant, les chercheurs pro-interférence montrent que le CC peut tout aussi bien être expliqué sans déclin temporel. Comment ? Un mécanisme de restauration est également nécessaire : le mécanisme de *removal*<sup>10</sup> (Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold, & Greaves, 2012) permet de supprimer les distracteurs qui interfèrent avec les items à mémoriser une fois qu'ils ont été traités.

D'après l'hypothèse des interférences, ce qui impacterait réellement les performances lors de l'intervalle de rétention dans une tâche de Brown-Peterson n'est pas le temps de rétention mais le taux d'interférences. Par exemple, Lewandowsky et Farrell (2008) ont montré que l'oubli varie selon le matériel. En effet, la répétition d'un même mot durant l'intervalle de rétention dans une tâche de Brown-Peterson n'induit pas d'oubli contrairement à la répétition de mots différents (par exemple « super, super, super » vs « super, house, table »). Cette expérience a été reproduite en ajoutant une tâche non-verbale afin de bloquer, en plus de l'auto-répétition subvocale, un mécanisme de rafraîchissement basé sur l'attention. Ces résultats ont montré que l'oubli était surtout dû au niveau d'interférence induit par les distracteurs. On constate sur la figure 1.8, ligne B2, que cet effet est très bien expliqué par un modèle basé sur les interférences et inexplicable selon l'hypothèse d'un déclin temporel seul ignorant les interférences. Cependant, les modèles considérant que le déclin temporel existe ne supposent pas que les interférences n'existent pas. De plus, Plancher et Barrouillet (2012) ont constaté que dans l'étude de Lewandowsky et Farrell (2008) l'effet observé pouvait simplement être dû à une variation du CC non contrôlé. En effet,

9. Oberauer et al. (2016) ont également testé l'hypothèse de ressources limitées (voir Case et al., 1982; Ma, Husain, & Bays, 2014) qui n'est cependant pas étudiée dans cette thèse.

10. Le terme *removal* définit le mécanisme spécifique décrit dans le modèle SOB-CS. Ce mécanisme sera décrit de manière précise dans la partie *Maintien*.

## 1.2 L'oubli en MDT

Table 3  
Summary of Informative Findings and Evaluations of Hypotheses in Round B: Findings on Retention-Interval and Distractor-Processing Effects

Index	Finding	Decay	Resource	Interference
B1	The impairment of memory by processing distractors in the retention interval increases with the cognitive load imposed by the processing task	+	-	+
B2	The duration of distractor processing in the retention interval affects memory if and only if distractors differ from each other	-	-	++
B3	The duration of an unfilled retention interval impairs visual and spatial WM in some experiments	+	0	-
B4	Domain-specific effect of processing: Processing distractors from the same content domain as the memoranda leads to a larger impairment	+	+	++
B5	Cross-domain impairment of memory by processing: Memory is impaired by processing of distractors from another domain than the memoranda	+	++	0
B6	Heterogeneity benefit: Processing distractors from different classes as the memoranda (within the same domain) impairs memory less than processing of distractors from the same class	-	-	++

*Note.* Table entries reflect our judgment of the logical relation between a finding and a hypothesis: The hypothesis predicts (++) or can explain (+) the finding, it is consistent with the finding (0) or it is challenged by the finding (-); see text for explanation. WM = working memory.

FIGURE 1.8 – Évaluation des hypothèses confrontées aux différents résultats concernant l'effet des distracteurs sur le maintien en MDT et l'effet de l'intervalle de rétention. Ce tableau est repris de l'article de Oberauer et al. (2016).

les participants pouvaient anticiper la lecture des mots dans le cas où les mots étaient répétés, réduisant ainsi le CC de la tâche de distraction. Plancher et Barrouillet (2012) ont alors testé l'effet de nouveauté des distracteurs en contrôlant cette fois le CC de la tâche. Pour cela, ils ont fait varier de manière imprévisible l'alternance de mots répétés et de mots nouveaux. Les résultats ont montré à travers cinq expériences que les performances ne dépendaient plus de la nouveauté des distracteurs, mais uniquement du CC de la tâche.

Toutefois, Oberauer et al. (2016) ont conclu à la suite du débat portant sur les hypothèses concernant la limitation de la MDT que celle sur les interférences était la plus satisfaisante<sup>11</sup>. Différents types d'interférences sont définis dans la littérature. Nous commencerons par distinguer deux grandes classes d'interférences : l'interférence proactive et l'interférence rétroactive.

L'interférence proactive fait référence à l'effet d'événements antérieurs à la liste d'items que l'on souhaite mémoriser. À l'inverse, l'interférence rétroactive provient des événements qui

11. Il serait intéressant que différents groupe de chercheurs reprennent les différents effets et notent à leur tour les différentes hypothèses. En effet, je crois que selon nos convictions, nous ne voyons pas forcément les mêmes défauts d'une expérience à l'autre. Par exemple, comme je l'ai fait remarquer précédemment, l'effet concernant la nouveauté des distracteurs peut être expliqué grâce à l'étude de Plancher et Barrouillet (2012). Pourtant, Oberauer et al. (2016) ne mentionnent pas cette étude et attribue la meilleure note (c'est-à-dire « ++ ») aux modèles basés sur les interférences et la moins bonne note pour les modèles basés sur le déclin temporel (c'est-à-dire « - ») pour l'effet concernant la nouveauté des distracteurs. Il est probable que l'équipe de Barrouillet aurait noté différemment ce tournoi d'hypothèses.

suivent les items que l'on souhaite mémoriser, comme par exemple les distracteurs dans une tâche de Brown-Peterson. Historiquement, Keppel et Underwood (1962) ont montré qu'il était possible d'expliquer l'oubli en MCT en l'attribuant non pas au déclin temporel mais à l'interférence proactive. Ils ont observé que l'oubli était très faible sur le premier essai de l'expérience utilisant la tâche de Brown-Peterson. En revanche, un oubli plus marqué n'apparaissait que sur les essais suivants indiquant ainsi que l'interférence proactive des essais précédents rendait la mémorisation plus difficile. De plus, quand l'interférence proactive était minimisée, c'est-à-dire en utilisant un seul essai par expérience (Baddeley & Scott, 1971), l'oubli résiduel pouvait être expliqué par un autre type d'interférence : l'interférence rétroactive des distracteurs suivant l'encodage des items à mémoriser et précédant la phase de rappel.

Une étude très récente de Farrell et al. (2016) a testé ces deux types d'interférences face au déclin temporel dans une tâche d'empan complexe. L'idée est la suivante : si le déclin temporel explique les baisses de performances, alors la présence d'un distracteur ne devrait affecter que les items qui le précèdent. Imaginons une liste ABCDEF à mémoriser et qu'un seul distracteur est présenté après la lettre C. L'hypothèse du déclin temporel suppose que lors du traitement de ce distracteur, les items ABC déjà encodés devraient décliner. Par contre, les items DEF ne devraient pas être affectés par le distracteur. Au contraire, l'hypothèse d'interférences proactive et rétroactive suggère que le distracteur devrait impacter les items qui le précèdent (interférence rétroactive) et les items qui le suivent (interférence proactive). De plus, l'interférence sera plus forte pour les items les plus proches du distracteur. Dans notre exemple les items C et D devraient donc être plus impactés que les items B et E, qui seront eux mêmes plus impactés que les items A et F. Trois expériences menées par Farrell et al. (2016) ont montré que l'effet des distracteurs était local, affectant d'avantage les items voisins du distracteurs comme prévu par l'hypothèse des interférences et plus difficilement explicable par une hypothèse de déclin temporel.

En plus de la distinction rétroactive et proactive, Oberauer et al. (2016) présentent trois types d'interférences spécifiques : l'interférence par confusion, l'interférence par superposition et l'interférence par *feature overwriting*. Le premier type d'interférence est la confusion entre différentes représentations d'items activées en MDT. Cette confusion apparaît à la phase de récupération et s'opère à travers un mécanisme nommé *competitive queuing* en anglais. De nombreux modèles partent du principe que la récupération d'une information en mémoire est toujours guidée par le contexte, appelé en anglais *cue* ou *temporal-contextual cue* (McCabe, 2008 ; Nairne,

## 1.2 L'oubli en MDT

2002). Le contexte est extrêmement variable et peut, par exemple, être la position de l'item à récupérer dans une liste, ou la position de l'item dans l'espace, ou encore une liste à rappeler parmi un ensemble de listes. Ainsi, lorsque l'on demande à un participant de se rappeler du quatrième item d'une liste, alors l'information « quatrième position » est un indice contextuel (une *cue*) permettant de récupérer l'information en MDT. Cela implique que l'indice contextuel (p.ex. la position dans la liste) et l'information à maintenir (p.ex. le mot dans la liste) sont liés l'un avec l'autre. L'activation de l'un engendre l'activation de l'autre. Par manque de distinction entre deux indices contextuels proches (comme par exemple les positions 1 et 2, par opposition à 1 et 6, dans une liste), un indice ne réactive pas uniquement l'item cible mais peut également réactiver les traces des représentations voisines. Ces dernières entrent alors en compétition avec l'item cible et génèrent une confusion. En effet, la probabilité de récupérer une trace dépend de son activation par rapport à l'activation des autres traces : plus le nombre d'items associés à un même contexte est important, plus la récupération de l'item cible est difficile (Wixted, 2005). De la même manière, plus un contexte est proche d'un autre contexte, plus les erreurs de confusion surviennent. Dans ce que nous venons de présenter, un indice contextuel permet de réactiver plusieurs contenus rentrant alors en compétition. Selon certains modèles, le rappel se fait en deux étapes. Premièrement, un indice contextuel permet de générer une représentation déformée (pour des causes diverses tel que déclin temporel ou interférence par superposition que nous verrons juste après) de l'item à récupérer. Deuxièmement, cette représentation déformée peut alors être reconstruite (Hulme et al., 1997) en s'appuyant sur les connaissances à long terme. Durant cette deuxième étape, la représentation déformée est comparée à un ensemble de candidats potentiels. Plus les candidats potentiels sont similaires, plus la confusion sera importante. Ce type d'interférence, en utilisant les deux étapes de récupération, permet d'expliquer l'effet délétère de la similarité dans une tâche d'empan simple (Conrad, 1964). Par exemple la liste de mot « cat, rat, bat » sera moins bien rappelée que la liste de mot « cat, dog, fish ». De même, ce type d'interférence permet d'expliquer les meilleurs résultats dans une tâche d'empan complexe montrant une amélioration des performances lorsque les items et les distracteurs proviennent de catégories différentes (par exemple, des mots et des chiffres par rapport à des mots et des mots). En effet, lors du rappel dans la condition où les distracteurs et les items appartiennent à la même catégorie, les candidats potentiels sont beaucoup plus nombreux que lorsque les distracteurs proviennent d'une autre catégorie que les items. Les participants ne vont pas

Panneau A		Panneau B	
1 mot :	<b>chouette</b>	Item	<b>chateau</b>
2 mots :	<b>chouette</b>	Dist.	<b>chapeau</b> <b>voilier</b>
4 mots :	<b>chouette</b>	Item + Dist.	<b>chapeau</b> <b>voilier</b>

FIGURE 1.9 – Analogie de l'imprimante pour illustrer l'interférence par superposition. Le panneau A montre que plus le nombre de mots superposés augmente, plus la lisibilité de ces mots est compromise. Le panneau B montre que la déformation est d'autant plus importante que la similarité entre les items et distracteurs est faible.

rappeler des chiffres, alors qu'ils savent qu'ils doivent rappeler des mots.

Un deuxième type d'interférence, compatible avec le premier type d'interférence, est l'interférence par superposition des différentes représentations. Contrairement à l'interférence par confusion, l'interférence par superposition intervient au moment de l'encodage. Il est supposé que tous les items (et les distracteurs) vont être superposés dans une même structure : celui de la MDT. Cette interférence par superposition peut être simulée par des modèles où les items et les distracteurs sont représentés de manière distribuée (p.ex. le modèle SOB, Farrell & Lewandowsky, 2002). Plus le nombre d'items et de distracteurs à encoder augmente, plus les représentations des items sont déformées, rendant plus difficile leur rappel. Reprenons l'analogie faite par Oberauer et al. (2016) pour expliquer comment ce type d'interférence crée l'oubli en MDT. Imaginons qu'une imprimante superpose les mots d'un texte au même endroit. Lorsqu'un seul mot est imprimé, celui-ci est facilement lisible. L'ajout d'un deuxième, puis d'un troisième mot, va rendre la lecture de chacun de ces mots très difficile (voir une illustration sur le panneau A de la figure 1.9). D'après ce type d'interférence, plus les items et/ou les distracteurs, appartenant à la même catégorie, sont différents les uns des autres, plus la déformation sera importante et donc moins les performances de rappel seront bonnes. Gardons l'analogie de l'imprimante : le mot « château » est imprimé. Ensuite, soit le distracteur qui suit est différent, phonologiquement, de l'item « château » (par exemple le mot « voilier »), soit celui-ci est similaire à l'item « château » (par exemple le mot « chapeau »). Comme nous pouvons l'observer sur le panneau B de la figure 1.9, l'item « château » est plus facilement récupérable si le distracteur est similaire, car l'encodage du distracteur « chapeau » a moins déformé la représentation du mot « château ».

## 1.2 L'oubli en MDT

Le troisième type d'interférence est l'interférence par *feature overwriting*. Celle-ci intervient également pendant la phase d'encodage. Globalement, une caractéristique ne peut être attribuée qu'une seule fois à un seul item en même temps (Nairne, 1990 ; Oberauer & Kliegl, 2006). En conséquence, plus les items (et/ou les distracteurs) partagent des caractéristiques communes entre eux, plus les performances de mémorisation seront mauvaises. Pour illustrer ce type d'interférence, présentons une analogie proche de celle donnée par Oberauer et al. (2016) : imaginons que l'on ait une seule magnette par lettre de l'alphabet (du genre de celles que l'on aimante sur un frigo). Pour écrire un mot nouveau possédant une lettre en commun avec un mot déjà écrit, nous devons prendre dans l'ancien mot la lettre nécessaire à l'écriture de ce nouveau mot. Cette action dans cette analogie représente le *feature overwriting* et ce mécanisme peut expliquer pourquoi la MDT a une capacité limitée. Ce type d'interférence s'oppose en quelque sorte à l'interférence par superposition. En effet, cette dernière suppose que la déformation en mémoire est augmentée lorsque les items diffèrent alors que l'interférence par *feature overwriting* suppose que la déformation augmente lorsque les items se ressemblent.

Enfin, un dernier type d'interférence, appelé *process-based interference* par Lewandowsky, Oberauer, et Brown (2009a), considère que le traitement d'un distracteur peut empêcher la consolidation d'un item pendant les 500 premières millisecondes de sa présentation (Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998) et retarde aussi la restauration de celui-ci (Barrouillet et al., 2004). Cependant, ce dernier type d'interférence ne décrit pas un processus d'interférence entre les items et les distracteurs eux-mêmes mais plutôt entre le processus de traitement et celui de maintien, nécessitant tous deux de l'attention.

Ainsi, on constate à travers ces différents types d'interférences que de nombreux modèles parviennent à expliquer les effets d'une capacité limitée de la MDT sans passer par la théorie du déclin temporel (Lewandowsky & Farrell, 2008 ; Nairne, 1990 ; Oberauer & Kliegl, 2006 ; Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012). Parmi les modèles qui décrivent ces interférences, notre thèse étudiera un modèle particulier, le modèle SOB-CS, qui simule l'interférence par superposition et l'interférence par confusion. Ce modèle sera donc décrit dans le chapitre suivant.

Bien sûr, les théories en faveur d'un oubli basé uniquement sur les interférences ne nient pas que l'oubli s'opère au cours du temps mais nient plutôt l'idée que le temps joue un rôle causal dans l'oubli. De même, les théories qui proposent que l'oubli soit dû au déclin temporel ne nient pas l'existence d'interférences, mais nient l'idée que ces interférences soient la cause principale



## CHAPITRE 1 : *Oubli et maintien en mémoire de travail*

de l'oubli. De plus, l'affaiblissement des traces mnésiques dues au déclin temporel pourrait même être à l'origine des interférences. Mais quelles que soient les théories, nous savons que des mécanismes cognitifs de maintien sont nécessaires pour contrecarrer l'oubli. Quels sont les principaux mécanismes de maintien de la MDT décrits dans la littérature ? C'est ce que nous allons définir dans cette dernière section du chapitre introductif.

## 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

Bien que limitée, la MDT nous permet de maintenir un certain nombre d'informations pertinentes afin d'accomplir la plupart de nos activités quotidiennes. Comment maintenons-nous les informations en MDT ? Quels sont les mécanismes permettant de contrer l'oubli ?

Plusieurs processus de maintien sont décrits dans la littérature. Voici, à ma connaissance, sept termes<sup>12</sup> importants utilisés dans la littérature concernant le maintien en MDT :

- *rehearsal* [auto-répétition subvocale]
- *refreshing* [rafraîchissement attentionnel]
- *covert retrieval* [récupération silencieuse]
- *short term consolidation* [consolidation à court terme]
- *removal* [suppression]
- *grouping* [groupement dans le temps]
- *chunking* [assemblage de plusieurs items en un seul item]

La figure 1.10 représente ces sept différents mécanismes ainsi que les moments respectifs de leur intervention dans une tâche d'empan complexe. Nous pouvons voir que ces différents mécanismes n'interviennent pas toujours au même moment dans une tâche de mémorisation. Par exemple, la suppression d'un distracteur (*removal*) intervient uniquement pendant la phase de temps libre après avoir traité un distracteur alors que la consolidation à court terme d'un item (*short term consolidation*) intervient juste après que l'item ait été encodé. Cependant, la distribution des différents moments est schématique et pour certains mécanismes tel que le *chunking* ou le *grouping*, cette répartition n'est pas explicite dans la littérature. Pour ces deux derniers mécanismes, le schéma de la figure 1.10 met en avant le fait que, contrairement aux autres mécanismes plus élémentaires, le *grouping* et le *chunking* agissent sur la combinaison de différents items à mémoriser<sup>13</sup>.

La plupart de ces mécanismes sont compatibles et complémentaires. Certains mécanismes, cependant, s'opposent, tels que le *refreshing* et le *removal*, ou peuvent s'avérer être très si-

---

12. Concernant le rafraîchissement attentionnel et la suppression, les termes utilisés dans la thèse seront les termes anglais (*refreshing* et *removal* respectivement) afin d'appuyer sur le fait que ces mécanismes sont techniques et spécifiques au domaine de recherche. Cependant, lorsqu'il s'agira d'utiliser le verbe du mécanisme en question, nous utiliserons les verbes français. Par exemple, pour l'action de faire du *removal* nous utiliserons le verbe « supprimer » et pour l'action de faire du *refreshing* nous utiliserons le verbe « rafraîchir ».

13. Ces deux mécanismes ne feront pas l'objet d'attention dans cette thèse.

milaires voire identiques, comme le *covert retrieval* et le *refreshing*. Les mécanismes qui nous intéressent tout particulièrement dans cette thèse sont le *refreshing* et le *removal* qui sont les mécanismes implémentés dans les modèle TBRS\* et SOB-CS respectivement. De plus, le *covert retrieval* fait également l'objet d'études empiriques dans cette thèse car, comme nous venons de le dire, la distinction entre le *refreshing* et le *covert retrieval* semble à ce jour encore floue. Cependant, la description des cinq différents mécanismes existants permettra d'avoir une vision plus globale sur les différentes recherches concernant le maintien en MDT.

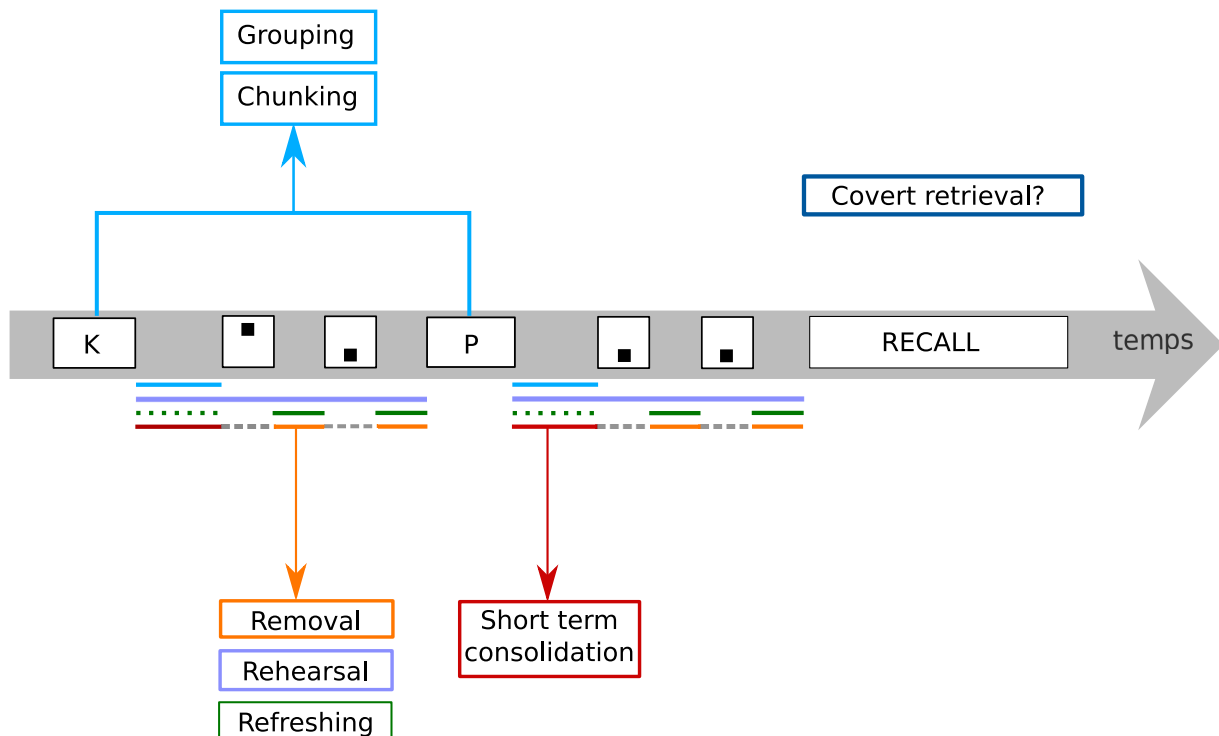


FIGURE 1.10 – Principaux mécanismes décrits dans la littérature ayant un rôle dans le maintien des informations en MDT. Ceux-ci sont présentés selon leurs emplacements temporels dans une tâche d’empan complexe. Le schéma montre que les mécanismes n’interviennent pas au même moment dans une tâche de mémorisation.

Récemment, en juillet 2017, un workshop international exploratoire (« *The crossroads of Attention in Working Memory : Consolidation, Refreshing & Removal* », 29 juin - 2 juillet 2017, Ovronnaz, Suisse) avait pour objectif de réunir des experts concernant les mécanismes de maintien de la MDT suivant : *refreshing*, *short term consolidation* et *removal*. Pour les parties concernant ces trois mécanismes, je reprendrai parfois les définitions récentes proposées à l’issue du

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

workshop.

#### 1.3.1 L'auto-répétition subvocale : *rehearsal* ou *articulatory rehearsal*

Dans le modèle de MDT de Baddeley (Baddeley et Hitch, 1974; Baddeley, 1986; Baddeley; 2000), les informations verbales sont maintenues grâce au mécanisme d'auto-répétition subvocale. Ce mécanisme a été largement étudié durant ces cinquante dernières années par les chercheurs considérant que l'oubli est dû au déclin temporel<sup>14</sup>. En effet, ce mécanisme spécifique aux informations verbales, permet de garder actives les traces mnésiques phonologiques subissant un déclin temporel. Globalement, l'effet de similarité phonologique, l'effet de longueur des mots et l'effet de la suppression articuloire sont les trois principaux effets en faveur de l'existence d'un tel mécanisme.

L'effet de similarité phonologique est une première preuve de l'utilisation d'un mécanisme de nature phonologique. Conrad (1964) a observé une diminution des performances dans une tâche d'empan simple lorsque les items avaient des sonorités communes. Baddeley (1966) a répliqué ces résultats et a également montré que cet effet n'était pas aussi marqué lorsque la similarité était sémantique. L'effet de similarité phonologique est expliqué simplement par l'existence de ce mécanisme d'auto-répétition subvocale des traces phonologiques. Plus les items sont similaires au sein de la boucle phonologique, plus la discrimination entre les items est difficile lors de la récupération. Une manière de tester si l'effet de similarité phonologique est bien une conséquence de l'auto-répétition subvocale, consiste à bloquer le système de répétition subvocale : cette méthode se nomme la suppression articuloire. Le simple fait de répéter une syllabe « the » ou « ba » continuellement tout le long de la tâche permet de bloquer le processus d'auto-répétition subvocale car celui-ci partage des processus avec la production du langage. En bloquant le système de répétition subvocale, l'effet de similarité phonologique disparaît et les performances de rappel diminuent. L'effet de similarité phonologique disparaît car la suppression articuloire force les personnes à maintenir les items en utilisant des représentations non phonologiques telle que la représentation sémantique.

Un second effet très connu mettant en avant l'existence de l'auto-répétition subvocale est

---

14. Certains chercheurs supposent cependant que l'auto-répétition subvocale n'est peut être pas la cause de meilleures performances : *A more pertinent question, therefore, is whether rehearsal plays a causal role in mediating memory performance or whether it might be an epiphenomenon, whereby rehearsal is a consequence of a strong memory trace rather than its cause* (Lewandowsky & Oberauer, 2015, p. 675)

l'effet de longueur du mot. Les performances de rappel des mots dans une tâche d'empan simple diminuent à mesure que la longueur des mots augmente (Baddeley, Buchanan, & Thomson, 1975; Mueller, Seymour, Kieras, & Meyer, 2003). Plus un mot est long, plus le temps nécessaire pour répéter ce mot augmente. Ainsi, sur une durée de temps identique, les mots longs seront moins souvent répétés que les mots courts. La probabilité de rappeler les mots longs sera donc plus faible si l'on considère, comme dans le modèle de Baddeley (1986) que l'activation des traces mnésiques au sein de la boucle phonologique décline avec le temps. Baddeley et al. (1975) montrent également que l'effet de longueur de mot disparaît en ajoutant une suppression articulatoire confirmant bien que cet effet est dû à la boucle phonologique.

Ce mécanisme d'auto-répétition subvocale spécifique aux informations verbales est en accord avec une vision non unitaire de la MDT décrite par Baddeley. La fragmentation de la MDT en deux sous-systèmes (la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial) est surtout étayée par les études montrant que les items verbaux sont moins altérés par une double tâche impliquant des items dans le domaine visuospatial que des items appartenant au domaine verbal, et vice versa (Cocchini, Logie, Sala, MacPherson, & Baddeley, 2002; Shah & Miyake, 1996). Cependant, comme le soulignent Barrouillet et Camos (2015) dans leur livre, ces différentes études ainsi que l'existence d'un mécanisme de maintien spécifique au domaine verbal, n'impliquent pas nécessairement que tous les mécanismes en MDT soient fragmentés en deux systèmes, visuo-spatial et verbal, totalement indépendants et distincts l'un de l'autre. En effet, Barrouillet et Camos (2015) considèrent, en plus de la boucle phonologique, l'existence de ressources limitées communes aux deux domaines, verbal et visuospatial.

D'après le modèle TBRS, la ressource commune centrale dans la MDT est l'attention contrôlée et le mécanisme de maintien général de l'information utilisant cette ressource commune est le *refreshing* qui peut maintenir des représentations verbales et visuo-spatiales. L'existence d'un mécanisme de maintien, autre que l'auto-répétition subvocale, est suggéré depuis au moins une quarantaine d'années (Baddeley & Hitch, 1974). En effet, lors de l'ajout de la suppression articulatoire, les performances de rappel des mots ne sont pas catastrophiques. Si aucun autre mécanisme de maintien n'existait, alors les performances seraient proches de zéro.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

#### 1.3.2 Le rafraîchissement attentionnel : *refreshing* ou *attentional refreshing*

De nombreuses études ont montré une dissociation entre le *refreshing* et l'auto-répétition subvocale (études comportementales, Hudjetz & Oberauer, 2007 ; Camos, Mora, & Oberauer, 2011 ; Mora & Camos, 2013 ; études d'IRM fonctionnelles, Raye, Johnson, Mitchell, Reeder, & Greene, 2002 ; Johnson et al., 2005). Ces deux mécanismes sont décrits dans le modèle TBRS, basé sur l'hypothèse d'un déclin temporel des traces mnésiques en MDT (Barrouillet & Camos, 2015). En effet, le *refreshing*, tout comme l'auto-répétition subvocale, permet de maintenir les traces mnésiques dans un état suffisamment actif. D'après le modèle TBRS, plus l'activation d'une trace est faible plus la probabilité de récupérer l'item correspondant à cette trace diminue.

Récemment, de nombreuses études se sont intéressées à la spécificité de ce mécanisme de *refreshing* (Bayliss et al., 2015 ; Lemaire, Pageot, Plancher, & Portrat, 2017 ; Souza, Rerko, & Oberauer, 2015 ; Vergauwe, Camos, & Barrouillet, 2014 ; Vergauwe & Cowan, 2015 ; Vergauwe & Langerock, 2017). Très schématiquement, le *refreshing* est tout ce que l'auto-répétition subvocale n'est pas. Premièrement, le *refreshing* nécessite une attention contrôlée contrairement à l'auto-répétition subvocale qui requiert très peu d'attention (Camos & Barrouillet, 2014 ; Naveh-Benjamin & Jonides, 1984 ; Vergauwe et al., 2014). Deuxièmement, le *refreshing* est un mécanisme général permettant de maintenir des informations verbales et visuo-spatiales, contrairement à l'auto-répétition subvocale qui permet de maintenir uniquement les informations verbales sous forme phonologique. Troisièmement et dernièrement, le *refreshing* a un effet bénéfique à long terme, contrairement à l'auto-répétition subvocale (Johnson, Reeder, Raye, & Mitchell, 2002 ; Loaiza & McCabe, 2013 ; Camos & Portrat, 2015). Ces résultats sont en lien avec les études de Craik et Lockhart (1972) sur le niveau de traitement (*the level of processing effect*) : plus un item est encodé profondément (sémantiquement au lieu de phonologiquement), mieux il sera rappelé à long terme. Un encodage profond correspondrait ici à un encodage nécessitant une attention contrôlée en utilisant le sens du mot plutôt que ses caractéristiques phonologiques. Ces résultats sont également en accord avec le modèle de Cowan (1999) selon lequel la focalisation attentionnelle est un moyen de maintenir l'information en MDT et le garant d'une trace durable et stable dans le temps.

Ces trois points que nous venons de citer, distinguant le *refreshing* de l'auto-répétition sub-

vocale, sont décrits plus en détail ci-dessous. Puis nous présenterons le décours temporel du *refreshing* proposé dans la littérature. Enfin, nous évoquerons les différentes définitions du *refreshing* proposée très récemment lors du workshop mentionné précédemment.

**Existence d'un mécanisme de maintien basé sur l'attention** À travers quatre expériences, Camos, Lagner, et Barrouillet (2009) ont montré l'indépendance de ces deux mécanismes, auto-répétition subvocale et *refreshing*. Pour cela, ils ont manipulé orthogonalement les possibilités de *refreshing* et de l'auto-répétition subvocale. Comme nous l'avons vu précédemment, pour empêcher l'auto-répétition subvocale, il suffit de bloquer la boucle articulatoire en faisant répéter le son « ba » par exemple. Cependant, comment pouvons-nous bloquer le *refreshing*? Si celui-ci nécessite des ressources attentionnelles pour être mis en place (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2007), une façon de faire varier les possibilités de *refreshing* est de faire varier le coût cognitif (CC) de la tâche distractive dans une tâche d'empan complexe. Plus le CC imposé par la tâche est élevé, plus le *refreshing* est limité. Dans les quatre expériences, l'augmentation du CC de la tâche avait un effet délétère sur les performances de rappel indiquant de fait que le *refreshing* nécessite de l'attention. De même, l'ajout de la suppression articulatoire avait aussi un effet délétère sur les performances de rappel. Ces expériences ont également montré que l'auto-répétition subvocale et le *refreshing* opèrent indépendamment l'un de l'autre. En effet, aucune interaction n'a été observée entre le CC et la suppression articulatoire. L'utilisation de l'auto-répétition subvocale améliore les performances de manière identique que l'on soit à CC faible ou à CC élevé. Si les deux mécanismes étaient dépendants l'un de l'autre, on s'attendrait à ce que le bénéfice dû à un CC plus faible soit plus important lorsque l'auto-répétition subvocale est possible. En complément de ces résultats, des études ont permis de montrer que dans le maintien d'informations verbales, les participants pouvaient choisir et adapter l'utilisation des mécanismes de maintien (Camos et al., 2011; Mora & Camos, 2013). Par exemple, dans le cas où les mots présentés sont phonologiquement similaires, les participants peuvent adapter leur stratégie et préférer le *refreshing*, et donc probablement le maintien sémantique des mots. L'effet de similarité phonologique et l'effet de longueur de mot disparaissent lorsque les participants n'utilisent pas l'auto-répétition subvocale. Ces résultats confirment, d'une part, la présence de deux mécanismes de maintien différents et, d'autre part, le fait que le *refreshing* permet de maintenir des informations sous un format autre que le format phonologique.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

Comme nous venons de le voir, des études s'intéressent à l'impact du traitement sur le maintien afin de tester d'une part l'existence du *refreshing* et d'autre part d'en déduire ses caractéristiques. À l'inverse, l'effet du maintien sur le traitement peut également apporter des éléments de réponse sur l'existence et la nature du *refreshing*. Cette deuxième approche est complémentaire de la première : si le *refreshing* est un mécanisme attentionnel alors le fait de rafraîchir une information empêche, ou retarde, le traitement concurrent d'une autre information, étant donné que le traitement nécessite de l'attention. Vergauwe et al. (2014) ont testé cette hypothèse en utilisant le paradigme de Brown-Peterson au travers de sept expériences différentes. Dans le cas où l'on étudie l'effet du traitement sur les performances de maintien, la tâche utilisée de manière générale est la tâche d'empan complexe. Pour manipuler les possibilités de *refreshing*, le rythme de la tâche distractive est *computer-paced*, c'est-à-dire que c'est l'ordinateur (ou plus précisément l'expérimentateur, à travers l'ordinateur) qui fixe le rythme de la tâche. Au contraire, dans le cas inverse où l'on souhaite étudier l'impact du maintien sur le traitement, la tâche de traitement est alors *self-paced* et la variable dépendante est justement le temps de réaction à la tâche de traitement. Si le mécanisme permettant le maintien des informations est effectivement un mécanisme attentionnel tel que le *refreshing*, alors on s'attend à ce que l'augmentation du nombre d'items à maintenir augmente la demande attentionnelle liée au *refreshing* et ainsi retarde le temps de réaction à une tâche de traitement nécessitant également de l'attention. Dans les expériences de Vergauwe et al. (2014), la variable indépendante était donc le nombre d'items à maintenir et la variable dépendante était le temps de réaction moyen à la tâche distractive. Ce temps de réaction se découpait, selon les auteurs, en deux phases distinctes : (1) le temps de réaction au premier distracteur correspondrait au temps de consolidation à court terme et (2) les temps de réaction aux distracteurs subséquents correspondraient au temps nécessaire pour le *refreshing* des items à mémoriser. Dans la suite, je présenterai uniquement les résultats des temps de réaction aux distracteurs subséquents car nous nous intéressons ici au *refreshing*. Nous reviendrons sur les résultats concernant les temps de réaction au premier distracteur quand nous définirons le mécanisme de consolidation à court terme.

Leurs trois premières expériences ont montré que le nombre de mémoranda retardait effectivement le traitement des distracteurs subséquents (voir figure 1.11). Ces résultats sont donc consistant avec l'idée que le *refreshing* entre chaque distracteur nécessite de l'attention. Dans les expériences 4 et 5 les auteurs ont utilisé du matériel verbal à mémoriser sans bloquer la boucle



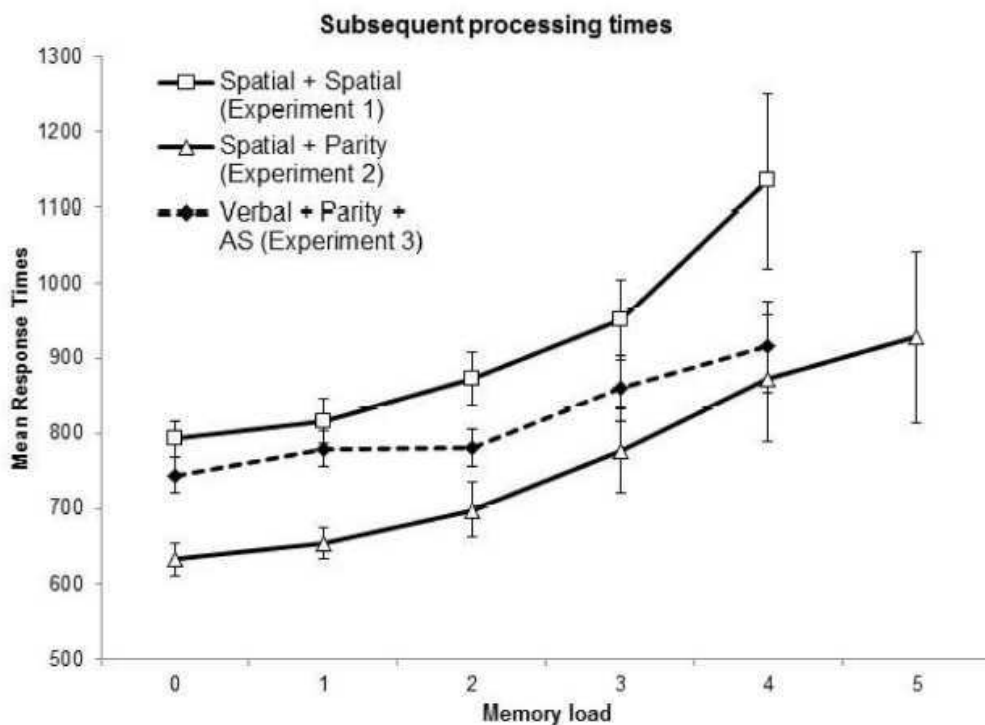


FIGURE 1.11 – Temps de traitement subséquent en ms en fonction du nombre de mémoranda pour les trois premières expériences de l'article de Vergauwe et al. (2014).

phonologique (voir figure 1.12). Les résultats ont montré que le nombre de mémoranda pour ces deux expériences ne retardait pas le traitement des distracteurs subséquents, ce qui est en accord avec l'hypothèse que l'auto-répétition subvocale, contrairement au *refreshing*, ne nécessite quasiment pas d'attention. Pour finir, les expériences 6 et 7 ont testé ce protocole en utilisant des items *non refreshable*, c'est-à-dire qui ne peuvent pas être rafraîchis par le *refreshing*. En effet, Ricker et Cowan (2010) ont montré que certaines informations comme des caractères visuels inconnus était perdus au bout de quelques secondes même si l'attention était disponible. Vergauwe et al. (2014) ont donc réutilisé ces caractères *non refreshable* et ils ont constaté que le traitement des distracteurs subséquents n'était pas retardé par l'augmentation du nombre d'items à mémoriser.

En résumé, le *refreshing* nécessite de l'attention. Ce mécanisme permet de maintenir la plupart des informations verbales et visuo-spatiales, bien que certaines informations peu familières ne puissent cependant pas être rafraîchies par ce mécanisme (Ricker & Cowan, 2010). Cette

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

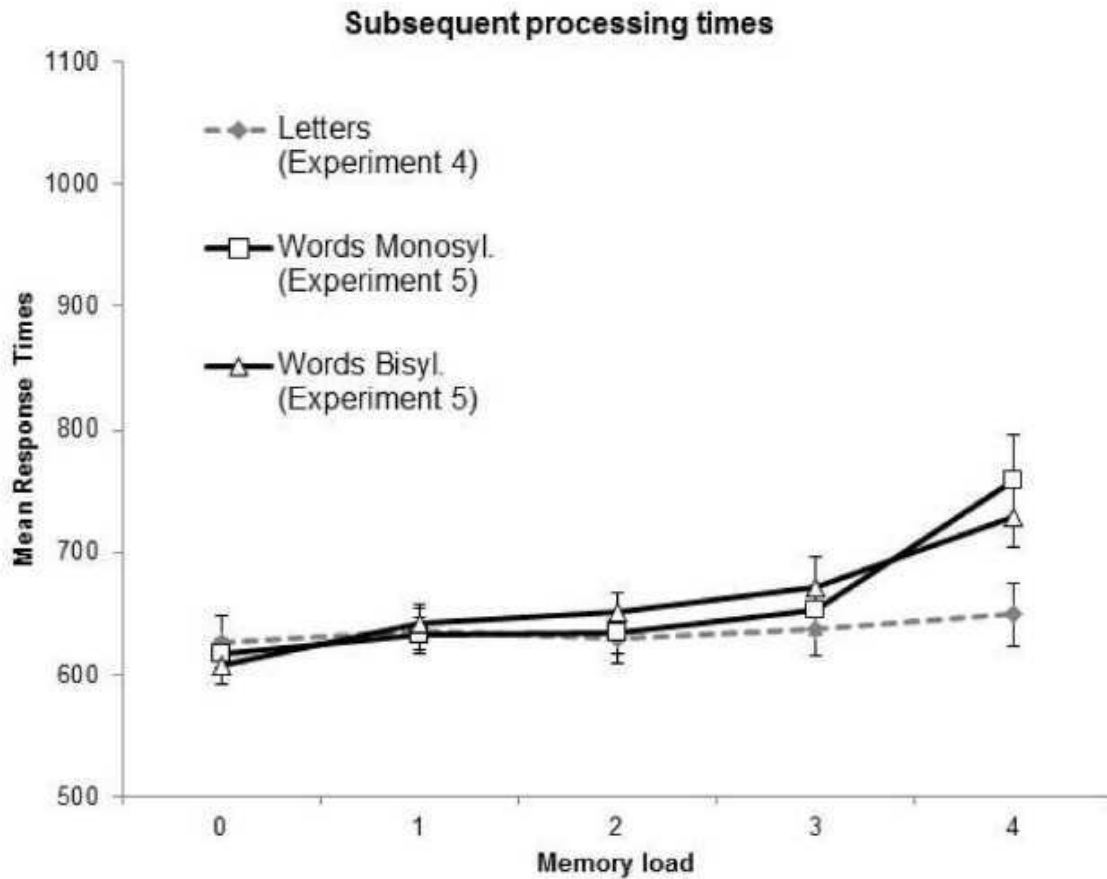


FIGURE 1.12 – Temps de traitement subséquent en ms en fonction du nombre de mémoranda : lettres (expérience 4), mots monosyllabiques ou bisyllabiques (expérience 5). Figure reprise de Vergauwe et al. (2014).

étude a également montré que le mécanisme de *refreshing* basé sur l'attention n'est pas spécifique à un domaine. En effet, le *refreshing* permet de maintenir des items verbaux, tels que les lettres ou les mots, et des items visuels tels que la position de carrés noirs sur un ensemble de carrés blancs.

**Un mécanisme de maintien généralisé au domaine verbal et visuo-spatial** Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, le *refreshing* permet de maintenir des informations verbales et également visuo-spatiales contrairement à l'auto-répétition subvocale qui permet de maintenir uniquement les informations phonologiques. Plusieurs études, basées sur le modèle

TBRS (décrit plus en détail dans le chapitre suivant) ont permis de valider l'hypothèse selon laquelle le *refreshing* est un mécanisme de maintien général. Par exemple, Vergauwe et al. (2010) ont montré que le maintien d'informations verbales et visuelles était altéré lorsque le CC d'une tâche de traitement augmentait, peu importe la nature des informations de la tâche de traitement. Dans le cas où les informations à maintenir sont verbales et que les informations à traiter sont visuelles, l'effet du CC est observé. De même, cet effet du CC est à nouveau observé lorsque, inversement, les items à maintenir sont des informations visuelles et les distracteurs à traiter sont des informations verbales. L'effet du CC sur les performances de rappel, malgré une hétérogénéité des domaines entre les items et les distracteurs, indique qu'une *interférence* générale<sup>15</sup>, non spécifique au domaine, agit sur le déclin des performances. Un CC élevé réduit la possibilité de rafraîchir les informations à maintenir et par conséquent les performances diminuent par rapport à un CC plus faible. De manière intéressante, dans le domaine visuo-spatial, la nature de la tâche distractive n'impacte pas l'effet du CC. Au contraire, dans le domaine verbal, la nature de la tâche a un effet : les performances de rappel diminuent lorsque le traitement est également verbal comparativement à un traitement relevant du domaine visuo-spatial. Ces résultats suggèrent qu'un mécanisme spécifique existe dans le domaine verbal (l'auto-répétition subvocale) alors qu'il ne semble pas y avoir de mécanisme spécifique au domaine visuo-spatial (contrairement à ce que propose le modèle à composantes multiples de Baddeley (1986)).

**Impact du *refreshing* sur la mémorisation en MLT** Plusieurs études se sont intéressées au transfert d'informations entre la MDT et la MLT. Que l'on considère que la MDT soit distincte de la MLT (p.ex., modèle de Baddeley, ou le récent modèle TBRS de Barrouillet & Camos, 2015) ou que la MDT soit la partie activée de la MLT (p.ex. modèle de Cowan, 1999 ; le modèle de McCabe, 2008 ; le modèle ACT-R de Anderson et al., 1996), la question de l'impact des mécanismes de maintien en MDT sur la mémorisation à long terme se pose. Les études de Loaiza et McCabe (2012, 2013) ainsi que celles de Camos et Portrat (2015) ont montré que l'auto-répétition subvocale n'avait pas d'impact sur les performances de mémorisation à long terme, contrairement au *refreshing*. Dans ces études, les performances de rappel à long terme étaient meilleures lorsque les items avaient bénéficié d'opportunités de *refreshing* plus importantes lors de la tâche d'empan complexe. Nous reviendrons plus en détail sur cette expérience dans le

---

15. Cette interférence fait référence à l'interférence *process-based* présentée précédemment.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

chapitre 2 de cette thèse lorsque nous aborderons la nouvelle version du modèle TBRS.

De plus, les études menées par Johnson et al. (2002) montrent qu'un bénéfice sur la mémorisation à long terme est observé lorsque les informations sont rafraîchies plutôt que répétées. Pour montrer cela, le paradigme est simple. Une liste de mots est présentée aux participants et ces mots doivent être lus. Certains mots sont suivis du même mot (condition de répétition), d'autres sont suivis d'un point indiquant au participant de repenser au mot précédent (condition de *refreshing*) et les mots restants ne sont ni répétés, ni rafraîchis. Le pourcentage de mots correctement reconnus dans une phase de test retardée de cinq minutes est supérieur lorsque les items sont rafraîchis plutôt que répétés. Dans le modèle MEM de Johnson (1992), le *refreshing* est un mécanisme élémentaire intervenant juste après la présentation d'un stimuli une fois que celui-ci n'est plus présent dans l'environnement. Nous verrons par la suite que cette définition diffère de celle donnée par le modèle TBRS.

En résumé, le *refreshing* semble nécessiter de l'attention, agir sur les informations verbales et visuo-spatiales et agir sur les performances à long terme. Qu'en est-il du décours temporel de ce mécanisme ?

**Décours temporel du *refreshing*** Dans l'étude de Vergauwe et al. (2014), et par conséquent dans le modèle TBRS sur lequel les auteurs se sont basés dans cette étude, les auteurs supposent que le *refreshing* est cyclique comme l'auto-répétition subvocale<sup>16</sup>. Les items seraient alors rafraîchis les uns après les autres, à une certaine vitesse, dans l'ordre et en boucle, tant que l'attention est disponible. En se basant sur cette hypothèse, Vergauwe et al. (2014) ont estimé le *refreshing* à environ 50 ms par item, qui se trouve être bien plus rapide que l'auto-répétition subvocale estimée à 150-200 ms par item (Landauer, 1962). La vitesse du *refreshing* a été obtenue en calculant, pour chaque participant, la pente de la fonction reliant le temps de réponse aux traitements avec le nombre d'items à mémoriser. Plus le nombre d'items à mémoriser augmente, plus le temps de *refreshing* de tous les items est long, retardant ainsi le temps de réponse de chaque traitement.

Cependant, Lemaire et al. (2017) soulignent le fait que nous n'avons pas de preuves, à ce

---

16. Il semblerait que l'auto-répétition subvocale soit en effet cyclique (Tan & Ward, 2008). C'est-à-dire que lorsqu'un participant met en place l'auto-répétition subvocale, les items sont récapitulés dans l'ordre d'apparition en boucle, si la pression temporelle n'est pas trop élevée. Par exemple, lorsque nous devons mémoriser une liste de courses par cœur, pour l'utiliser dans la minute, nous le répétons en boucle dans l'ordre séquentiel mentalement.

jour, pour déterminer le décours temporel du *refreshing* utilisé par les participants. En effet, il n’y a pas de preuve directe en faveur d’un mécanisme de *refreshing* cumulatif. Dans leur étude, les auteurs proposent différentes possibilités concernant le décours temporel du *refreshing* au sein du modèle computationnel TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011). Une première possibilité s’appuie sur le modèle de Cowan (1999) qui suppose que le focus attentionnel a une capacité pouvant aller jusqu’à quatre éléments. Les sujets pourraient rafraîchir jusqu’à quatre items en même temps. La force de réactivation reste constante quelque soit le nombre d’items à rafraîchir. Si quatre items doivent être rafraîchis, alors cette force est distribuée sur les quatre items. Une deuxième possibilité est un *refreshing* non-cumulatif où le *refreshing* se fait toujours en priorité sur l’item le moins activé. Cette étude a montré que le modèle utilisant le *refreshing* non cumulatif était le meilleur modèle pour rendre compte des données comportementales publiées précédemment (Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011 ; Barrouillet, Portrat, Vergauwe, Diependaele, & Camos, 2011). Dans le chapitre suivant, nous décrirons en détail le modèle computationnel TBRS\*. Par la même occasion, nous présenterons une des méthodes de *refreshing* implémenté par Lemaire et al. (2017) que nous utiliserons lors de certaines simulations.

**Les définitions actuelles du *refreshing*** Jusqu’à maintenant, le *refreshing* a principalement été discuté selon le point de vue du modèle TBRS de Barrouillet et al. (2004). Mais le terme *refreshing* est utilisé par d’autres auteurs (Johnson, 1992 ; Souza et al., 2015) et, bien que très similaire ou assimilé, il n’est pas évident que leurs définitions soient identiques. Afin d’avoir une vision globale des différentes définitions existantes à ce jour, la vision de six auteurs participants au workshop (« *The crossroads of Attention in Working Memory : Consolidation, Refreshing & Removal* », 29 juin - 2 juillet 2017, Ovronnaz, Suisse) est présentée ci-dessous.

Pour commencer, Valérie Camos, qui a largement contribué au développement du modèle TBRS, définit le *refreshing* comme étant : *a domain-general maintenance mechanism relying on attention to keep mental representations active, i.e., in working memory*. Cette définition correspond à celle décrite précédemment. De plus, elle ajoute que le *refreshing* se fait de manière séquentielle, item par item, et que c’est justement le *refreshing* qui permettrait de maintenir l’ordre dans une série à mémoriser. Le *refreshing* a un impact à long terme, mais une question reste ouverte : en quoi consiste exactement le *refreshing* ? Dans la version récente du modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2015), le *refreshing* correspond à une reconstruction basée sur les

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

connaissances en MLT, alors qu'une version plus récente, non publiée et en cours d'avancement, fait l'hypothèse que le *refreshing* est l'équivalent du *mental search*, ou du *scanning*, décrit par Vergauwe et Cowan (2015). En effet, Vergauwe et Cowan (2015) montrent que le *refreshing* est similaire au *memory (mental) search*. Pour cela, une tâche d'empan complexe est utilisée dans laquelle les participants doivent mémoriser une liste de lettres. Entre chaque lettre à mémoriser (en rouge), quatre lettres noires sont présentées à l'écran. Quatre conditions sont possibles : soit le participant doit ignorer les lettres noires (CC nul), soit le participant doit décider si chaque lettre noire est en haut ou en bas de l'écran (CC faible), soit le participant doit décider si chaque lettre noire est avant ou après la lettre « O » (CC élevé), soit le participant doit décider si chaque lettre appartient à la liste de lettres rouges à mémoriser (CC élevé). D'après le modèle TBRS, les performances diminuent à mesure que le CC augmente. Cependant, dans le cas de la dernière consigne (*memory search* condition), les sujets doivent chercher au sein de leur MDT afin de décider si la lettre à l'écran est présente dans la liste à mémoriser. Une partie du temps de traitement est donc utilisé pour scanner, ou réactiver, les items en MDT. Les résultats ont montré que, contrairement à la prédiction pure du CC, les performances dans la condition de *memory search* (CC élevé) était équivalentes à celles dans la condition de localisation de la lettre (CC faible). Bien que la condition *memory search* libère moins de temps libre que la condition de localisation de lettre, les performances étaient équivalentes dans ces deux conditions. Ces résultats indiquent que le *refreshing* repose donc sur le même mécanisme que le *memory search*.

Evie Vergauwe considère que le *refreshing* permet de « booster » l'activation des représentations en MDT à travers le focus attentionnel. Elle se base sur le modèle concentrique d'Oberauer (2002) pour expliquer le *refreshing*. Ce modèle considère que la MDT est la partie très activée de la MLT et cette zone très activée a une capacité de quatre items. Les représentations présentes en MDT sont directement accessibles. Elles peuvent donc directement entrer dans le focus attentionnel qui est, selon ce modèle, limité à un seul item à la fois. Selon Vergauwe, le *refreshing* est le fait de placer le focus attentionnel sur un item présent en MDT afin de le garder actif en MDT. Le *refreshing* se fait séquentiellement, un par un. Le *refreshing* pourrait être le mécanisme élémentaire permettant simplement de réactiver la représentation sans la transformer et/ou la reconstruire. D'autres processus, nécessitant de l'attention, pourrait ensuite modifier cette représentation en la modifiant, l'enrichissant ou la reliant à d'autres représentations.

Selon Sophie Portrat, le *refreshing* agirait sur une trace mnésique spécifique qui augmenterait

(1) l'activation spécifique de cette trace, (2) l'activation du lien reliant cette trace à sa position lors de l'encodage et (3) son lien avec l'item précédent et suivant dans la liste. Nous verrons par la suite, lorsque l'on décrira le modèle computationnel TBRS\* sur lequel porte cette thèse, comment, du point de vue de l'implémentation, le *refreshing* agit sur le maintien en MDT. Sophie Portrat s'appuie sur les travaux de Lemaire et al. (2017), exposés précédemment (voir aussi Portrat & Lemaire, 2015), remettant en question l'idée d'un *refreshing* séquentiel proposé par Camos et Vergauwe.

Alessandra Souza définit le *refreshing* comme suit : *The act of turning one's focus of attention to a representation in working memory, thereby augmenting its accessibility* (Souza et al., 2015, p. 20). Le *refreshing* consiste donc à diriger le focus attentionnel sur une information présente en MDT afin de rendre sa trace plus accessible. Le *refreshing* peut intervenir à n'importe quel moment (juste après l'encodage d'un item ou après la présentation d'un distracteur), dès lors que l'attention est libre. De plus, elle indique que le *refreshing* est neutre vis à vis des causes de l'oubli. Ce mécanisme interviendrait, qu'il y ait du déclin temporel ou non. Ensuite, Souza suppose que les traces réactivées via le *refreshing* sont les liens créés entre un item et son contexte. Dans les tâches utilisées par Alexandra Souza, les items correspondent à des couleurs et les contextes correspondent à des emplacements sur un cercle. Enfin, d'après Souza, le *refreshing* ne devrait pas dépendre de la MLT, sinon ce mécanisme serait difficile à distinguer d'autres mécanismes tels que l'élaboration qui consiste à utiliser des stratégies basées sur les représentations en MLT.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

Matthew R. Johnson définit le *refreshing* comme suit : *the act of thinking of, or foregrounding, a representation of a thought or percept which was activated just a moment earlier and has not yet become inactive* (Johnson & Johnson, 2009). Le *refreshing* agit sur les représentations internes de la même manière que l'attention perceptive peut agir sur une scène visuelle composée d'objets. Tout ce qui peut être représenté intérieurement peut donc potentiellement être rafraîchi. Ces représentations, selon lui, peuvent être complexes et composées d'une partie visuelle, verbale (phonologique et sémantique), émotionnelle, auditive, etc. Tous les processus, dont le *refreshing*, selon le modèle MEM (Johnson, 1992), dépendent de la mémoire à long terme. Il semble qu'il ne fasse pas de distinction entre MLT et MDT. Il suggère cependant que le *refreshing* agit sur une représentation qui n'est pas encore inactive. Johnson précise que le *refreshing*, bien que fortement lié à la MLT, peut également opérer sur une représentation formée récemment, n'existant pas encore en MLT.

Pour finir, Vanessa Loaiza définit le *refreshing* comme suit : (1) le fait de diriger son attention sur des représentations présentes en MDT, mais qui ne sont plus physiquement présentes dans l'environnement (2) le *refreshing* permet de renforcer les représentations en MDT les rendant plus accessibles et (3) de même que l'auto-répétition subvocale est équivalente à une parole intérieure, le *refreshing* peut être vu comme une perception intérieure. De plus, Vanessa Loaiza suggère que le *refreshing* agit uniquement sur les traces présentes en MDT de manière directe, sans l'utilisation d'un contexte. Par opposition au *refreshing*, elle décrit en parallèle le mécanisme de *covert retrieval* qui agirait sur les traces activées de la MLT et qui nécessiterait un contexte pour la récupération. Nous définirons le *covert retrieval* dans la section suivante ainsi que le modèle qui le sous-tend (McCabe, 2008).

En conclusion, nous pouvons constater que l'étude des caractéristiques du *refreshing* est d'actualité dans le domaine de la MDT. Les auteurs semblent s'accorder sur plusieurs points. Le *refreshing* est basé sur l'attention centrale, il n'est pas spécifique à une modalité et il a un impact sur la MLT. Des questions restent cependant ouvertes telles que : la MLT joue-t-elle un rôle sur le *refreshing*? Quel est le décours temporel du *refreshing*? Le *refreshing* agit-il sur une seule trace à la fois ou peut-il rafraîchir jusqu'à quatre traces en parallèle? Nous allons maintenant décrire le *covert retrieval* qui, selon la présentation de Loaiza, diffère du *refreshing* tel qu'elle le présente.



### 1.3.3 La récupération silencieuse : *covert retrieval*

Le mécanisme de *covert retrieval* est décrit par McCabe (2008) à travers son modèle qui s'inspire grandement du modèle de Cowan (1999). D'une part, McCabe (2008) considère que la MDT est la partie activée de la MLT. D'autre part, le focus attentionnel est limité à quatre items. Les informations au sein du focus attentionnel peuvent être déplacés en MLT pour deux raisons : (1) soit le nombre d'items à mémoriser est supérieur à quatre (2) soit une tâche de traitement occupe le focus attentionnel. Par exemple, si la liste d'items à mémoriser dans une tâche d'empan simple est de quatre items ou moins, ceux-ci peuvent être directement récupérés depuis le focus attentionnel. La récupération en MLT n'est alors pas nécessaire. Au contraire, si la liste à mémoriser est supérieure à quatre items alors certains items passent en MLT. Ou encore, si, comme dans une tâche d'empan complexe, des distracteurs doivent être traités, alors les items à mémoriser sont déplacés en MLT (p.ex. Loaiza, McCabe, Youngblood, Rose, & Myerson, 2011). Ou plutôt, le focus attentionnel est déplacé vers les distracteurs à traiter laissant les items à mémoriser en dehors du focus attentionnel et donc en MLT<sup>17</sup>.

Pour être maintenus, les items déplacés en MLT sont ramenés au sein du focus attentionnel. Le fait de récupérer un item en MLT et de le ramener au sein du focus attentionnel est le mécanisme qu'ils nomment *covert retrieval*. Cette action de récupération nécessite l'utilisation d'indices contextuels (p.ex. Nairne, 1990) et intervient pendant les phases où l'attention est libre. D'après McCabe (2008), chaque récupération d'un item depuis la MLT vers le focus attentionnel va créer de nouveaux liens entre l'item et le contexte. Plus le nombre de liens entre l'item et le contexte sont créés, plus le rappel en mémoire épisodique est facilité. En conséquence, chaque *covert retrieval* augmentera les performances de rappel à long terme. Dans une tâche d'empan complexe, le nombre de *covert retrieval* est plus important que dans une tâche d'empan simple. Le modèle de McCabe suppose donc que les performances en rappel différé (correspondant aux performances à long terme) seront meilleures si les items ont été mémorisés au sein d'une tâche d'empan complexe plutôt que dans une tâche d'empan simple. Au contraire, lors d'un rappel immédiat, l'effet inverse est attendu avec des performances de mémorisation plus élevées dans

---

17. Cette vision est également soutenue par Unsworth et Engle (2007). En effet, selon eux, la capacité de rappel dans une tâche de MDT (la tâche d'empan complexe) dépend principalement de deux fonctions : (1) le maintien actif en mémoire primaire et (2) la récupération des informations pertinentes, à l'aide du contexte, en mémoire secondaire. La principale différence avec le modèle de McCabe est le vocabulaire. En effet, Unsworth et Engle (2007) reprennent les termes utilisés par James (1980) : mémoire primaire pour la MDT (ou plutôt pour le focus attentionnel) et mémoire secondaire pour la MLT.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

une tâche d'empan simple que dans une tâche d'empan complexe.

Cette hypothèse a été testée plusieurs fois (McCabe, 2008 ; Loaiza et al., 2011 ; Loaiza & McCabe, 2012, 2013) en utilisant un rappel différé à la suite de plusieurs essais composés de tâches d'empan simples et de tâches d'empan complexes. Les performances en rappel immédiat sont, comme attendu, meilleures dans les tâches d'empan simples que dans les tâches d'empan complexes. En effet, les distracteurs viennent perturber (par le déclin, les interférences ou les deux) le maintien en MDT. Par ailleurs, comme prédit par le modèle de McCabe (2008), les mots appris dans une tâche d'empan complexe sont mieux rappelés à long terme que ceux appris dans une tâche d'empan simple. En effet, la présence des distracteurs impose l'utilisation du *covert retrieval* pour ramener les items en MDT. Cet effet, que l'on nommera *effet McCabe*, est en faveur d'un mécanisme, le *covert retrieval*, créant des liens entre les items et leur contextes, facilitant la récupération à long terme.

Au départ, McCabe (2008) insistait sur le fait que ce mécanisme de *covert rehearsal* permettant de remettre les items à maintenir au sein du focus attentionnel, peut prendre la forme des mécanismes de maintien existant tel que le *refreshing* ou l'auto-répétition subvocale : *This covert rehearsal can take the form of subvocal rehearsal (Baddeley, 1986), a simple mental search (Cowan, 1992), or a 'refreshing' process (Barrouillet et al., 2004).* (McCabe, 2008, p. 482). Mais, peu importe la nature du mécanisme de maintien, le point le plus important était que des portions de temps libre durant la phase de traitement d'une tâche d'empan complexe sont utilisées pour récupérer les items à mémoriser. À ce jour, des études ont montré que l'auto-répétition subvocale n'avait pas d'effet à long terme (Camos & Portrat, 2015 ; Loaiza & McCabe, 2013). De plus, si l'on reprend la description du *refreshing* de Loaiza décrite précédemment lors du Workshop (2017, Ovronnaz, Suisse), le *refreshing* est différent du *covert retrieval* car ce premier agirait directement sur les traces présentes en MDT ou au sein du focus attentionnel<sup>18</sup>. Le *covert retrieval* semble donc être un mécanisme différent du *refreshing* et de l'auto-répétition subvocale, car il agirait, à l'aide d'un contexte, sur des présentations moins actives et qui ne sont plus directement accessibles. La figure 1.13 illustre la différence de ces deux mécanismes selon Loaiza.

---

18. le terme dépend du modèle utilisé : dans le modèle d'Oberauer (2002) le terme « MDT » représente la même chose que le terme « focus attentionnel » du modèle de Cowan

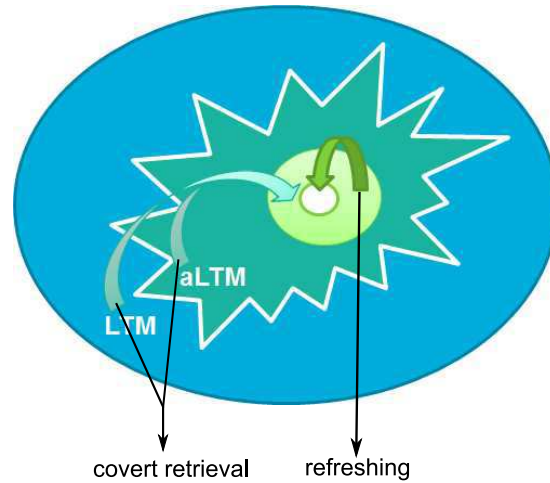


FIGURE 1.13 – Représentation des mécanismes de *covert retrieval* et de *refreshing*. Figure reprise depuis la présentation de Loaiza (2017, Ovronnaz, Suisse).

### 1.3.4 La consolidation à court terme : *short-term consolidation*

La consolidation à court terme représente le mécanisme permettant de transformer une entrée sensorielle fragile et transitoire en une représentation en mémoire plus durable (Bayliss et al., 2015; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Ricker, 2015). Tout comme le *refreshing*, ce mécanisme nécessite une attention contrôlée. D'après Ricker (2015), la consolidation à court terme et l'encodage sont deux mécanismes distincts intervenant juste après la présentation de l'item à maintenir. En référence au modèle de Atkinson et Shiffrin (1971), on peut considérer que l'encodage permet de faire entrer une information extérieure dans le stockage sensoriel où la trace est extrêmement fragile. Au contraire, la consolidation est le processus qui permet de solidifier cette représentation issue des registres sensoriels dans le stockage à court terme. Cette consolidation aurait pour effet d'amoindrir l'effet de l'oubli dû au déclin et/ou aux interférences (Ricker & Cowan, 2014). Contrairement à l'encodage qui a besoin d'une entrée sensorielle, la consolidation peut continuer après l'apparition d'un masque.

Ricker (2015) fait l'hypothèse que, une fois l'item encodé, la consolidation qui suit immédiatement l'encodage ne dure pas au-delà d'une ou deux secondes. Le mécanisme de consolidation à court terme ne renforcerait donc plus les traces mnésiques après deux secondes. Or, lorsque l'on ajoute plus de deux secondes après l'apparition d'un item les performances de mémoire de travail peuvent encore s'améliorer (De Schrijver & Barrouillet, 2017). Cela serait dû, non pas

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

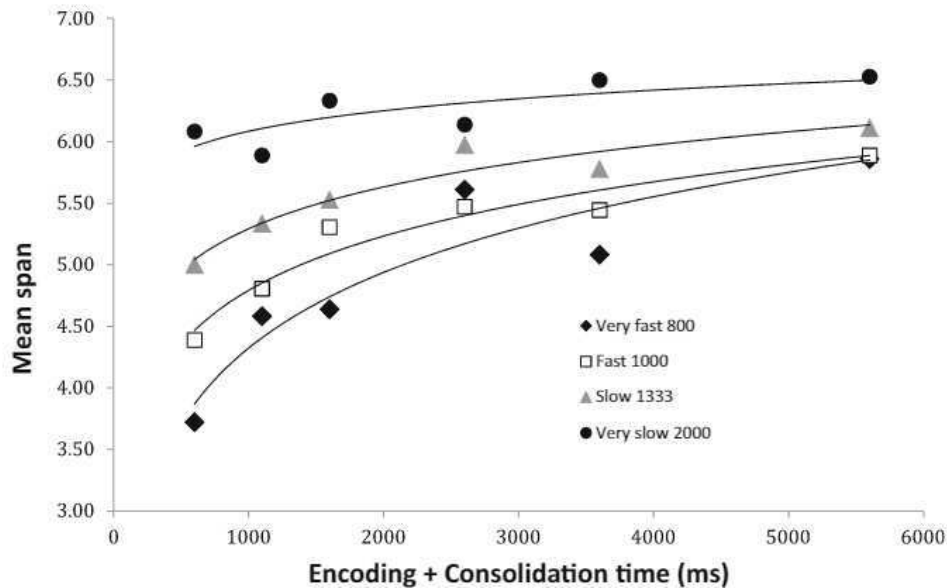


FIGURE 1.14 – Résultats obtenus par De Schrijver et Barrouillet (2017). Empan moyen de lettres en fonction du CC de la tâche de traitement (juger de la parité de quatre chiffres) et du temps disponible pour encoder et pour consolider les traces mnésiques.

à la consolidation (comme celle-ci est défini par Ricker notamment), mais à d'autres stratégies utilisant la MLT, tel que l'*elaborative encoding* par exemple ( Craik & Lockhart, 1972). Cependant, comment savoir si le temps libre est utilisé pour consolider ou pour mettre en place une stratégie d'élaboration ? La question reste ouverte.

Est-ce que ce mécanisme de consolidation à court terme se distingue des mécanismes de maintien tel que le *refreshing* ? L'étude de Bayliss et al. (2015), semble apporter une réponse affirmative à cette question. À travers une tâche d'empan complexe, les auteurs montrent que les performances sont meilleures lorsque le délai suit immédiatement l'item, que lorsque le même délai temporel intervient à la fin de la tâche distractive juste avant l'apparition du prochain item. Leur hypothèse est que le temps intervenant immédiatement après l'item est utilisé pour consolider l'item et ainsi améliorer nettement les performances. Au contraire, le temps suivant un distracteur est utilisé pour rafraîchir la trace mnésique déjà existante.

Récemment, De Schrijver et Barrouillet (2017) supposent, au contraire, que le *refreshing* et la consolidation semblent dépendre de mécanismes communs. Ils supposent que plus le temps de consolidation est long, plus les traces mnésiques sont stabilisées, et donc moins celles-ci seront

affectées par la variation du CC. Pour tester cette hypothèse, les auteurs ont repris la méthode expérimentale de l'expérience 2 et 3 de Bayliss et al. (2015). Cependant, le délai succédant la tâche secondaire est maintenu constant et égal à zéro afin de garder le CC de la tâche secondaire constant. De plus, ils ont ajouté un masque après la présentation (pendant 500 ms) de chaque item à mémoriser. Les résultats montrent une interaction entre le temps de consolidation et le CC de la tâche secondaire, confirmant l'idée que ces deux fonctions, consolidation et restauration, semblent très reliées (voir figure 1.14). Pierre Barrouillet a participé au workshop (2017, Ovronnaz, Suisse) et il semble suggérer à la fin de sa présentation que l'effet de la consolidation pourrait être équivalent à l'effet du *refreshing*. Mais la question reste ouverte.

La consolidation à court terme, le *refreshing*, l'auto-répétition subvocale ou encore le *covert retrieval*, sont des mécanismes permettant de renforcer l'activation des traces mnésiques. Ces mécanismes sont souvent décrits dans des modèles considérant que l'oubli est dû au déclin temporel. Nous allons clôturer cette section *Maintien* avec un mécanisme de restauration qui est indispensable dans les modèles où le déclin temporel n'existe pas : le *removal*.

### **1.3.5 La suppression : *removal***

Le mécanisme de *removal* permet de libérer de la place en MDT en effaçant les informations non pertinentes. En effet, la MDT ayant une capacité limitée, un mécanisme de nettoyage semble nécessaire. Certains modèles considèrent simplement que toutes les informations, pertinentes ou pas, présentes en MDT déclinent passivement avec le temps. Cependant, nous avons vu dans la section précédente concernant l'oubli que d'autres modèles supposent que le déclin temporel passif n'existe pas et que l'oubli est dû aux interférences entre les informations. Dans ce cas, un mécanisme de *removal* est nécessaire et permet de réduire les interférences entre les informations en MDT en enlevant celles qui ne sont plus utiles à la tâche en cours.

Selon SOB-CS, le *removal* permet spécifiquement de restaurer un état antérieur ayant été affecté par l'encodage et le traitement des distracteurs. Ce mécanisme de *removal* est donc vu comme un mécanisme de maintien car il permet de garder en mémoire les informations pertinentes, en effaçant les informations non-pertinentes. Il s'oppose au mécanisme de *refreshing* qui suppose que, pour maintenir des informations en MDT, notre attention va être portée sur les informations à maintenir, et non pas sur les informations à supprimer. Le mécanisme de *removal* se distingue donc à la fois du déclin temporel passif (Dagry, Vergauwe, & Barrouillet, 2017 ;

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

Farrell et al., 2016) et du mécanisme de *refreshing* des informations pertinentes (Souza, Rerko, & Oberauer, 2014).

Selon le modèle SOB-CS de Oberauer, Lewandowsky, et al. (2012), le *removal* consiste à supprimer le lien existant entre un distracteur et sa position d'encodage. D'après ce modèle, ce mécanisme prend du temps et de l'attention, de même que l'encodage ou le *refreshing* d'un item. Ainsi, après le traitement de chaque distracteur, le temps libre disponible dans une tâche d'empan complexe est utilisé pour réduire, voir supprimer en totalité, le lien qui vient d'être créé. L'idée que le *removal* prend du temps pour être accompli est confortée par un ensemble d'études expérimentales (Oberauer, 2001, 2002 ; Souza et al., 2014). Par exemple, d'après les études de Oberauer (2001, 2002), le temps nécessaire au *removal* d'un item en MDT serait d'environ une à deux secondes. L'encart 1.2 (page 67) décrit le protocole expérimental utilisé permettant d'estimer ce temps de *removal*.

D'après Klaus Oberauer, lors du workshop (2017, Ovronnaz, Suisse), les travaux de Ecker, Oberauer, et Lewandowsky (2014) sont présentés comme étant une preuve forte en faveur d'un mécanisme de *removal*. Dans cette étude, les auteurs supposent que le *removal* est nécessaire pour mettre à jour les informations en MDT. Le processus de mise à jour nécessiterait le *removal* de l'information à remplacer avant d'encoder la nouvelle information. Dans leur étude, le schéma de l'expérience est de présenter une liste de trois lettres, puis de signaler quelle lettre parmi ces trois lettres va être mise à jour et enfin la nouvelle lettre est présentée. Le participant devait encoder la nouvelle lettre et appuyer sur la barre d'espace une fois qu'il avait mis à jour le contenu de sa MDT. Le temps de réaction est la variable dépendante d'intérêt. Dans leur première expérience, deux variables indépendantes sont manipulées : (1) l'intervalle de temps entre le signal et la nouvelle lettre est court (200 ms) ou long (1500 ms) et (2) la nouvelle lettre à mettre à jour est soit répétée, soit différente. Les résultats ont montré un gain sur le temps de réaction lorsque l'intervalle était plus long. Ce gain peut être expliqué par un *removal* de la lettre à remplacer pendant l'intervalle. De plus, un résultat unique au *removal* est l'effet d'interaction entre le taux de répétition et la durée de l'intervalle. En effet, lorsque l'intervalle est court, on s'attend à observer un gain du temps de réaction lorsque la lettre à encoder est répétée, celle-ci étant déjà encodée. Au contraire, lorsque l'intervalle est long, la nouvelle lettre doit être encodée, que la lettre soit répétée ou pas, car l'ancienne lettre a justement été effacée. Une deuxième expérience, faisant varier cette fois la similarité au lieu de la répétition, a répliqué ces résultats,

fortement en accord avec l'existence d'un mécanisme de *removal*.

Pour conclure, il nous semble que le *removal* peut être vu comme le revers du *refreshing* : dans le premier cas, l'attention est portée sur les informations non-pertinentes alors que dans le deuxième cas, l'attention est portée sur les informations pertinentes. Faisons une analogie et imaginons une balance à deux plateaux. Nous avons deux items A et B en MDT, chaque item a autant d'importance. La balance est donc à l'équilibre, l'item A étant sur un plateau et l'item B étant sur le deuxième plateau. Maintenant, nous souhaitons donner plus d'importance à l'item A. Deux possibilités s'offrent à nous : soit on rajoute du poids sur le plateau contenant l'item A, soit on enlève du poids à l'item B du plateau (voire on enlève B en totalité). Dans le premier cas, l'item B est toujours en MDT, inchangé, mais il a moins de poids que l'item A. Dans le deuxième cas, l'item B est enlevé de la MDT et c'est cela qui donne plus de poids à l'item A, de manière relative. Cette analogie permet de visualiser une idée qui pourrait être similaire aux théories considérant que la limitation de la MDT est dû à une ressource en énergie limitée<sup>19</sup> (Ma et al., 2014). En effet, lorsque l'on met du poids sur l'item A (équivalent au *refreshing* ou à « porter son attention sur l'item A »), l'item B va également bouger, et s'élever au dessus de son point de départ, comme ci celui-ci était effacé finalement. De même, si l'on enlève du poids à l'item B (équivalent à la vision du *removal*), alors celui-ci va monter, et en parallèle, l'item A va descendre par rapport à son niveau de départ, ce qui revient à augmenter l'activation de cet item. Une question importante concernant la distinction entre *removal* et *refreshing* est donc : l'attention est-elle portée sur les informations pertinentes ou sur les informations non pertinentes lors d'une tâche de MDT ?

---

19. La limitation de la MDT pourrait, comme le suggèrent les théories en ressource limités, être le poids maximum pouvant être distribué sur un ensemble de plateaux d'une balance.

### 1.3 Maintien des informations verbales en MDT

#### Encadré 1.2 – Estimation du temps de *removal*

L'estimation du *removal* à 1 ou 2 secondes est obtenue à l'aide d'une tâche de reconnaissance de Sternberg (1969) adaptée. Dans une tâche de reconnaissance de Sternberg classique, les participants doivent mémoriser une liste d'items. À la phase de rappel, un seul item est présenté. Les participants doivent décider le plus rapidement possible si cet item appartient à la liste ou pas. La variable dépendante observée est le temps de réponse et la variable indépendante est le nombre d'items dans la liste à mémoriser. Sternberg (1969) a montré que le temps de réponse augmente avec la taille de la liste d'items, indiquant que les sujets parcourent la liste des items séquentiellement, et non en parallèle, pour décider de la présence ou non de cet item dans la liste. Dans l'étude de Oberauer (2001), deux listes d'items sont présentées simultanément. Puis, un signal indique laquelle des deux listes sera testée à la phase de reconnaissance. L'item présenté devant être reconnu comme présent ou non est alors testé uniquement avec les items de la liste pertinente. D'après Oberauer (2001), la liste non-pertinente est enlevée de la MDT afin de libérer de la place pour la liste pertinente. Oberauer suppose que la taille de la liste pertinente devrait avoir un effet sur le temps de réaction, comme observé par Sternberg (1969). Au contraire, la taille de la liste non pertinente ne devrait pas avoir d'effet sur le temps de réaction. En effet, si l'on considère que l'on parcourt uniquement les items présents en MDT, la taille de la liste non-pertinente n'a pas d'impact étant donné que celle-ci n'est plus en MDT. Oberauer (2001) a fait varier le temps entre le signal précisant quelle liste est pertinente et le test de reconnaissance. Ce temps est utilisé pour supprimer la liste non-pertinente. Les résultats ont montré qu'après environ une seconde, la taille de la liste non pertinente n'avait plus d'effet sur les temps de réaction. Cependant, lorsque le temps dédié à l'le *removal* n'était que de 100 ms, un effet de la taille de la liste non-pertinente était observé. Ces résultats pourraient suggérer, d'une part, que les items non pertinents sont enlevés de la MDT et d'autre part, que ce *removal* nécessite du temps.



## 1.4 Conclusion

Pourquoi oublions-nous les choses si rapidement ? Et en même temps comment maintenons-nous certaines informations ? Quel est le lien entre la MDT et la MLT ? Est-ce que la MDT verbale est similaire à la MDT visuelle, auditive, tactile ? Quel est le lien entre les capacités de MDT et d'autres tâches cognitives complexes, telles que la compréhension du langage ? Comment la MDT évolue au cours de l'âge ?

Ces nombreuses questions soulignent la complexité de l'étude de la MDT. La compréhension de ce système dans sa globalité est à ce jour un objectif trop ambitieux. Nous pouvons difficilement répondre à toutes ces questions à l'aide d'un seul modèle. De fait, différents groupes de chercheurs s'intéressent à différentes composantes de la MDT et c'est peut être aussi ce qui rend la MDT si difficile à définir et à modéliser.

Dans cette thèse nous avons étudié la MDT verbale et plus particulièrement nous avons testé deux différents mécanismes de maintien : le *removal* et le *refreshing*. Ces deux mécanismes sont implémentés dans deux modèles computationnels différents. En effet, le mécanisme de *removal* est implémenté dans le modèle computationnel SOB-CS (Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012) et le mécanisme de *refreshing* est décrit par le modèle TBRS et a ensuite été implémenté au sein du modèle computationnel TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011).

Cette thèse s'est consacrée à l'étude de ces deux modèles computationnels SOB-CS et TBRS\*, ainsi qu'au modèle verbal TBRS. Le chapitre suivant s'attelle à décrire en détail ces trois différents modèles.

## **Chapitre 2**

### **Le modèle verbal TBRS et les modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS**

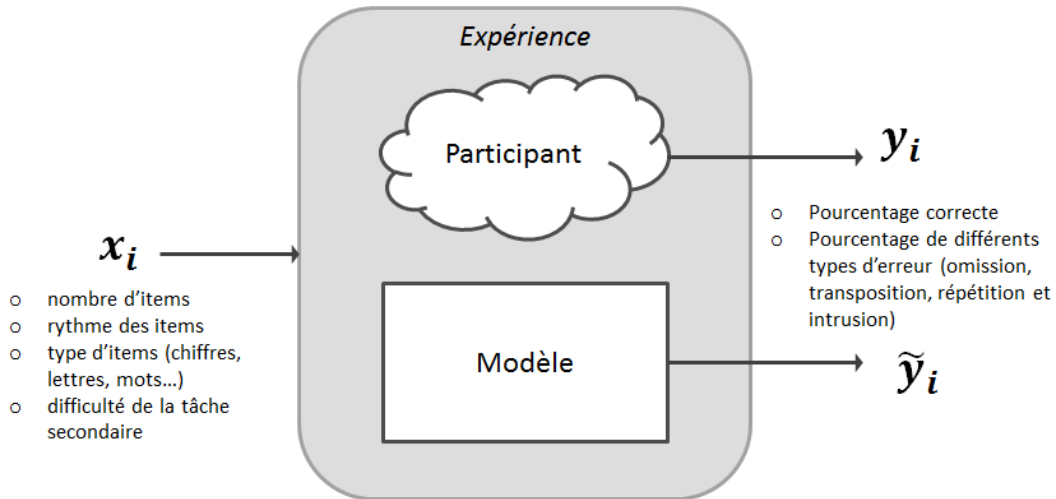


FIGURE 2.1 – Schéma montrant que le participant et le modèle passent la même expérience. L'entrée  $x_i$  représente les variables indépendantes dans une tâche d'empan complexe.  $x_i$  doit donc être spécifié en entrée des modèles TBRs\* et SOB-CS. La sortie de ces modèles, noté  $\tilde{y}_i$ , est une estimation de la réalité  $y_i$  que l'on cherche à modéliser. Un des avantages des modèles computationnels est que l'on peut comparer quantitativement les sorties  $\tilde{y}_i$  du modèle et les données comportementales  $y_i$  recueillies auprès des participants.

Cette thèse s'inscrit dans le vaste champ des sciences cognitives et vise à étudier les mécanismes de maintien de l'information en MDT en utilisant deux modèles computationnels : TBRs\* et SOB-CS.

Tout comme un modèle verbal, un modèle computationnel (en sciences cognitives) cherche à décrire de manière simplifiée le comportement observé chez l'humain. Sa différence est le langage utilisé. En effet, un modèle computationnel utilise un langage mathématique, symbolique ou encore, un langage algorithmique. Ainsi, un modèle computationnel peut être simulé et comparé quantitativement aux données d'observations réelles. Leur prédictions, sur les effets, sont donc absolues contrairement aux modèles verbaux qui se limitent à des prédictions relatives.

Aujourd'hui, l'ordinateur est utilisé dans l'approche de modélisation car cet outil permet de faire des calculs puissants. Mais, avant même l'existence de l'ordinateur, cette approche de modélisation existait déjà. Par exemple, la machine Moniac (*Monetary National Income Analogue Computer*), connue également sous le nom de *hydraulic computer*, créée par l'économiste Philipps en 1949, est un ensemble de tuyaux, de réservoirs, de vannes et de pompes permettant de prédire l'économie de l'Angleterre. Par exemple, l'eau représentait le flux de monnaie et

chaque réservoir représentait différents services tels que la santé ou l'éducation. Au lieu d'utiliser des transistors permettant de faire des calculs, cette machine utilisait des vannes, des tuyaux, des fluides colorés et des réservoirs. Finalement, la méthode est identique avec une technologie différente.

Les modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS que nous étudions dans cette thèse permettent de tester les processus cognitifs hypothétiques mis à l'oeuvre dans une tâche d'empan complexe. Pour cela, ces deux modèles simulent les performances des participants dans une tâche d'empan complexe et peuvent être directement comparés aux données des participants. En d'autres termes, les modèles et les participants passent la même expérience (voir figure 2.1). Ce type de modèles permet ainsi de tester des mécanismes cognitifs sous-jacents présumés tel que le *removal* (implémenté dans SOB-CS) ou le *rafraîchissement* (implémenté dans TBRS\*).

Dans ce chapitre, nous allons donc décrire le fonctionnement de ces deux modèles computationnels, TBRS\* et SOB-CS. Par ailleurs, le modèle TBRS\* étant issu du modèle verbal TBRS, nous étudierons ce dernier avant d'aborder le modèle TBRS\*. Une fois que ces trois modèles seront présentés, nous clôturerons ce chapitre sur l'intérêt d'utiliser ces deux modèles computationnels.

## 2.1 Le modèle TBRS

### 2.1.1 Historique

L'hypothèse principale défendue par Barrouillet et Camos (2015, p. 18) concernant le fonctionnement de la MDT est la suivante : le traitement et le maintien ne se disputent pas un espace ou une énergie mentale limités mais plutôt un système central dont la disponibilité est partagée dans le temps. Le but de leur livre est de décrire la « machinerie » qui permet d'alterner ces deux fonctions et de produire le flux continu de pensée que chacun ressent.

Pour commencer nous allons définir la première version du modèle TBRS (Barrouillet et al., 2004), inspiré du débat existant entre le modèle *task-switching* (Towse & Hitch, 1995 ; Towse, Hitch, & Hutton, 2000) et le modèle de Case (1974).

En effet, les travaux de Towse et Hitch ont remis en cause l'hypothèse d'un compromis proposé par Case (1974) qui considérait que la mémoire de travail avait un espace<sup>1</sup> statique limité alloué à la fois au maintien et au traitement de l'information. Le modèle de Case est appelé en anglais le modèle de *trade-off*. Ce modèle peut être associé à l'analogie faite au début du manuscrit qui était de comparer la MDT à la mémoire vive d'un ordinateur. Ainsi, plus le traitement à effectuer demande de la place, plus les cases mémoires vides pouvant être allouées au stockage diminuent. D'après ce modèle, plus un traitement sera difficile plus les performances de maintien seront réduites. Dans le sens de cette hypothèse, Case et al. (1982) ont montré que l'empan de chiffres était linéairement corrélé à la difficulté du traitement de la tâche à effectuer : en l'occurrence compter un ensemble de points sur une carte. Il aboutissait à la conclusion que plus un traitement était difficile, plus les performances de rappel étaient basses, ce qui était cohérent avec le modèle de *trade-off*. La difficulté d'un traitement était évaluée grâce à la mesure de la vitesse de ce traitement : plus un traitement était difficile plus celui-ci prenait du temps à être réalisé. Ainsi, pour rendre le traitement du dénombrement plus difficile, les participants adultes devaient compter les points en utilisant des mots sans signification appris préalablement.

Mais pour Towse et Hitch (1995), la difficulté du traitement étant directement liée à la vitesse et donc au temps de ce traitement, la variable temporelle serait le facteur déterminant des résultats de Case. Ils suggèrent que les résultats de Case et al. (1982) pouvaient être expliqués par un modèle alternatif : les moins bonnes performances de rappel observées lorsque le traitement

---

1. L'espace total limité peut aussi être vu comme une ressource cognitive dont l'énergie à distribuer est limitée.

## 2.1 Le modèle TBRS

était plus difficile était dues au déclin temporel des traces mnésiques. En effet, lorsque la tâche de comptage est plus difficile, celle-ci dure plus longtemps et donc l'activation des traces mnésiques décline davantage, menant ainsi à des performances de rappel moins bonnes. À travers la tâche d'empan de comptage, développé par Case et al. (1982), Towse et Hitch ont mis alors en place un plan expérimental permettant de trancher entre le modèle basé sur le déclin temporel et le modèle du *trade-off* d'un espace (ou d'une énergie) limité. Ils ont comparé les trois conditions suivantes : (1) faible difficulté et durée faible (les cibles et les distracteurs sont facilement discernables, ils sont de couleurs différentes), (2) difficulté élevée et durée élevée (les cibles sont difficiles à compter car les distracteurs sont de la même couleur) et (3) faible difficulté et durée élevée (la difficulté est identique à la condition (1) mais cette fois le nombre de cibles à compter est plus grand pour que le traitement dure aussi longtemps que celui de la condition (2)). Les résultats obtenus ont montré que ce n'était pas la difficulté de la tâche, mais surtout la durée de la tâche, qui impactait les performances de rappel. En effet, les performances de mémorisation étaient plus faibles dans la condition (3) que dans la condition (1). De plus, les résultats n'ont pas montré de différences importantes des performances entre la condition (3) et la condition (2), dont la seule variation portait sur la difficulté de la tâche, puisque le temps imparti pour la réaliser était le même. Towse et al. (2000) ont alors proposé un nouveau modèle de MDT : le modèle *task-switching*. Ce modèle considère qu'une ressource attentionnelle est partagée, de manière séquentielle, entre le traitement et le maintien de l'information. C'est-à-dire que lorsque l'attention est portée sur le traitement des informations, alors les informations à mémoriser ne peuvent pas être activement maintenues et se retrouvent à disparaître avec le temps. On peut ainsi comprendre que ce modèle considère le traitement et le maintien de l'information dans un compromis temporel et non en termes d'espace ou d'énergie.

Dans la continuité des travaux de Towse et Hitch (1995), ceux de Barrouillet et son équipe (Barrouillet et al., 2004; Barrouillet & Camos, 2007) admettent aussi l'idée d'un *switching* (changement) de l'attention entre maintien et traitement de l'information. Towse et Hitch suggèrent que le *switching* de l'attention se fait uniquement au « début » et à la « fin » de la tâche de traitement. Le modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2007), au contraire, suppose que le *switching* de l'attention entre maintien et traitement se produit également « au sein même » de la tâche de traitement, considérant que pendant les micro pauses laissées libres pendant la tâche de traitement, les items peuvent être rafraîchis via l'attention. Un apport conséquent du modèle

TBRS de Barrouillet et Camos (2007) a été de redéfinir le coût cognitif (CC) d'une tâche de manière temporelle. Comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre 1, le CC est défini, selon TBRS, comme étant le rapport entre le temps de capture attentionnelle de la tâche de traitement et le temps total durant lequel la tâche est effectuée. Ainsi, ce n'est plus la durée totale du traitement qui est importante, mais le CC du traitement.

En résumé, Case suggère que la charge cognitive du traitement de la tâche impacte les performances de maintien car le traitement et le stockage partagent continuellement une ressource commune limitée. Puis, Towse et Hitch soulignent le fait que Case ne contrôle pas la variable temporelle du traitement de la tâche, qui est pourtant pour eux le facteur déterminant des performances, puisque l'activation des items décline avec le temps. Enfin, Barrouillet et Camos combinent ces deux modèles en définissant le CC de la tâche de manière temporelle : les performances dépendent du CC de la tâche, mais ce CC dépend lui-même des conditions temporelles de la tâche. La figure 2.2 (page 75) schématise ce qui vient d'être dit.

### **2.1.2 Les hypothèses de base du modèle TBRS**

Barrouillet et Camos (2007) ont ainsi construit une première version du modèle TBRS comprenant quatre hypothèses fondamentales concernant la dynamique de la MDT. La première hypothèse propose que le traitement et le maintien d'informations utilisent la même ressource limitée : l'attention.

La seconde hypothèse suppose que le focus attentionnel est limité à un seul élément à la fois (Oberauer, 2002). La ressource commune au maintien et au traitement est donc partagée au cours du temps car elle ne peut s'occuper que d'un élément à la fois. D'après Pashler (1998), les processus centraux, tels que la focalisation attentionnelle, seraient contraints par un goulot d'étranglement (*the central bottleneck*). La sélection de la réponse ou le fait de récupérer des informations, par exemple, ne peuvent pas être traités en parallèle. Cette hypothèse implique que lorsque l'attention est occupée à traiter une information, alors celle-ci n'est pas disponible pour maintenir, réactiver, les items à mémoriser.

Une troisième hypothèse suggère que l'activation des items décline temporellement s'ils ne sont pas au sein du focus attentionnel (Cowan, 1999 ; Towse & Hitch, 1995). Comme le stipule la première hypothèse, la réactivation des informations se fait à travers le *refreshing*, c'est une récupération rapide et silencieuse au sein du focus attentionnel (Cowan, 1992). Ce *refreshing*

## 2.1 Le modèle TBRS

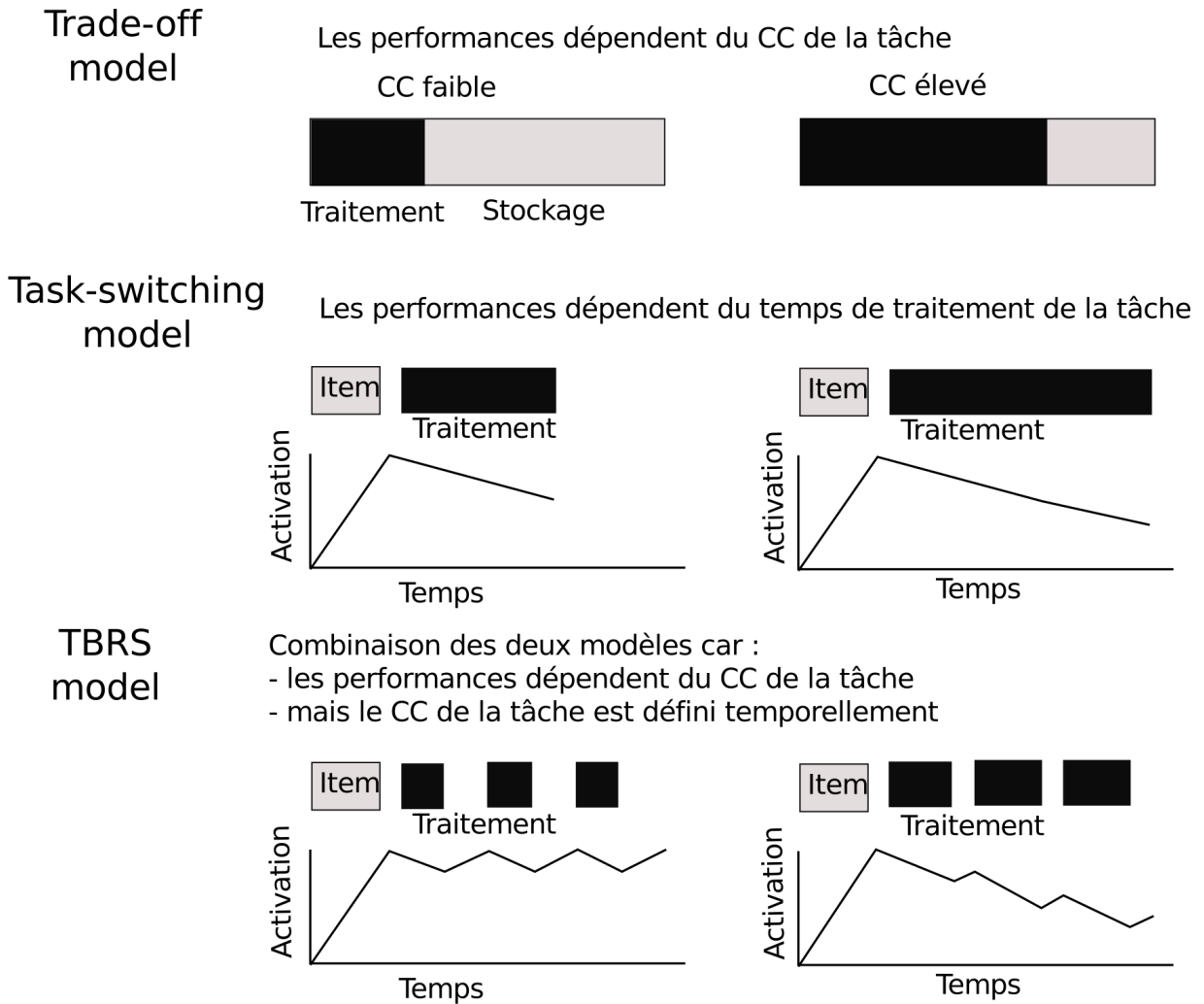


FIGURE 2.2 – Illustration schématique des différences majeures entre trois modèles décrivant les liens entre les deux fonctions de la MDT : le traitement et le maintien d'informations. Ces trois modèles sont : le modèle *trade-off* de Case, le modèle *task-switching* de Towse et Hitch et le modèle *TBRS* de Barrouillet et Camos.



peut s'effectuer pour les informations verbales et visuo-spatiales. De plus, les informations uniquement verbales peuvent également être réactivées au travers de l'auto-répétition subvocale (Baddeley, 1986). Cependant, l'auto-répétition subvocale ne nécessite pas, ou peu, de ressources attentionnelles et peut donc avoir lieu pendant la tâche de traitement si celle-ci ne bloque pas la boucle articulatoire.

Enfin, dernière hypothèse, étant donné que l'attention est limitée et que les traces mnésiques déclinent avec le temps, le modèle suppose que l'attention est partagée grâce à un *switching* extrêmement rapide de celle-ci entre maintien et traitement. Ce *switching* se fait pendant les micros pauses lors de l'exécution de la tâche de traitement. Barrouillet et son équipe, les auteurs du modèle TBRS, supposent donc qu'une tâche, bien que très coûteuse cognitivement, induit rarement une capture attentionnelle continue.

### **2.1.3 La nouvelle version du modèle TBRS**

Dans leur livre, Barrouillet et Camos (2015) décrivent la version la plus récente du modèle TBRS (voir figure 2.3). Ce nouveau modèle est une extension du modèle TBRS. Tout ce qui a été présenté auparavant reste d'actualité excepté une seule chose (qui n'a d'ailleurs pas été précisée précédemment) : aujourd'hui, Barrouillet et Camos supposent que les items en MDT ne représentent pas la partie activée de la MLT, comme postulé par Cowan (1999) et Oberauer (2002). Les représentations en MDT sont distinctes de la MLT, elles sont uniques et sont la construction, ou reconstruction, d'informations provenant de diverses composantes tel que les *buffers sensoriels* et la *MLT*. Les représentations en MDT du modèle TBRS sont l'équivalent du *buffer épisodique* du modèle de Baddeley (2000). Dans ce *buffer*, environ quatre représentations peuvent être maintenues dans un état de haute accessibilité. Cependant, une seule représentation peut être accessible directement pour un traitement. Cette représentation n'est autre que le contenu de la conscience. Cette conception est très proche du modèle de Oberauer (2002) qui suppose également que le focus attentionnel ne peut contenir qu'un seul item et qu'environ quatre informations peuvent être hautement activées en même temps. Cependant, la limitation à environ quatre items dans le *buffer* épisodique du modèle TBRS est due 1) au déclin temporel des traces présentes au sein du *buffer* et 2) au partage temporel du central exécutif (ou de l'attention, ou de la conscience) entre le maintien et le traitement d'informations. Ces résultats sont le cœur du modèle TBRS de base.

## 2.1 Le modèle TBRS

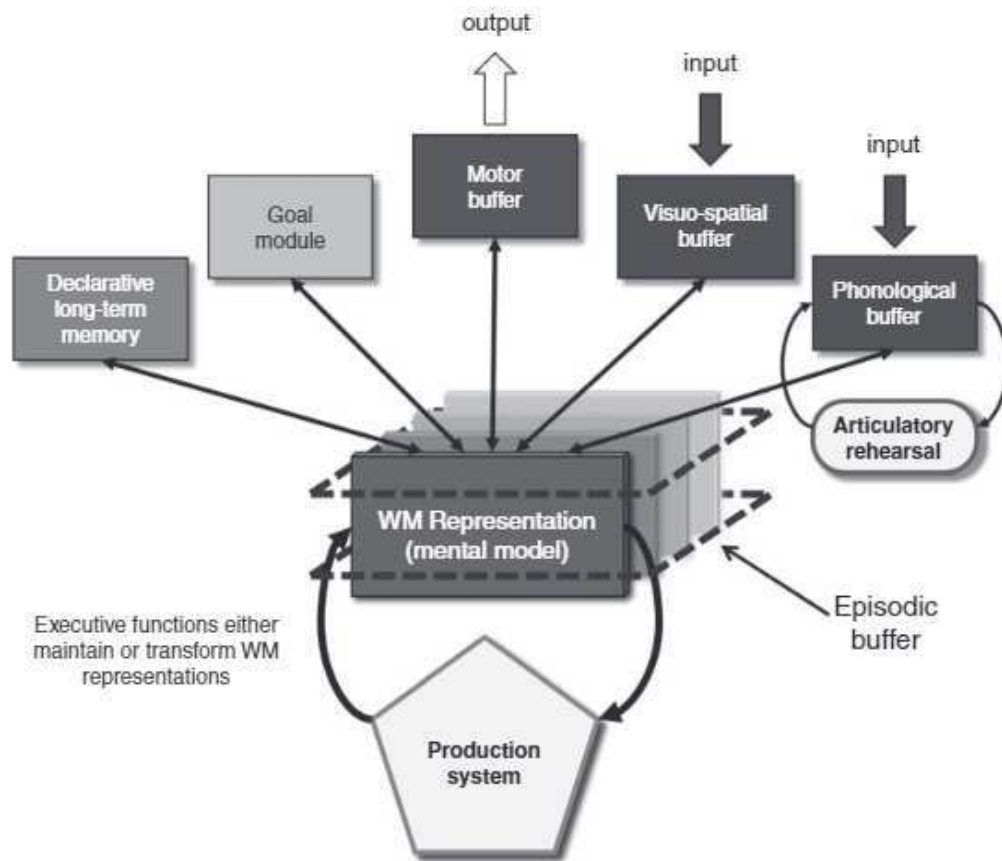


FIGURE 2.3 – Illustration du modèle TBRS repris du livre de Barrouillet et Camos (2015). Représentation complexe mettant en lien la MDT, les fonctions exécutives, les mémoires sensorielles, la MLT, un système de production (ou de règles) et une sortie correspondant à l'action.

Cette nouvelle version s'inspire largement du modèle de Baddeley (2000). En effet, le modèle comporte un *buffer épisodique*, un *buffer phonologique*, un *buffer visuospatial* et un système central exécutif. Cependant, le central exécutif du modèle TBRS est en charge du traitement et du maintien, contrairement à l'approche de Baddeley qui considère que les systèmes esclaves, correspondant ici aux *buffer sensoriels*, ont leur propre mécanisme de maintien. Selon TBRS, le maintien général des représentations dans le *buffer épisodique* se fait par l'intermédiaire du système central. Le *buffer phonologique* uniquement semble avoir un mécanisme de maintien indépendant : l'auto-répétition subvocale. Au contraire, le *buffer visuo-spatial* ne semble pas avoir de mécanisme de maintien qui lui est propre.

Le maintien des informations en MDT est défini comme étant une reconstruction des représentations en MDT dégradées par le déclin temporel. Cette reconstruction serait similaire au processus de *redintegration* de Hulme et al. (1997). Les traces restantes sont utilisées comme *cue* pour récupérer l'information pertinente en MLT. Ce mécanisme de récupération à long terme pourrait expliquer les effets d'interférences observés dans des tâches de MDT. Ce pan n'est pas clairement détaillé et exploré, mais il semblerait que selon le modèle TBRS, l'oubli en MDT est dû au déclin temporel et l'oubli en MLT est dû aux interférences. La reconstruction des informations en MDT est d'autant plus difficile que celles-ci sont dégradées, ce qui implique que le déclin temporel peut être la cause des interférences lors de la récupération des informations en MLT.

Pour finir, le modèle TBRS suppose que chaque construction et reconstruction (*refreshing*) des informations en MDT laisse une trace en MLT (Camos & Portrat, 2015 ; McCabe, 2008). Cette nouvelle prédiction est récente et s'inspire des travaux de McCabe (2008) présenté précédemment dans le chapitre 1.

Actuellement, une seule étude (Camos & Portrat, 2015) a testé l'effet des opportunités de *refreshing*, à travers la manipulation du CC, sur les performances de mémorisation à long terme (rappel différé). Dans une première expérience, les opportunités de *refreshing* et d'auto-répétition subvocale ont été manipulées. La tâche de traitement était soit une tâche de temps de réaction simple soit une tâche de jugement de parité. La difficulté de la tâche permettait de faire varier le CC de la tâche, sachant que les chiffres apparaissaient à un rythme constant. Pour manipuler la boucle articulatoire, les participants devaient soit répondre à l'oral afin de bloquer la boucle articulatoire, soit répondre au clavier silencieusement. Le nombre d'opérations était constant et égal à six. Les résultats ont montré que l'augmentation du CC avait un effet délétère sur les performances de rappel à court terme et à long terme. Au contraire, le type de réponse (orale vs silencieuse) avait un effet à court terme, mais pas d'effet à long terme. En effet, les performances de rappel à court terme étaient plus faibles lors d'un rappel oral, car la boucle articulatoire était bloquée. Ces résultats ont répliqué ceux de Loaiza et McCabe (2013), montrant également que la récapitulation articulatoire n'impactait pas la mémorisation à long terme. Dans une deuxième expérience, le CC a été manipulé en faisant varier le rythme d'une tâche de jugement de parité<sup>2</sup>. L'auto-répétition subvocale a été manipulée de la même manière que dans

---

2. La manipulation du CC de la première expérience correspond à la méthode A vs B.3 de l'encart 1.1 p.37

## 2.1 Le modèle TBRS

l'expérience 1. Les résultats de l'expérience 2 sont identiques à ceux de l'expérience 1.

Selon le modèle TBRS, la manipulation du CC permet de faire varier le nombre d'items pouvant être maintenus en MDT pendant les phases de temps libre et permet ainsi de prédire les performances à court terme. De plus, le *refreshing* agirait sur les traces à long terme. Ainsi, un CC plus faible permettrait de rafraîchir plus d'items, plus de fois, et donc d'améliorer les performances à long terme. Nous allons maintenant présenter une version computationnelle de ce modèle TBRS.

## 2.2 TBRS\* : une version computationnelle du modèle TBRS

Oberauer et Lewandowsky (2011) ont développé une version computationnelle du modèle verbal TBRS (Barrouillet & Camos, 2007) : le TBRS\*. Celui-ci ne doit pas être confondu avec le modèle TBRS. En effet, comme l'ont indiqué Oberauer et Lewandowsky (2011), il existe de nombreuses manières d'implémenter une théorie verbale. Ils ont dû faire des choix de modélisations qui ne sont pas précisés dans le modèle TBRS<sup>3</sup>. De plus, le modèle TBRS\* développé par Oberauer et Lewandowsky (2011) modélise un seul mécanisme de maintien : le *refreshing*. Le mécanisme de répétition subvocale, spécifique au matériel verbalisable, n'est pas considéré. Ce mécanisme de répétition subvocale sera ajouté plus tard au sein du modèle TBRS\* par Lewandowsky et Oberauer (2015).

Bien que le modèle TBRS\* soit une version simplifiée du modèle TBRS, ce modèle paraît intéressant car il permet de tester très précisément le décours temporel de chaque item à mémoriser lors de la réalisation d'une tâche d'empan complexe.

### 2.2.1 Architecture du modèle

Le modèle TBRS\* est basé sur un réseau de neurones composé de deux couches interconnectées. La première couche représente les items à mémoriser et la seconde couche représente les positions des items à mémoriser au sein d'une liste. Les auteurs du modèle TBRS\* ont donc fait le choix d'utiliser un encodage par position, par opposition au codage de *primacy gradient* utilisé par Page et Norris (1998) ou au codage par chaînage décrit par Henson (1998) (pour plus de détails, voir l'encadré 2.1). L'encodage par position signifie que chaque item est associé à une position et la position est l'indice de récupération en mémoire.

Dans TBRS\*, la représentation des items est localiste ce qui signifie qu'un item tel qu'un mot, une lettre ou encore un chiffre n'est représenté que par une seule unité. Une position est représentée par plusieurs unités. La représentation distribuée des positions permet de simuler

---

3. *For a verbal theory, the TBRS is impressively clear and easy to intuit. Nevertheless, it leaves unspecified a number of details that have important implications for what the theory actually predicts — for example, how exactly does refreshing proceed? In what order are items refreshed? And at what rate? Even seemingly simple verbal models require numerous decisions to be made when instantiated computationally. For example, Lewandowsky and Farrell (in press, Chapter 2) showed that the phonological loop model of Baddeley (1986) could be instantiated in at least 144 different ways — thus, far from being "a" model, verbally stated theories typically are compatible with a whole family of instantiations, and detailed decisions must be made when the verbal theory is translated into a computational model.* (Oberauer & Lewandowsky, 2011, p.13.)

## 2.2 TBRS\* : une version computationnelle du modèle TBRS

### Encadré 2.1 – Approches computationnelles pour représenter l'ordre sériel

Dans l'apprentissage d'une nouvelle séquence d'items, l'ordre peut être très important. Par exemple, une suite d'accords d'un morceau de musique doit être appris et joué dans un ordre précis. L'ordre des phonèmes d'un nouveau mot est crucial dans l'apprentissage de ce nouveau mot. Lorsque l'on modélise la MDT, une question importante est de comprendre comment les participants stockent l'ordre. Trois grandes possibilités sont présentées dans la littérature : (1) on peut considérer que les participants associent chaque item avec son suivant, (2) ou bien encore que l'activation d'un item dépend directement de sa position, (3) ou encore que chaque item est associé à sa position dans la liste.

Par exemple, dans le modèle TODAM (Lewandowsky & Murdock, 1989) l'ordre est stocké grâce au chaînage entre les items à mémoriser. Ainsi, un item rappelé servira d'indice pour activer le prochain item à rappeler. Lors de l'encodage les items sont reliés deux par deux. Cette méthode a été fortement controversée pour de multiples raisons (Burgess & Hitch, 1999 ; Henson, 1998 ; Page & Norris, 1998). Par exemple, dans ce type de modèle, il suffit qu'un item ne soit pas rappelé pour que l'ensemble des items subséquents ne soient pas rappelés. Un autre modèle est la méthode de *primacy gradient* qui considère simplement que le premier item est encodé plus fortement que le second qui est lui-même plus fortement encodé que le troisième et ainsi de suite. Ainsi, au moment du rappel, l'item le plus activé est rappelé puis supprimé (Page & Norris, 1998). Une dernière approche permettant de modéliser l'ordre est celle utilisée par TBRS\* et SOB-CS : ils utilisent des marqueurs de positions qui permettent d'associer chaque memoranda à une position. Ces marqueurs de positions servent d'indice de récupération. Pour plus de détails, Hurlstone, Hitch, et Baddeley (2014) font une revue de la littérature concernant les différentes manières de coder l'ordre sériel.

les confusions entre les positions. En effet, les vecteurs de position, qui sont composés de 1 et de 0, sont générés de sorte que le partage des unités entre les vecteurs de position soit plus important lorsque les positions sont voisines que lorsque celles-ci sont éloignées. La figure 2.4 expose un exemple schématique du codage de quatre vecteurs de position. Plus deux positions auront des unités en commun, plus les items reliés respectivement à ces deux positions pourront être confondus à la phase de récupération.

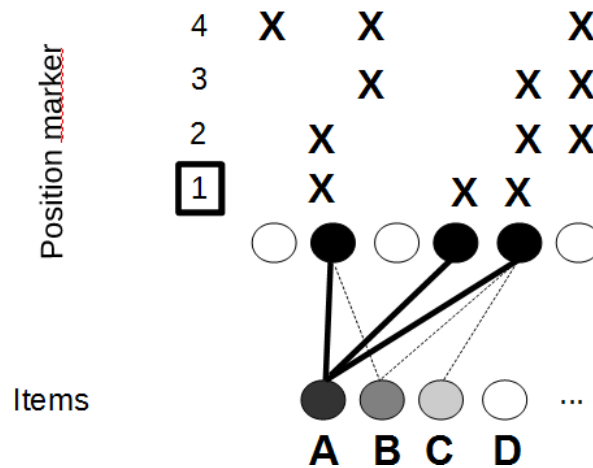


FIGURE 2.4 – Représentation schématique de l'architecture du modèle TBRS\* et des chevauchements entre les vecteurs de position. Tous les liens ne sont pas représentés mais les items A, B, C et D sont connectés aux positions 1, 2, 3 et 4 respectivement. Plus les positions sont proches entre elles, plus celles-ci partagent d'unités. Par exemple, les positions 1 et 2 partagent deux unités communes (la 2 et la 5) alors que les positions 1 et 4 ne partagent aucune unité. Si la position 1 est activée alors l'item A sera fortement activé. Les positions 1 et 2 partageant deux unités communes, l'activation de la position 1 va également activer l'item B, mais moins fortement que l'item A. La position 1 partageant une unité avec la position 3, l'item C sera également activé, mais moins fortement que l'item B. Et enfin, la position 1 ne partageant aucune unité avec la position 4, l'activation de la position 1 n'impactera pas l'activation de l'item D. Cela est schématisé à l'aide du dégradé de gris sur chaque item.

Comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, le modèle TBRS\* reproduit le processus séquentiel d'une tâche d'empan complexe. L'ordonnement d'une tâche d'empan complexe peut se décomposer selon les quatre phases principales suivantes :

- Phase d'encodage, correspondant aux moments où les items à mémoriser sont présentés ;
- Phase de rappel, correspondant aux moments où les items stockés en MDT doivent être rappelés ;

## 2.2 TBRS\* : une version computationnelle du modèle TBRS

- Phase de traitement, correspondant aux moments où l’attention est capturée par le traitement d’un distracteur ;
- Phase de temps libre, correspondant aux moments où l’attention est libre.

Durant chacune de ces phases, différents mécanismes sont mis en jeu et modélisés à l’aide de fonctions mathématiques. Au total, quatre fonctions distinctes sont implémentés dans TBRS\* : (1) la fonction d’encodage à travers l’apprentissage hebbien de nouvelles connections entre les deux couches, (2) la fonction de déclin temporel de l’activation de ces connections, (3) la fonction de récupération en mémoire d’un item en utilisant la position comme indice et enfin (4) la fonction de suppression en mémoire des connections reliant l’item rappelé et la position à travers l’anti-apprentissage hebbien. Ces différentes fonctions sont récapitulés dans le tableau 2.1. Par la suite, les détails mathématiques du modèle seront spécifiés, mais la compréhension fine des différentes fonctions n’est pas nécessaire pour comprendre le reste des études de la thèse.

TABLE 2.1 – Récapitulatif des différentes fonctions du modèle TBRS\* au sein des quatre phases d’une tâche d’empan complexe.

Phase	Processus
Encodage	<i>encoding</i>
Traitement	<i>decay</i>
Temps libre	<i>retrieval</i> puis <i>encoding</i> en boucle
Rappel	<i>retrieval</i> et <i>supression</i> pour chaque position

<i>encoding</i>	<i>decay</i>	<i>retrieval</i>	<i>suppression</i>
$\Delta W = \eta v_i p_j^T$ avec $\eta = (L - W)(1 - e^{-ter})$ avec $r \sim N(R, s)$	$W = W * e^{-Dtt}$	$V = W p_j$ $V = V + N(0, \sigma)$ Si $\max(V) > \theta$ Alors $\max(V)$ est récupéré Sinon erreur d’omission	$\Delta W = -L v_j p_j^T$



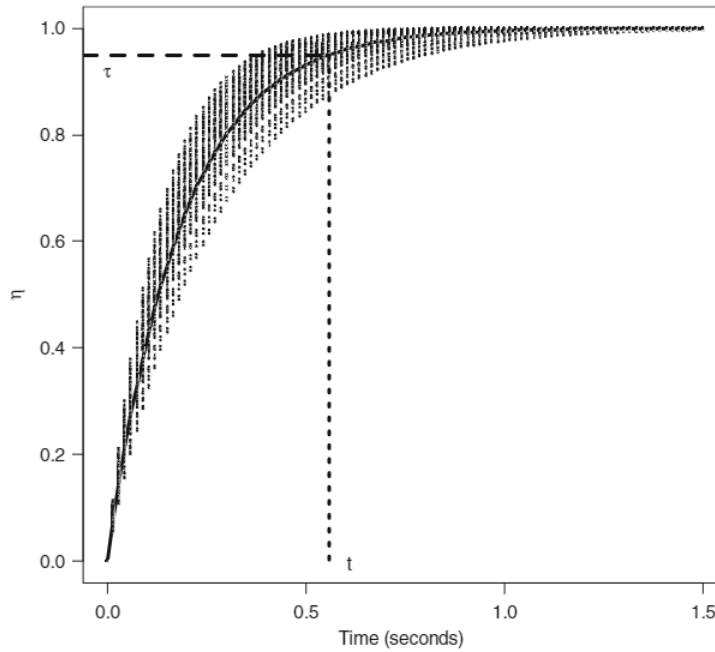


FIGURE 2.5 – Croissance exponentielle de l’activation des liens  $\eta$  en fonction du temps. Les multiples courbes représentent 100 échantillons générés à partir de la force  $r \sim N(R = 6, s = 1)$ . Ce graphique est repris de Oberauer et Lewandowsky (2011).

## 2.2.2 Les quatre phases au sein d’une tâche d’empan complexe

### Phase d’encodage

L’encodage d’un item consiste à créer et activer, selon une loi exponentielle (voir figure 2.5), les liens entre le contenu (l’item) et le contexte (la position de l’item dans la liste). Ces liens sont construits par apprentissage hebbien :

$$\Delta W = \eta v_i p_j^T \quad (2.1)$$

$W$  correspond à la matrice des poids de connections entre la couche de position et la couche d’item ;  $p_j$  et  $v_i$  représentent les vecteurs d’activations de l’item  $i$  et de la position  $j$ , respectivement ;  $\eta$  représente la force de l’encodage et s’exprime comme suit :

## 2.2 TBRS\* : une version computationnelle du modèle TBRS

$$\eta = A(1 - e^{-rt_e}) \quad (2.2a)$$

$$A = (L - W) \quad (2.2b)$$

où  $t_e$  représente le temps passé à encoder l'item,  $r$  représente la force d'encodage ;  $A$  représente l'asymptote de la fonction  $\eta$  qui dépend elle-même d'une constante  $L$  et du niveau d'activation actuel de la matrice des poids  $W$ . La constante  $L$  représente ainsi la valeur d'activation maximale d'une connexion  $W_{ij}$ . En résumé,  $\eta$  détermine la force à laquelle l'item sera encodé à la position concernée et dépend du temps passé à l'encodage, de la valeur maximum  $L$  d'un poids d'activation et d'un paramètre stochastique qui traduit la variabilité  $r$ . En effet, afin de modéliser la variabilité inter et intra sujet lors de l'encodage d'un item, la force d'encodage  $r$  correspond à une valeur aléatoire appartenant à la gaussienne de centre  $R$  et d'écart type  $s$  :  $r \sim N(R, s)$ .

TBRS\* suppose que l'encodage dure jusqu'à ce que la fonction atteigne 95% de l'activation finale, c'est-à-dire l'asymptote  $A$ . Si le temps de présentation de l'item est plus court que le temps nécessaire pour atteindre les 95% de l'asymptote, alors l'item ne sera pas encodé à 95%. Si, au contraire, le temps de présentation est plus long que le temps  $t_e$  nécessaire pour atteindre 95%, alors le temps restant, une fois l'item encodé, est similaire à une phase de temps libre pendant laquelle les items déjà encodés seront rafraîchis.

### Phase de rappel

Au moment du rappel, les items sont récupérés un par un en mémoire. Pour cela, les vecteurs de position, qui sont utilisés comme indice de récupération en mémoire, sont activés un par un dans l'ordre sériel. L'activation de la couche de position va, à travers les poids de connexions enregistrés dans la matrice  $W$ , activer la couche d'items. Chaque unité de la couche d'items, représentant un item, recevra une valeur d'activation dépendant des poids de connexions  $W$  :

$$V = Wp_j \quad (2.3)$$

où  $V$  représente un vecteur d'activation de chacun des items en utilisant l'indice  $p_j$ . L'item ayant l'activation la plus élevée est sélectionné et rappelé.

Comment TBRS\* modélise les différents types d'erreurs ? Les erreurs d'omission (c'est-à-dire une absence de réponse), ou les erreurs d'intrusion (c'est-à-dire qu'un item en dehors de la liste est rappelé) ne sont pas possibles au vu de ce qui a été décrit pour le moment. Dans un premier temps, pour permettre les erreurs d'omission, le paramètre  $\theta$  a été rajouté et détermine le seuil en-dessous duquel un item ne peut être rappelé. Dans un deuxième temps, pour permettre les erreurs d'intrusion, un bruit gaussien, centré sur zéro et d'écart type  $\sigma$ , est ajouté à toutes les unités du vecteur  $V$  avant chaque récupération. Ainsi, l'ajout du bruit gaussien permet de rendre possible l'activation d'items n'ayant jamais été encodés. De plus, ce bruit gaussien augmente la probabilité de faire des erreurs de transposition, car, en reprenant l'exemple de la figure 2.4, le bruit gaussien peut faire passer l'activation de l'item B au dessus de celle de l'item A, par hasard.

Après le rappel de chaque item, qu'il soit correct ou erroné, les connexions entre l'item et la position concernée sont effacées. La suppression de réponse est nécessaire pour éviter la répétition d'un même item à différentes positions. En effet, ce type d'erreur est très rarement observé dans les tâches de rappel sériel. Certains modèles utilisent la suppression de réponse pour la viabilité de leur modèle (Farrell & Lewandowsky, 2002 ; Page & Norris, 1998). Cette suppression de réponse est modélisée par un anti-apprentissage hebbien :

$$\Delta W = -Lv_j p_j^T \quad (2.4)$$

où  $v_j$  correspond à l'item rappelé et la force de suppression est égale à  $L$  pour assurer que l'effacement est suffisant en cas d'encodage très important,  $L$  étant l'activation maximale.

### **Phase de traitement**

Pendant la phase de traitement du distracteur, l'activation des traces mnésiques qui ne sont autres que les valeurs de la matrice  $W$  vont décliner pendant toute la durée du traitement en suivant la loi exponentielle suivante :

$$W = W * e^{-Dt} \quad (2.5)$$

avec  $t_t$  correspondant au temps de traitement et  $D$  correspondant à la force du déclin. Cette fonction de déclin n'apparaît pas uniquement pendant le traitement des distracteurs mais à tous les moments où l'attention est occupée : lors de l'encodage d'un item, les autres items vont

## 2.2 TBRS\* : une version computationnelle du modèle TBRS

décliner, lors du rappel d'un item, les autres items vont décliner et pendant le *refreshing* d'un item, les autres items vont également décliner. Ce déclin est la cause majeure de l'oubli et donc des différentes erreurs de rappel. Le distracteur n'est pas encodé en mémoire et c'est uniquement la durée pendant laquelle le distracteur occupe l'attention qui est importante dans ce modèle, quelque soit la nature du distracteur.

### Phase de temps libre

Durant la phase de temps libre, les items peuvent être rafraîchis afin de contrecarrer le déclin temporel. Pour cela deux fonctions sont mises en jeu : (1) récupération de l'item que l'on souhaite rafraîchir et (2) ré-encodage de celui-ci. Ces deux fonctions ont déjà été décrites dans la phase de rappel et dans la phase d'encodage, respectivement. Le temps pendant lequel un item est rafraîchi est bien plus court que le temps d'encodage, car le *refreshing* est considéré comme une brève réactivation de l'item. Le temps de *refreshing* moyen sera noté par la suite  $T_r$ .

Dans la version TBRS\*, le *refreshing* est cumulatif. C'est-à-dire que le *refreshing* se fait en commençant toujours par la première position, puis la deuxième, puis la troisième et ainsi de suite. Une fois arrivé à la fin de la liste, le *refreshing* re-boucle au début de la liste et ceci se poursuit tant qu'il y a du temps libre. Supposons que nous ayons 3 items à rafraîchir (A, B et C) dans un intervalle de temps de 500 ms et considérons que le *refreshing* d'un item dure 50 ms. Voici le déroulement temporel du *refreshing* de ces 3 items durant les 500 ms : A-B-C-A-B-C-A-B-C-A.

**Le *refreshing Least activated first (laf)* : le modèle  $TBRS*_{laf}$ .** Un nouveau modèle, nommé  $TBRS*_{laf}$  par la suite, est proposé par Lemaire et al. (2017). L'acronyme anglais « laf » signifie *Least-Activated First* (le moins activé d'abord). Dans ce modèle, le *refreshing* est non-cumulatif et plus optimal. En effet, le modèle ne rafraîchit pas systématiquement les liens position-item dans l'ordre d'apparition (position 1, position 2, position 3, position 1, position 2, etc jusqu'à la fin du temps libre). Dans ce modèle, le *refreshing* d'un lien item-position à un instant donné dépend de l'état de tous les liens déjà existants. Afin d'optimiser le temps pendant lequel le *refreshing* peut avoir lieu, c'est toujours le lien le plus faible qui est rafraîchi, car ce modèle considère que nous allons rafraîchir le lien qui en a le plus besoin et qui a le plus de chance d'être oublié dans les prochaines millisecondes. Après que le lien position-item le plus faiblement

activé ait été rafraîchi, la même procédure s'applique et à nouveau le lien item-position (qui peut être le même que celui venant d'être rafraîchi) le plus faible est rafraîchi. Cette méthode permet de mieux s'ajuster aux données des participants. En effet, elle permet d'éviter la chute des performances simulées par le modèle TBRS\* pour les dernières positions lorsque l'on a un rythme rapide, ce qui ne correspond pas aux données expérimentales.

### 2.2.3 Les paramètres libres du modèle

Le modèle TBRS\* est composé de huit paramètres libres dont les valeurs par défaut sont présentées ici :

- 1)  $P = 0.3$ , détermine le pourcentage de chevauchement entre deux positions voisines ;
- 2)  $\tau_e = 0.95$ , détermine le critère d'arrêt lors de l'encodage ;
- 3)  $R = 6$ , détermine la force d'encodage et donc la rapidité moyenne à laquelle  $\tau_e$  est atteint ;
- 4)  $s = 1$ , détermine la variabilité de la rapidité moyenne  $R$  ;
- 5)  $\theta = 0.05$ , détermine le niveau d'activation minimum d'un item pour être récupéré ;
- 6)  $\sigma = 0.02$ , détermine le taux d'interférences lors du rappel ( $\sigma$  représente la déviation standard du bruit gaussien lors du rappel) ;
- 7)  $D = 0.5$ , détermine la force de l'oubli et donc la rapidité à laquelle l'activation décline vers zéro ;
- 8)  $T_r = 80ms$ , détermine le temps moyen de *refreshing* pour chaque item.

Les paramètres  $P$ ,  $\tau_e$ ,  $s$ ,  $\theta$ ,  $\sigma$ ,  $D$  et  $T_r$  ont été déterminés arbitrairement, et surtout, ils ont été testés à travers de multiples études dans leur capacité à reproduire des performances de mémorisations mesurées chez l'homme. Le paramètre  $R$  au contraire a été déterminé en se basant sur les travaux expérimentaux de Jolicoeur et Dell'Acqua (1998) qui ont montré que la consolidation d'une information en mémoire à court terme prenait environ 0.5 s. A partir de cette mesure, du critère  $\tau_e = 0.95$  et de l'équation (2.2a),  $R$  correspond à une valeur de 6.

## 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

À la différence du modèle TBRS\* qui a repris la théorie du modèle verbal TBRS déjà existant, SOB-CS est un modèle dont la théorie a directement été implémenté sous forme de modèle computationnel. La section qui suit présente l'historique du modèle SOB-CS et décrit les hypothèses principales du modèle SOB-CS.

### 2.3.1 Modélisation de la MCT : SOB et C-SOB

Historiquement, le modèle SOB (pour *Serial Order in a Box*, Farrell & Lewandowsky, 2002) a été construit dans le but de modéliser les performances de rappel dans des tâches d'empan simples. Plus spécifiquement, le modèle SOB modélise la courbe de position sérielle (l'effet de primauté et l'effet de récence). SOB utilise un réseau auto-associatif en utilisant l'apprentissage hebbien. Les items, qui sont appris par auto-associations, sont représentés par des vecteurs d'unités de 1 et de -1.

Comme d'autres modèles computationnels (*Primacy Model* de Page & Norris, 1998; *SEM* de Henson, 1998; *OSCAR* de G. D. A. Brown, Hulme, & Preece, 2000), SOB suppose que la force d'encodage d'un item diminue à mesure que la position dans la liste augmente. Ainsi les premiers items sont mieux encodés que les items suivants et donc mieux rappelés (effet de primauté). Selon la plupart des modèles, la force d'encodage diminue arbitrairement. SOB, au contraire, a imaginé un mécanisme permettant de calculer la force d'encodage, nommé *energy gated*. Celle-ci dépend de la nouveauté de l'item par rapport aux informations qui ont déjà été encodées. Plus le nombre d'items encodés est élevé, moins un item est nouveau car plus il partage des ressemblances avec les autres items.

De plus, SOB suppose que lorsqu'un item est rappelé, celui-ci est immédiatement supprimé, pour deux raisons. D'une part, la suppression de l'item venant d'être rappelé évite les erreurs de répétition, et d'autre part, l'effet de récence peut être expliqué par le fait qu'à mesure que l'on se rapproche de la fin de la liste, moins d'items entrent en compétition, améliorant ainsi les performances. Dans le cadre de SOB, la force de suppression est calculée de la même manière que la force d'encodage. Par la suite, une extension du modèle SOB, le modèle C-SOB (le C signifiant *Context*, Lewandowsky & Farrell, 2008) est créé dans le but de rendre compte des effets de similarité phonologique. En effet, SOB ne permet pas de simuler les effets de similarité

phonologiques car les items sont orthogonaux entre eux. Plutôt que d'utiliser un mécanisme auto-associatif, C-SOB utilise des marqueurs de position. Le premier item est relié à la première position, le deuxième item est relié à la deuxième position, et ce jusqu'au dernier item. Ce choix est fait car l'utilisation de vecteurs non orthogonaux dans le modèle SOB rendraient les performances trop faibles. Ainsi, C-SOB permet la manipulation de la similarité entre les items. C-SOB utilise toujours le mécanisme d'*energy-gated* qui est une caractéristique propre à ces deux modèles ainsi qu'au modèle SOB-CS.

Nous avons vu dans le chapitre précédent, que la similarité phonologique entre les items réduit les performances de rappel. Plus spécifiquement, des études ont montré (Hurlstone et al., 2014) que les items dissimilaires sont aussi bien rappelés qu'ils soient encodés au sein d'une liste d'items similaires et dissimilaires (appelée liste mixte) ou au sein d'une liste d'items purement dissimilaires (appelé liste pure). Les modèles, tel que le modèle de Page et Norris (1998) ou celui de Henson (1998), permettent de rendre compte de cet effet. Cependant, d'autres études expérimentales ont obtenu des résultats différents : si l'on considère un unique item dissimilaire au sein d'une liste d'items similaires, alors le rappel de cet item dissimilaire est plus élevé que si cet item était encodé dans une liste dissimilaire pure (Farrell, 2006). Un des points forts du modèle C-SOB est qu'il permet de rendre compte de cet effet grâce au mécanisme d'*energy gated*.

Contrairement aux modèles computationnels existants à cet époque, l'effet de similarité phonologique n'est pas dû uniquement à la confusion lors de la phase de rappel. En effet, l'encodage dépend du taux de similarité d'un item par rapport aux items encodés existants ce qui suppose que les effets de similarité phonologique sont également induits par la phase d'encodage. C-SOB suppose que la phase de rappel se fait en deux étapes : (1) la position est utilisée comme *cue* pour récupérer une version déformée de l'item que l'on souhaite rappeler et (2) cette version déformée est comparée aux candidats existants et l'item le plus ressemblant à la version déformée est rappelé. La deuxième phase rend compte de l'effet de similarité phonologique : plus les candidats sont similaires, plus la confusion est probable, réduisant ainsi les performances de rappel. Cependant, la phase de rappel n'est pas la seule source expliquant l'effet de similarité. En effet, un item extrêmement dissimilaire sera encodé plus fortement qu'un item similaire. La probabilité de rappel d'un item dépend également de la force d'encodage de celui-ci. Une liste d'items similaires sera donc moins fortement encodée de manière générale. De plus, si un seul

### 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

item dissimilaire est encodé au sein d'une liste d'items similaires, celui-ci sera mieux rappelé que dans une liste d'items dissimilaires, car les items similaires sont encodés moins fortement en raison d'une faible nouveauté. Ce mécanisme est un des prédicteurs majeurs du modèle SOB et du modèle C-SOB.

Le modèle SOB-CS a été construit par la suite dans le but de rendre compte des effets observés dans une tâche d'empan complexe. SOB-CS s'inspire du modèle C-SOB. Deux événements principaux ont dû être ajoutés : la phase de distraction et la phase de temps libre suivant chaque distracteur.

Dans un premier temps, SOB-CS fait une hypothèse importante : un distracteur est encodé de la même manière qu'un item (Oberauer & Lewandowsky, 2008). L'encodage de ce distracteur crée des interférences qui réduisent donc les performances de rappel. Une autre hypothèse importante est qu'un distracteur est relié à la position de l'item qui le précède. Cette hypothèse suppose qu'un distracteur interfère davantage avec l'item qui le précède plutôt qu'avec les autres items. Cette hypothèse a été testée et confirmée par Oberauer, Farrell, et al. (2012).

Dans un deuxième temps, SOB-CS implémente un « nouveau » mécanisme permettant de rendre compte de l'effet du CC : le *removal*. Ce mécanisme n'est pas réellement nouveau, car il est similaire au mécanisme de suppression lors de la phase de rappel. Un distracteur est effacé durant le temps libre. Avant de décrire mathématiquement les différents processus du modèle SOB-CS au cours des différentes phases d'une tâche d'empan complexe, nous allons présenter comment le modèle implémente la similarité entre les items et les distracteurs.

#### 2.3.2 Architecture du modèle

Ce modèle a été créé en partie par les mêmes auteurs que le modèle computationnel TBRS\*. Par conséquent, nous verrons de nombreuses similitudes entre TBRS\* et SOB-CS. Pour commencer, l'architecture du modèle SOB-CS est également basée sur un réseau de neurones à deux couches avec une couche représentant la position dans la liste et une deuxième couche représentant les items. La position sert également d'indice de récupération. De même que dans TBRS\*, la représentation d'une position est distribuée au sein de la couche de positions. Cependant, contrairement à TBRS\*, la représentation d'un item est distribuée afin de simuler les interférences entre les items selon leurs similarités. En effet, comme nous l'avons vu précédemment avec les vecteurs de position, l'interférence par confusion entre les items peut être établie grâce



à une représentation distribuée des items : plus le nombre d'unités partagées entre deux vecteurs d'items augmente, plus ces deux items sont considérés similaires.

### **Modélisation de la similarité**

Une position ou un item est représenté par un vecteur d'unités dont les valeurs sont 1 ou -1. La couche des items n'est pas spécifique aux mémoranda. En effet, la couche des items représente également les distracteurs (les stimuli à traiter entre deux items à mémoriser dans une tâche d'empan complexe). La couche d'items est composée de 150 unités et la couche de position est composée de 16 unités.

Dans le modèle SOB-CS, les auteurs ont construit des représentations pour quatre catégories de stimuli différents : les lettres, les chiffres, les mots et des items visuels génériques. Chacun de ces types de stimuli peut être utilisé en tant que mémoranda ou en tant que distracteurs. Pour les lettres, les auteurs ont réutilisé les représentations de 16 consonnes créées par Farrell (2006) pour le modèle C-SOB et inspiré des travaux de Hull (1973). Six consonnes sont similaires (B, D, G, P, T, V). Les dix autres consonnes sont dissimilaires. Selon le modèle SOB-CS, la similarité moyenne entre deux représentations est de 65% pour les consonnes similaires et de 50% pour les consonnes dissimilaires. Pour les chiffres, neuf vecteurs sont construits. Ces vecteurs sont créés à partir d'un prototype commun tel que la similarité moyenne soit de 50%. Pour les mots, ils ont créé neuf groupes composés chacun de neuf vecteurs. Au sein d'un groupe, les vecteurs sont similaires à 65%. Entre les groupes, les mots sont similaires à 50%. Pour finir, les stimuli visuels sont représentés de la même manière que les mots. Cependant, ils sont représentés par une autre couche que celles des items verbaux (mots, lettres, et chiffres). Un facteur de recouvrement entre les deux couches permet de faire varier le taux de recouvrement entre les items verbaux et les items visuels. Par la suite, nous nous intéressons uniquement à la MDT verbale, donc nous n'utiliserons pas les items visuels. Que ce soit pour les mots, les lettres, les chiffres ou les stimuli visuels, la construction des items et des distracteurs se fait de manière identique. D'abord un vecteur prototypique est construit aléatoirement. Puis, à partir de ce prototype, d'autres vecteurs (représentations) sont construits selon le degré de similarité (50% ou 65%).

Tout comme TBRS\*, le modèle SOB-CS reproduit le processus séquentiel d'une tâche d'empan complexe. Nous allons, de la même manière que précédemment, présenter les différents mécanismes du modèle SOB-CS dans chacune des quatre phases (encodage, traitement, temps

### 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

libre et rappel). Au total, trois fonctions (voir tableau 2.2), représentant des processus cognitifs distincts, sont implémentées dans SOB-CS : (1) la fonction d'encodage à travers l'apprentissage hebbien, (2) la fonction de récupération en mémoire et (3) la fonction de suppression en mémoire à travers l'anti-apprentissage hebbien. De même que pour TBRS\*, les détails mathématiques qui vont suivre ne sont pas nécessaires pour la compréhension des études de la thèse.

TABLE 2.2 – Récapitulatif des différentes fonctions du modèle SOB-CS au sein des quatre phases d'une tâche d'empan complexe.

Phase	Processus
Encodage	<i>encoding</i>
Traitement	<i>encoding</i>
Temps libre	<i>suppression</i>
Rappel	<i>retrieval puis suppression</i>

<i>encoding</i>	<i>retrieval</i>	<i>suppression</i>
$\Delta W = \eta(i)v_i p_j^T$	<p>Phase 1 : <math>v'_i = W p_i</math>            Phase 2 : <math>s(v'_i, v_j) = e^{[-cd(v'_i, v_j)^2]}</math>  <math display="block">P(v_i) = \frac{s(v'_i, v_j)}{\sum_{k=1}^n s(v'_i, v_k)}</math>            Le vecteur <i>Reponse</i> est choisi aléatoirement, selon la probabilité <math>P</math> de chacun            Si <math>P(\text{Reponse}) &gt; \theta</math> Alors  <i>Reponse</i> est récupéré            Sinon erreur d'omission            Après le rappel de chaque item :  <math display="block">W = W + N(0, N_0)</math></p>	$\delta w = -\eta_s(j)v_s p_j^T$

### 2.3.3 Les quatre phases au sein d'une tâche d'empan complexe

#### Phase d'encodage

Les items sont encodés en mémoire par apprentissage hebbien entre la couche de position et la couche d'items :

$$\Delta W = \eta_e(i) v_i p_j^T \quad (2.6)$$

où  $W$  est la matrice de poids reliant la couche de position à la couche d'items<sup>4</sup>;  $v_i$  et  $p_j$  sont les vecteurs représentant le  $i^e$  item présenté à la  $j^e$  position dans la liste, respectivement;  $\eta_e(i)$  représente la force d'apprentissage qui dépend de l'item  $i$  et de l'état actuel de la matrice de poids  $W$ .

La force d'apprentissage  $\eta_e(i)$  augmente avec le temps selon l'équation suivante :

$$\eta_e(i) = A(i)(1 - e^{-Rt_e}) \quad (2.7a)$$

$$A(i) = \frac{1}{1 + e^{-(E_i - e)g}} \quad (2.7b)$$

où  $t_e$  représente le temps passé à encoder l'item,  $R$  représente la rapidité avec laquelle la force d'encodage augmente,  $A(i)$  représente l'asymptote de la fonction  $\eta_e(i)$  qui diffère considérablement de celle du modèle TBRS\*. En effet, ici, l'asymptote est une fonction de la nouveauté de l'item à encoder. La nouveauté est définie comme l'énergie  $E_i$  entre l'item à encoder et l'information contenue dans  $W$  à l'instant de l'encodage. L'énergie associée au  $i^e$  item est définie comme suit :

$$E_i = -v_i^T W p_j \quad (2.8)$$

Cette équation permet de calculer la nouveauté de l'item  $v_i$  par rapport à ce qui est déjà encodé en MDT. L'énergie  $E_i$  permet ensuite de déterminer, selon la nouveauté de l'item, à quelle force celui-ci sera encodé. Mathématiquement, cette équation est le produit scalaire entre le vecteur  $v_i^T$ , représentant la transposée de l'item  $i$  qui est encodé, et le résultat  $W p_j$  représentant l'item

---

4. Les deux couches du réseau de neurones dans SOB-CS sont totalement interconnectées au sein d'une matrice  $W$ . Contrairement à TBRS\*, une colonne  $j$  de la matrice ne correspond pas au lien existant entre l'item  $j$  et la couche de position. Dans SOB-CS, l'information du lien entre l'item  $j$  et la couche de position est enregistrée sur chaque poids  $W_{ij}$  de la matrice  $W$ .

### 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

attendu à la position  $j$ , avant d'encoder l'item  $i$  à la position  $j$ . Plus l'énergie  $E_i$  est élevée, plus les vecteurs sont distincts. Inversement, plus l'énergie est faible (i.e. négative), plus les vecteurs sont similaires. Lorsque  $E_i$  est proche de zéro ou positif, l'asymptote  $A(i)$  augmente et la force d'encodage également d'après l'équation 2.7b. Prenons un exemple simplifié : on suppose que l'item à encoder est représenté par le vecteur  $(-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1)$ . Le vecteur  $Wp_j$ , représentant l'état actuel de la matrice à la position  $p_j$ , est égal au vecteur  $(-1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1)$  et donc égal à l'item que l'on souhaite encoder. Dans ce cas, l'énergie  $E_i$  est égale à la valeur d'énergie minimale,  $-6$ , que l'on peut obtenir dans ce cas simplifié où un vecteur est composé de 6 unités. La force d'encodage sera elle aussi minimale. Au contraire, si  $Wp_j$  est dissimilaire à l'item à encoder, l'énergie va augmenter. Prenons le cas extrême suivant avec  $Wp_j = (1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1)$ . L'énergie est alors égale à  $+6$  et la force d'encodage sera donc maximisée. Ces deux exemples montrent que l'énergie représente bien la nouveauté de l'item à encoder.  $e$  et  $g$  représentent les paramètres de seuil et de gain, respectivement, de la fonction logistique. Cette fonction logistique permet d'avoir une asymptote comprise entre 0 et 1.

SOB-CS suppose également que l'encodage dure jusqu'à ce que la force d'activation  $\eta_e(i)$  atteigne 95 % de l'asymptote  $A(i)$ .

#### **Phase de rappel**

La phase de rappel se déroule en deux étapes. Premièrement, les positions sont utilisées comme indice pour récupérer les items auxquelles ils ont été associés lors de l'apprentissage. Pour la récupération de l'item en position  $i$ , la matrice de poids  $W$  est multipliée par le vecteur de position  $p_i$  et on obtient :

$$v'_i = Wp_i \quad (2.9)$$

où  $v'_i$  représente une version déformée du vecteur original  $v_i$ .  $v'_i$  est un mélange entre la représentation  $v_i$  et les autres représentations des items de la liste à apprendre, étant donné que les représentations des positions se chevauchent partiellement.

Deuxièmement, la version déformée récupérée doit être reconstruite selon les connaissances à long terme existantes. C'est-à-dire que l'item déformé  $v'_i$  va être comparé à un ensemble de candidats potentiels. Le candidat le plus probable sera alors récupéré. La comparaison se fait

selon un critère de distance  $s$  comme suit :

$$s(v'_i, v_j) = e^{[-c \cdot d(v'_i, v_j)^2]} \quad (2.10)$$

où  $v_j$  représente un candidat et où la distance euclidienne  $d(v'_i, v_j)$  est pondérée par la constante  $c$ , qui détermine la discriminabilité entre les candidats. Chaque candidat obtiendra une probabilité de rappel selon l'axiome de Luce postulant que la probabilité de sélectionner un item  $i$  parmi un groupe d'items  $j$  est donnée par la fonction suivante :

$$P(v_i) = \frac{s(v'_i, v_j)}{\sum_{k=1}^n s(v'_i, v_k)} \quad (2.11)$$

où  $n$  est le nombre de candidats potentiels. Un candidat est sélectionné à l'aide d'un tirage aléatoire se basant sur la probabilité  $P(j)$  des candidats. Un item ayant une probabilité de zéro ne sera jamais rappelé et inversement, un item ayant une probabilité de 1, sera toujours rappelé.

Une fois qu'un item est rappelé, celui-ci est effacé afin d'éviter les erreurs de répétition. Un item est supprimé de la matrice de poids  $W$  par anti-apprentissage hebbien comme suit :

$$\delta w = -\eta_s(j) v_s p_j^T \quad (2.12)$$

où  $\eta_s(j)$  correspond à la force avec laquelle le vecteur sera supprimé. Cette force est calculée comme lors de l'encodage d'un item (voir équation ci-dessous) ;  $p_j$  correspond à la position à laquelle cet item est associé ;  $v_s$  correspond au vecteur qui a été rappelé et que l'on souhaite effacer.

$$\eta_s(j) = \Omega(j)(1 - e^{-t_s r})$$

où  $t_s$  correspond au temps dédié au *removal* de l'item et  $r$  correspond à la force de *removal*.  $\Omega(j)$  est la valeur asymptotique de la force de *removal* et celle-ci est calculée à l'aide d'une fonction logistique qui dépend de l'énergie de l'item à supprimer.

$$\Omega(j) = \frac{1}{1 + \exp(-\frac{E_j}{E_1})}$$

où  $E_1$  correspond à l'énergie du premier item rappelé.

### 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

**Les différents types d'erreurs de rappel.** Comment ce modèle permet-il de rendre compte des erreurs de rappel telles que les transpositions, les intrusions ou les omissions ? Tout d'abord, comme pour TBRs\*, les erreurs de transposition sont possibles car les vecteurs de positions se chevauchent. Par exemple, les liens créés entre la position 1 et l'item A peuvent engendrer des liens entre la position 2 et l'item A car la position 1 et la position 2 partagent certaines unités.

Ensuite, les candidats potentiels lors de la phase de rappel ne contiennent pas uniquement des items de la liste. Cela permet au modèle de générer des erreurs d'intrusion. Le vecteur déformé  $v'_i$  peut s'avérer être plus proche d'un item n'appartenant pas à la liste qu'à l'item original encodé. Un exemple réel serait de rappeler le mot « trompette » au lieu du mot « trombone ». Ces deux mots sont proches sémantiquement car ce sont des instruments de musique mais aussi phonologiquement, car ces deux mots commencent par la même syllabe « trom ». Si, lors du rappel on se souvient seulement de deux éléments comme : « c'est un instrument de musique » et le mot commence par « trom » alors il est autant probable de rappeler « trompette » que « trombone ». L'avantage du modèle SOB-CS face au modèle TBRs\* est qu'il peut simuler les erreurs d'intrusions des distracteurs, du moins si ceux-ci sont de la même classe que les items à mémoriser. En effet, si par exemple les distracteurs sont des lettres et les items sont des mots, alors les participants ne feront jamais d'erreurs d'intrusions de distracteurs.

Enfin, un seuil de récupération  $\theta$  supérieur à 0 permet de créer des erreurs d'omissions. Si la probabilité  $P(i)$  (2.11) est inférieure au seuil  $\theta$  alors les auteurs considèrent que c'est une erreur d'omission. C'est-à-dire qu'aucun item n'est rappelé.

Le modèle SOB-CS ajoute un bruit gaussien  $N_0$  sur tous les poids d'activation correspondant aux interférences lors de la phase de rappel. L'ajout de ce bruit gaussien permet d'augmenter tout type d'erreur de manière aléatoire et il représente en quelque sorte tout ce qui est de l'ordre du hasard et qui n'est pas décrit par le modèle (comme par exemple la variabilité inter et intra sujets).

#### **Phase de traitement**

Pour être traité, le distracteur est activé au sein du focus attentionnel, ce qui revient à encoder ce distracteur au sein de la matrice  $W$ . Tous les items et distracteurs sont superposés au même endroit et cette interférence par superposition causerait ainsi l'oubli en mémoire de travail selon SOB-CS. En effet, l'encodage des distracteurs va déformer la représentation des items en

mémoire et ainsi détériorer les performances de rappel. L'encodage d'un distracteur se fait exactement de la même manière que l'encodage d'un item (voir les équations 2.6 et 2.7). Cependant, une question se pose : à quelle position le distracteur est-il encodé ? Oberauer, Lewandowsky, et al. (2012) supposent qu'un distracteur est encodé à la même position que celle de l'item qui le précède. Si tel est le cas, le distracteur encodé à la position avec l'item qui le précède va être en plus grande compétition avec cet item qu'avec les autres. En effet, selon Oberauer, Farrell, et al. (2012, exp.2 & 3), la proportion d'intrusions de distracteurs est supérieure au niveau de la position de l'item qui précédait ce distracteur qu'au niveau des autres positions.

### **Phase de temps libre**

Lorsque l'attention est libre de tout traitement, ce temps est utilisé pour supprimer (mécanisme de *removal* que nous avons présenté dans le chapitre précédent) le distracteur qui vient juste d'être traité et donc encodé. Le *removal* de ce distracteur se fait de la même manière que la suppression de réponse dans la phase de rappel (voir équation 2.12). Ce *removal* permet, comme nous l'avons dit précédemment, de rendre compte de l'effet du CC dans une tâche d'empan complexe.

### **2.3.4 Les paramètres libres du modèle**

Le modèle SOB-CS est composé de 10 paramètres libres dont les valeurs par défaut sont indiquées ci-dessous :

- 1)  $s_p = 0.5$ , détermine la similarité entre les positions voisines ;
- 2)  $s_{dis} = 0.5$ , détermine la similarité entre des listes d'items dissimilaires ;
- 3)  $s_{sim} = 0.65$ , détermine la similarité entre des items similaires ;
- 4)  $s_c = 0.35$ , détermine la similarité entre un prototype ; *item* et un prototype ; *distracteur* quand les distracteurs et les items viennent de deux catégories différentes ;
- 5)  $R = 6$ , détermine la rapidité à laquelle item et distracteur sont encodés ;
- 6)  $r = 1.5$ , détermine la rapidité à laquelle item et distracteur sont effacés ;
- 7)  $g = 0.0033$ , représente le gain de la fonction logistique qui transforme l'énergie en force d'encodage ;
- 8)  $e = -1000$ , représente le seuil de la fonction logistique qui transforme l'énergie en force

### 2.3 Le modèle computationnel SOB-CS

d'encodage ;

- 9)  $c = 1.3$ , détermine la discriminabilité entre les candidats lors du rappel<sup>5</sup> ;
- 10)  $N_0 = 1.5$ , représente l'écart type du bruit gaussien ajouté après chaque rappel ;
- 11)  $\theta = 0$ .

Dans l'article d'Oberauer, Lewandowsky, et al. (2012), les auteurs définissent les quatre premières variables de la liste ci-dessus comme étant des paramètres fixes. Ces paramètres sont les mêmes que dans leur modèle précédent C-SOB (Farrell, 2006).

Les paramètres  $s_*$ ,  $N_0$ ,  $g$ ,  $e$  et  $c$  ont été déterminés arbitrairement. Les paramètres  $R$  et  $r$  ont été déterminés en se basant sur des travaux expérimentaux.  $R$  a été déterminé de la même manière que dans TBRS\*. La valeur de  $r$  est estimée à 1.5 en se basant sur des travaux de Oberauer (2001, 2002) qui ont montré que l'effacement d'un item prenait entre 1 et 2 secondes.

#### 2.3.5 Similarités et différences entre TBRS\* et SOB-CS

SOB-CS et TBRS\* ont certaines similarités : l'apprentissage hebbien, la suppression lors du rappel, l'ajout d'un bruit gaussien à la phase de rappel, la récupération à l'aide de la position. Ces deux modèles ont également d'importantes différences : la représentation de la couche des items, le mécanisme de restauration, et la phase de traitement du distracteur. Toutes ces similarités et différences sont résumées dans la table 2.3 ci-dessous.

---

5. Ce paramètre se trouve dans l'équation 2.10. Plus  $c$  est élevée, plus la pente de l'exponentielle est élevée et donc plus la similarité entre l'item déformé et l'item candidat diminuera rapidement. Un paramètre de discriminabilité élevée permet de diminuer les interférences de confusion entre les candidats.



TABLE 2.3 – Récapitulatif des similarités et des différences entre TBRS\* et SOB-CS.

	<b>TBRS*</b>	<b>SOB-CS</b>
Architecture	<p>La couche des items (représentation <b>localiste</b>)</p> <p>← item C activé (<math>v_c</math>)</p> <p>← Matrice de poids <math>W</math></p> <p>← position 1 activée (<math>p_1^T</math>)</p>	<p>La couche des items (représentation <b>distribuée</b>)</p> <p>← item C activé (<math>v_c</math>)</p> <p>← Matrice de poids <math>W</math></p> <p>← position 1 activée (<math>p_1^T</math>)</p>
Encodage	<p>Apprentissage hebbien</p> $\delta W = \eta p_i^T v_j \text{ avec } \eta = A(1 - e^{-R^t t_e})$ <p>La force d'encodage est limitée par une constante <math>L</math> et ne dépend pas de l'item : <math>A = L - W</math></p> $R' = N(R, s)$	<p>La force d'encodage dépend de la nouveauté de l'item vis à vis de ce qui a été encodé auparavant :</p> $A = f(\text{nouveauté})$ $R' = R$
Traitement	<p>Déclin temporel ...</p> <p>... pendant le temps <math>t_t</math></p> $W = W * e^{-Dt_t}$	<p>Encodage du distracteur ...</p> $\delta W = A(k)(1 - e^{Rt_t})p_i^T d_k$
Temps libre	<p>Restauration</p> <p><i>refreshing</i> cumulatif des items pendant une durée <math>T_r</math> par item</p>	<p><i>removal</i> du distracteur qui vient d'être encodé</p>
Rappel	<p>Ajout d'un bruit gaussien avant le rappel de chaque item</p> <p>Récupération à l'aide de la position courante <math>p_i</math></p> $V = p_i W$ <p><math>V</math> vecteur où chaque unité représente l'activation d'un item à la position <math>p_i</math></p> <p>La réponse correspond à l'item ayant la plus grande activation (<math>\max(V)</math>)</p> <p>Suppression de l'item rappelé</p> $\delta W = -\eta p_i^T v_{reponse}$	<p><math>V</math> vecteur représentant une déformation d'un item</p> <p>La réponse correspond à l'item stocké en mémoire ressemblant le plus au vecteur déformé <math>V</math></p>

## 2.4 L'intérêt des modèles TBRS\* et SOB-CS

Quels sont les avantages de tels modèles computationnels ? Tout d'abord, nous savons que notre MDT a une capacité très limitée pour des raisons multiples et complexes. Nous ne pouvons donc pas raisonner sur les prédictions d'un modèle en prenant en compte tous les facteurs en même temps tels que la position dans la liste, le temps de *refreshing* d'un item, le cycle de ce *refreshing*, la force du déclin, la force de *removal*, etc. Notre cerveau est incapable de prévoir précisément les performances exactes du modèle TBRS verbal par exemple. Au contraire, un modèle computationnel utilise l'ordinateur pour faire des opérations les unes à la suite des autres. Chaque opération symbolise, à l'aide de nombres et de fonctions mathématiques, un mécanisme particulier. Par exemple, nous venons de voir que dans TBRS\* et dans SOB-CS l'encodage d'un item en MDT se fait sur une durée d'environ 500 ms selon une loi exponentielle. Le résultat de la fonction exponentielle correspond, de manière symbolique, à la force d'activation à laquelle l'item a été encodé. Ainsi, TBRS\* et SOB-CS sont le regroupement d'un ensemble de telles fonctions mathématiques représentant différents mécanismes cognitifs qui interagissent entre eux. L'ordinateur va alors procéder au calcul de ces différentes opérations (ou fonctions), ce que nous, être humain, sommes incapables de faire. En effet, ces modèles vont pouvoir calculer le devenir de chaque item selon leur position dans la liste, selon les paramètres d'entrée de l'expérience (comme par exemple le CC de la tâche secondaire) et selon la valeur des paramètres libres des modèles.

De plus, grâce au calcul rapide de l'ordinateur, nous pouvons tester de nombreuses hypothèses simplement en simulant différentes configurations du modèle computationnel. Par exemple, ne connaissant pas avec certitude le temps nécessaire au *refreshing* d'un item, nous pouvons tester différents modèles TBRS\* avec différents temps de *refreshing*  $T_r$  (par exemple  $T_r = 40ms$  et  $T_r = 80ms$ ). Ce paramètre  $T_r$ , présenté précédemment, correspond à un paramètre libre du modèle TBRS\* et il peut être ajusté afin de mieux simuler des données réelles. De même, ne connaissant pas avec certitude la force du *removal*, différentes valeurs de  $r$  peuvent être testées. Nous verrons par la suite que nous avons utilisé une méthode de *grid search* sur différents paramètres afin de trouver les valeurs les mieux adaptées aux données expérimentales que l'on souhaite simuler.

Ensuite, l'adaptation des paramètres peut s'appliquer à l'étude des différences inter-individuelles

ou inter-groupes. Par exemple, si nous adaptions le modèle TBRS\* aux données de participants jeunes, alors ce modèle ne permettra pas de simuler les performances des personnes âgées ou encore des enfants. En effet, nous savons que les capacités de la MDT évolue avec l'âge. L'ajustement des modèles aux personnes âgées, par exemple, permettrait d'apporter des informations supplémentaires sur les causes de la dégradation des performances des seniors. En effet, la comparaison des valeurs de paramètres, tel que le temps de *refreshing*  $T_r$  ou la force de *removal*  $r$ , entre le modèle adapté aux adultes jeunes et le modèle adapté aux personnes âgées peut confirmer ou infirmer des hypothèses verbales. Une illustration de cette approche sera présentée dans le chapitre 5.

Enfin, un avantage spécifique aux modèles TBRS\* et SOB-CS est qu'ils reproduisent également les différents types d'erreurs de rappel réalisés dans une tâche d'empan complexe. Nous verrons en détail les différents types d'erreurs existants à la section 4 du chapitre 4.

## **Les inconvénients de tels modèles**

L'inconvénient est que les modèles computationnels sont décrits dans un formalisme plus contraint que les modèles verbaux et qu'ils peuvent donc trahir parfois les idées originelles. En effet, dès lors que l'on veut implémenter un modèle verbal au sein d'un ordinateur, des choix doivent être avancés concernant la description de chaque étape du système que l'on modélise. À partir d'un modèle verbal (par exemple le modèle TBRS), une multitude de modèles computationnels pourraient être envisagés. Actuellement, le TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011) se veut être une implémentation la plus fidèle, selon ses auteurs, du modèle TBRS. Nous verrons dans la suite que, d'après les auteurs du modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2014), TBRS\* n'est justement pas assez fidèle car il y a certaines incohérences entre le CC tel qu'il est décrit et son implémentation. Cet exemple illustre parfaitement les avantages mais aussi les inconvénients des modèles computationnels. D'un côté, un modèle computationnel permet de soulever les imprécisions des différents mécanismes décrits verbalement dans un modèle théorique. D'un autre côté, un modèle computationnel est un exemple unique, restreint, et moins flexible face à l'ajout de nouvelles hypothèses (Sun, 2008).

Récemment, Gauvrit et Mathy (2016) ont justement proposé une autre version computationnelle du modèle TBRS, le TBRS2, plus épuré que le modèle TBRS\*. En effet, le modèle TBRS2 ne fait pas d'hypothèses concernant l'architecture de la MDT ou l'encodage de l'ordre sériel. Le

#### 2.4 L'intérêt des modèles TBRS\* et SOB-CS

modèle TBRS2 permet de tester plus spécifiquement l'hypothèse déclin-*refreshing* des items. Ainsi, cette version plus épurée ne confond pas l'hypothèse de déclin-*refreshing* avec d'autres hypothèses. Certes, il est plus limité car il ne permet pas de tester les réponses selon la courbe de position sérielle ni les différents types d'erreurs comme TBRS\* par exemple, mais il est plus transparent et permet de tester plus simplement l'hypothèse du modèle TBRS ainsi que différentes variantes du mécanisme de *refreshing*. Au contraire, la complexité des modèles TBRS\* et SOB-CS peut parfois rendre l'interprétation des résultats de simulation très compliquée.



## **Deuxième partie**

### **Travaux expérimentaux**



## Les objectifs de la thèse

Comment maintenons-nous l'information face à l'oubli imposé par les distracteurs ? C'est la question à laquelle ma thèse a tenté de répondre en s'appuyant principalement sur les modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, ces deux modèles computationnels s'opposent sur les causes de l'oubli en MDT et, en conséquence, sur les mécanismes de maintien existants. D'un côté, TBRS\* suppose que le maintien en MDT se fait grâce au *refreshing* qui nécessite de l'attention et qui permet de réactiver les traces mnésiques avant que celles-ci ne disparaissent de la MDT en raison du déclin temporel. D'un autre côté, SOB-CS suppose que le maintien en MDT se fait grâce au *removal* qui nécessite également de l'attention mais qui permet, à la différence du *refreshing*, de supprimer les informations non pertinentes (les distracteurs) qui déforment les informations pertinentes (via l'interférence par superposition). Nous nous sommes donc intéressés dans cette thèse à deux mécanismes de maintien spécifiques : le *refreshing* et le *removal*.

Les travaux de thèse peuvent être organisés selon trois axes de recherche, présentés dans trois chapitres distincts. Premièrement, dans le chapitre 3, nous présenterons une étude qui a été menée lors de mon séjour de trois mois à Bristol au cours de cette thèse. Nous avons collaboré avec Stephan Lewandowsky afin de travailler plus particulièrement sur le modèle SOB-CS. Au cours de ce séjour, nous avons principalement travaillé sur une hypothèse concernant le *removal* et l'interférence par superposition. Une expérience comportementale a permis de tester une nouvelle prédiction du modèle SOB-CS. Le chapitre 3 sera donc consacré à cette expérience testant le mécanisme de *removal* dans une tâche d'empan complexe. Cette étude a fait l'objet d'une présentation orale à la conférence Cogsci à Londres ainsi qu'un article dans les actes de la conférence (Hoareau et al., 2017).

Deuxièmement, dans le chapitre 4, nous avons testé les modèles computationnels face à la question de départ suivante : quel est l'effet du nombre de distracteurs sur les performances de rappel en MDT ? Puisque les modèles d'intérêt font des prédictions différentes vis-à-vis de cette question, nous les avons testés à l'aide d'expériences comportementales dans lesquelles les participants réalisaient une tâche d'empan complexe. Les résultats expérimentaux ont montré les limites des mécanismes de maintien des modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS. En effet, la dernière expérience a montré que la MLT semble avoir une place importante dans les



tâches d'empan complexes, ce qui n'est pas modélisé par les modèles TBRS\* et SOB-CS. Ces travaux ont été présentés à un workshop (Ovronnaz, Suisse, 2017) et ont donné lieu à l'écriture d'un article qui a été soumis (Jarjat et al., submitted). Ainsi, nous avons analysé en détail la capacité des modèles TBRS\* et SOB-CS à reproduire les courbes de positions sérielles de nos expériences comportementales afin d'établir des pistes d'amélioration de ces modèles.

Troisièmement, nous nous sommes intéressés aux effets du vieillissement sur la MDT. En effet, il est reconnu dans la littérature que la MDT se dégrade avec l'âge. Une question importante est donc d'essayer de comprendre les causes de cette dégradation afin de cibler au mieux les méthodes de prévention. Le chapitre 5 présentera deux études consacrées à cette recherche. Notre première étude a testé la question suivante : les baisses de performances de MDT observées chez les personnes âgées en tâche d'empan complexe sont-elles attribuables à des mécanismes spécifiques à la mémorisation à court terme ? En effet, puisque la dernière expérience du chapitre 4 a montré une grande importance de la MLT en tâche d'empan complexe, nous avons cherché à tester si cette composante était impliquée dans le vieillissement de la MDT. Une deuxième étude s'est intéressée plus globalement au déficit potentiel des personnes âgées en utilisant les modèles computationnels. L'objectif a été, à travers des simulations, de trouver les causes de ce déficit chez les personnes âgées en utilisant les modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS. Malgré l'opposition théorique qui caractérise les deux modèles, comme nous l'avons vu précédemment, cette étude a permis de dégager des points communs concernant les causes d'un déficit de la MDT dans le vieillissement. Cette étude a fait l'objet d'une publication (Hoareau, Lemaire, Portrat, & Plancher, 2015).

# Chapitre 3

## Étude du mécanisme d'effacement (le *removal*) des traces non pertinentes

### Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>Les différents systèmes de mémoire</b> . . . . .	<b>15</b>
1.1.1	Mémoire immédiate et mémoire à long terme . . . . .	15
1.1.2	La mémoire de travail . . . . .	19
1.1.3	Conception à composantes multiples ou conception unitaire de la MDT	23
1.1.4	Les tâches d'empan simples et d'empan complexes . . . . .	28
<b>1.2</b>	<b>L'oubli en MDT</b> . . . . .	<b>31</b>
1.2.1	Le déclin temporel . . . . .	32
1.2.2	Les interférences . . . . .	38
<b>1.3</b>	<b>Maintien des informations verbales en MDT</b> . . . . .	<b>45</b>
1.3.1	L'auto-répétition subvocale : <i>rehearsal</i> ou <i>articulatory rehearsal</i> . . .	47
1.3.2	Le rafraîchissement attentionnel : <i>refreshing</i> ou <i>attentional refreshing</i>	49
1.3.3	La récupération silencieuse : <i>covert retrieval</i> . . . . .	60
1.3.4	La consolidation à court terme : <i>short-term consolidation</i> . . . . .	62
1.3.5	La suppression : <i>removal</i> . . . . .	64
<b>1.4</b>	<b>Conclusion</b> . . . . .	<b>68</b>

---

### CHAPITRE 3 : *Étude du mécanisme d'effacement (le removal) des traces non pertinentes*

Ce chapitre se consacre uniquement au modèle SOB-CS et plus particulièrement au mécanisme de *removal*. Pour rappel, ce mécanisme permet d'expliquer l'effet du CC dans une tâche d'empan complexe sans avoir recours au déclin-rafraîchissement du modèle TBRS. Si le déclin passif n'existe pas, alors un mécanisme actif permettant de réduire l'activation des informations non pertinentes semble nécessaire. Sinon, la MDT pourrait difficilement être mise à jour. Ce mécanisme d'effacement actif est controversé car l'action de maintien en MDT se fait en agissant sur les informations non pertinentes plutôt que sur les informations pertinentes. En effet, il est contre-intuitif de concevoir que, pour maintenir un item, notre cerveau se consacre à l'effacement des informations non pertinentes plutôt qu'au rafraîchissement des informations pertinentes. Cependant, dans certains modèles computationnels basés sur le déclin temporel, tel que le *primacy model* (Page & Norris, 1998), un effacement des informations non-pertinentes est nécessaire lors du rappel afin d'éviter les erreurs de répétitions. Dès qu'un item a été rappelé, celui-ci doit être effacé de la MDT. Si un tel effacement est nécessaire lors du rappel, pourquoi ne le serait-il pas lors des phases de temps libre dans une tâche d'empan complexe ? Nous avons mis en place une étude permettant de tester le mécanisme d'effacement de SOB-CS à travers une nouvelle hypothèse combinant le *removal* et le mécanisme d'interférence par superposition.

### **3.1 Prédications du modèle SOB-CS basées sur le mécanisme d'interférence par superposition et le mécanisme de *removal***

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la MDT est limitée dans SOB-CS car les items et les distracteurs sont encodés au même endroit, créant ainsi des interférences, appelées interférence par superposition. Dans SOB-CS, une liste d'items est encodée en mémoire en associant chaque item à sa position dans la liste via la loi hebbienne. De plus, il est supposé que le traitement des distracteurs induit l'encodage de ceux-ci de la même manière que l'encodage des items. Plus particulièrement, un distracteur est toujours associé à la position de l'item à mémoriser qui le précède. Ainsi, les distracteurs vont déformer particulièrement la représentation de l'item qui le précède. En termes d'implémentation, tous les items et les distracteurs sont encodés dans une même matrice. Ce mécanisme d'interférence par superposition est une cause importante de l'oubli en MDT selon SOB-CS. Dans la section *Oubli* du chapitre 1, l'interférence par superposition est présentée en utilisant l'analogie de l'imprimante et nous avons expliqué pourquoi, selon ce mécanisme d'interférence par superposition, une faible similarité entre les items et les distracteurs subséquents créeront plus de distorsions qu'une forte similarité, réduisant ainsi les performances de MDT. Pour pallier cette distorsion, les distracteurs sont effacés pendant la durée de temps libre. Par conséquent, si la durée de temps libre est suffisamment longue pour que la totalité du distracteur soit effacé, alors le modèle prédit que l'effet de similarité entre le distracteur et l'item sur les performances de mémorisation devrait disparaître. L'objectif de l'étude que nous allons présenter dans ce chapitre 3 a été de tester cette hypothèse.

Pour cela, il est nécessaire de tester spécifiquement le mécanisme d'interférence par superposition. Cependant, SOB-CS implémente également un mécanisme d'interférence par confusion qui, pour rappel, suppose que plus les distracteurs et les items sont similaires, plus les erreurs de confusions seront élevées et donc moins les performances de rappel seront bonnes. Ainsi, le mécanisme d'interférence par confusion implémenté dans SOB-CS induit des prédictions opposées à celles résultant de l'interférence par superposition. En conséquence, l'effet dû à l'interférence par confusion pourrait venir annuler l'effet dû à l'interférence par superposition. Nous allons voir dans la suite comment Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont réussi à tester spécifiquement

le mécanisme d'interférence par superposition en contrôlant l'interférence par confusion. Nous nous sommes inspirés de leur paradigme pour tester notre hypothèse d'interaction entre le *removal* et l'interférence par superposition.

Dans le but de tester particulièrement l'interférence par superposition, Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont étudié l'effet de similarité phonologique entre les items et les distracteurs dans une tâche d'empan complexe. Les mécanismes d'interférence par superposition et par confusion, implémentés au sein du modèle SOB-CS, ont été testés à travers quatre expériences. Celles-ci ont permis de confirmer certaines hypothèses fortes du modèle SOB-CS en répondant positivement aux trois questions qui suivent :

- 1) Observons-nous un effet bénéfique de la similarité entre les items et les distracteurs, comme prédit par l'interférence par superposition ?
- 2) Observons-nous un effet délétère de la similarité entre les items et les distracteurs, comme prédit par l'interférence par confusion ? Cet effet est inversé par rapport au précédent mais nous verrons que leur paradigme permettait justement de distinguer ces deux types d'interférences.
- 3) les distracteurs sont-ils encodés et liés à la même position que l'item qui les précède ?

Pour répondre à ces questions, Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont utilisé une tâche d'empan complexe dans laquelle quatre ou cinq non-mots (selon l'expérience) devaient être mémorisés et, entre chacun d'eux, deux distracteurs devaient être lus à haute voix. Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont manipulé la similarité phonologique entre les items et les distracteurs. Les non-mots n'ayant aucun sens, les participants étaient contraints d'encoder les items et les distracteurs selon leurs sonorités. De plus, ils ont choisi d'utiliser un rappel par reconstruction parmi un ensemble de candidats, plutôt qu'un rappel libre, pour deux raisons. D'un point de vue pratique, les non-mots sont plus difficilement récupérables que des mots, ainsi un rappel libre mènerait à des performances trop faibles. D'un point de vue plus théorique, cette méthode permettait de contrôler les candidats potentiels et ainsi l'interférence par confusion. La façon dont l'interférence par confusion est contrôlée est précisé par la suite.

Dans leur première expérience, les non-mots à rappeler étaient présentés seuls lors de la phase de reconstruction. Ainsi, l'absence de distracteurs permettait d'empêcher les erreurs dues à l'interférence par confusion lors de la phase de rappel. Par conséquent, les effets dues à l'interférence par superposition ne pouvaient pas être annulés par un effet opposé dû aux interférences

### 3.1 Prédiction du modèle SOB-CS

par confusion. Cette première expérience a montré un effet bénéfique de la similarité entre les items et les distracteurs. Au vu des résultats, la réponse à la première question est donc positive et est en faveur de l'existence des interférences par superposition.

Pour répondre à la seconde question, les distracteurs et des non-mots n'appartenant pas à la liste de non-mots de l'essai (appelé NPL par la suite pour *non presented lures* en anglais) ont été présentés, en plus des quatre items à mémoriser, lors de la phase de reconstruction. Plus précisément, quatre distracteurs et quatre NPL étaient présentés à l'écran. De cette manière, l'intrusion des distracteurs a pu être analysée. Les résultats ont montré que l'intrusion des distracteurs et des NPL était plus importante lorsque ceux-ci étaient similaires aux items. D'après ces résultats, la similarité entre les items et les distracteurs, ou entre les items et les NPL, a bien un effet délétère. Par ailleurs, dans les expériences 2 et 3, les résultats ont montré que, malgré les effets dus à l'interférence par confusion, les performances de rappel étaient meilleures dans la condition de forte similarité, comme prédit par l'interférence par superposition. En effet, le taux de confusion globale selon la condition de similarité a été contrôlé et équilibré selon les deux conditions de similarité à l'aide des NPL. Ces derniers étaient similaires aux items dans la condition de faible similarité, et dissimilaires aux items dans la condition de forte similarité. Ainsi, peu importe la condition de similarité, il y avait toujours quatre items similaires aux items à mémoriser et quatre items dissimilaires aux items à mémoriser parmi les candidats de la phase de reconstruction, ce qui permettait d'équilibrer le taux de confusion dans les deux conditions.

Enfin, pour répondre à la troisième question, Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont judicieusement manipulé la place des distracteurs dans la condition de forte similarité. D'après SOB-CS, les distracteurs sont encodés à la position de l'item qui les précède. Ainsi, ce modèle suppose qu'un effet bénéfique de la similarité entre les items et les distracteurs sera observé uniquement si ces derniers suivent immédiatement l'item avec qui ils sont similaires. Dans les trois premières expériences, les distracteurs similaires ont été placés immédiatement après l'item concerné. Au contraire, dans la quatrième expérience, les distracteurs similaires étaient placés juste avant l'item concerné. Dans cette dernière expérience, l'effet bénéfique de la similarité entre les items et distracteurs n'existait plus comme prédit par SOB-CS. La réponse à la troisième question est donc positive : les distracteurs semblent être encodés à la même position que l'item qui les précède. De plus, grâce à l'ajout de distracteurs à la phase de rappel, la proportion d'intrusion des distracteurs selon leur position d'encodage a pu être mesurée. Les résultats ont

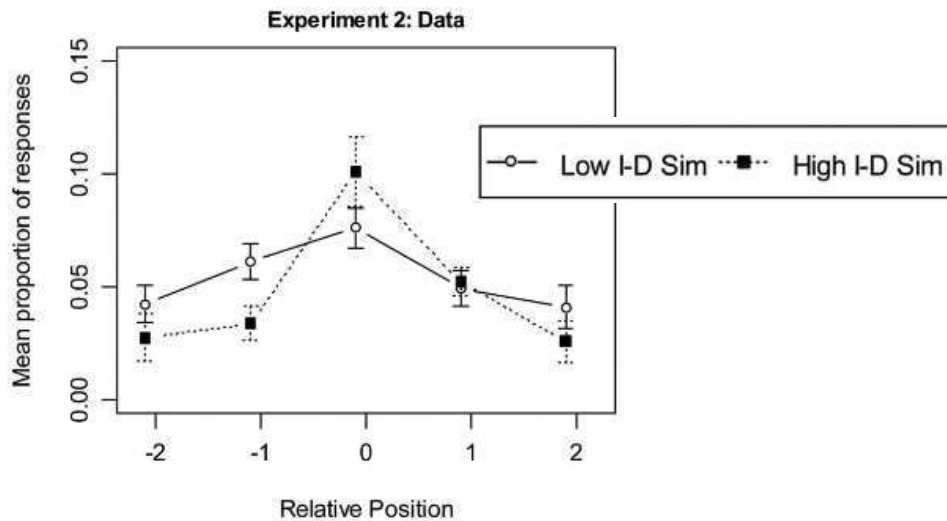


FIGURE 3.1 – Pourcentage d'intrusion de distracteurs en fonction de la position relative et de la similarité entre les items et les distracteurs repris de l'expérience 2 de Oberauer, Farrell, et al. (2012).

montré que les distracteurs étaient plus souvent rappelés, par erreur, à la même position que celui de l'item qui les précède qu'aux autres positions (voir la figure 3.1). Ces résultats sont venus renforcer l'idée qu'un distracteur est encodé à la position de l'item qui le précède.

En résumé, Oberauer, Farrell, et al. (2012) ont donc vérifié à travers quatre expériences des prédictions majeures du modèle SOB-CS. Cependant, dans ces expériences le CC de la tâche de traitement n'a jamais été manipulé et le *removal* n'a donc pas été testé. Ainsi, l'objectif de notre étude a été de reprendre le même protocole que l'expérience 2 de Oberauer, Farrell, et al. (2012) et d'ajouter une variable indépendante, le CC de la tâche de traitement, en faisant simplement varier le rythme d'apparition des distracteurs. Si le *removal* supprime le distracteur venant d'être encodé, alors nous nous attendons à observer une amélioration des performances à mesure que le rythme augmente, comme cela a déjà été observé de nombreuses fois. Plus particulièrement ici, le modèle SOB-CS suppose que l'ajout de temps libre après chaque distracteur va engendrer une baisse de l'effet de similarité. En effet, à mesure que le *removal* agit, le distracteur s'efface et l'effet de similarité induit par l'encodage des distracteurs s'estompe. En effet, plus le distracteur est effacé, plus l'impact de ce distracteur sur la déformation de l'item est affaibli. Dans le cas où le distracteur est totalement effacé de la MDT, alors l'effet de similarité ne devrait plus être observé du tout. Pour bien comprendre, la figure 3.2 illustre cette interaction à l'aide de l'analogie

### 3.1 Prédications du modèle SOB-CS

<i>Temps libre</i>	<i>0 ms</i>	<i>1300 ms</i>	<i>2000 ms</i>
<i>Forte Sim.</i>	<b>chapeau</b>	<b>chapeau</b>	<b>chateau</b>
<i>Faible Sim</i>	<b>obâteœu</b>	<b>châteœu</b>	<b>château</b>

FIGURE 3.2 – Analogie de l'imprimante pour illustrer l'interaction entre l'effet de similarité et l'effet du temps libre. Lorsque le temps libre est de 0 ms, l'effet de similarité est important : le mot « château » est bien plus difficile à récupérer dans le cas d'une faible similarité du distracteur avec ce mot (« voilier ») que dans le cas où le distracteur est fortement similaire (« chapeau »). À partir de 2000 ms, l'effet de similarité disparaît car les distracteurs sont totalement effacés.

de l'imprimante, concernant l'interférence par superposition, présentée dans le chapitre 1.

Nous avons donc testé cet effet d'interaction à travers une expérience comportementale (l'expérience 1 de cette thèse). Avant de présenter les travaux expérimentaux, nous avons simulé cette expérience 1 avec le modèle SOB-CS pour vérifier nos hypothèses verbales.



## 3.2 Simulation du modèle SOB-CS

Pour tester la prédiction d'interaction entre la similarité entre les items et les distracteurs (I-D) et le temps libre, suggérant que l'effet de similarité I-D diminue à mesure que le temps libre augmente, nous avons réutilisé et adapté la simulation présentée dans Oberauer, Farrell, et al. (2012).

Brièvement, notre expérience comportait deux conditions de similarité (forte vs faible) et trois conditions de rythme (2400 ms, 1800 ms et 1000 ms). Le nombre de non-mots à mémoriser s'élevait à quatre et, entre chaque non-mot à mémoriser, deux non-mots devaient être lus. À la phase de rappel, 12 candidats étaient présentés à l'écran : les quatre items, quatre distracteurs et quatre leurres (NPL).

### 3.2.1 Méthode

Pour simuler cette expérience, il a tout d'abord fallu reproduire les conditions de similarité. Pour cela, les stimuli (c'est-à-dire des vecteurs dont les valeurs sont des 1 ou des -1) ont été générés et organisés en huit groupes dissimilaires (avec le paramètre par défaut  $s_{dis} = 0.5$ , voir le chapitre 2) pour chaque essai. Chaque groupe était composé de dix stimuli similaires (avec le paramètre par défaut  $s_{sim} = 0.6$ , voir le chapitre 2). À partir de ces huit groupes, les items, les distracteurs et les NPL étaient sélectionnés selon la condition de similarité entre les items, les distracteurs et les NPL.

Dans la condition de forte similarité, les distracteurs provenaient des mêmes groupes que ceux des items et les NPL provenaient des quatre groupes restants. Dans la condition de faible similarité, les distracteurs provenaient de groupes différents de ceux des items, et, au contraire, les NPL provenaient des mêmes groupes que ceux des items. Le tableau 3.1 donne un exemple de la façon dont les essais sont formés selon la condition de similarité dans l'expérience, et par conséquent, dans la simulation.

Une fois que les conditions de similarité de l'expérience représentées, nous avons dû définir en entrée du modèle les différentes conditions de rythme de l'expérience : lent (un distracteur toutes les 2600 ms), modéré (un distracteur toutes les 1800 ms) ou rapide (un distracteur toutes les 1000 ms). Pour cela, nous avons simplement ajusté le paramètre d'entrée faisant varier le temps libre suivant un distracteur. Cependant, une hypothèse concernant le temps d'encodage du

### 3.2 Simulation du modèle SOB-CS

distracteur a dû être faite : nous avons repris le temps d'encodage proposé par Oberauer, Farrell, et al. (2012). Dans toutes leurs simulations, reproduisant bien les données comportementales, la durée d'encodage d'un distracteur était paramétrée à 1 000 ms. Comme le rythme d'apparition du distracteur était de 1 000 ms dans leurs expériences, aucun temps libre n'était disponible pour effacer les distracteurs, indiquant qu'ils n'avaient pas utilisé le mécanisme de *removal* dans leurs simulations. Dans le but de répliquer les résultats obtenus par Oberauer, Farrell, et al. (2012) dans cette condition (qui est la condition du rythme rapide dans notre expérience), nous avons également mis la durée d'encodage du distracteur à 1 000 ms<sup>1</sup>. Dans la condition à rythme modéré (1 800 ms) et lent (2 600 ms) de notre étude, le mécanisme de *removal* était utilisé car il y avait 800 ms et 1 600 ms de temps libre disponible suivant chaque distracteur.

Nous avons simulé 1 000 sujets, chacun d'eux réalisant cinq essais dans chacune des conditions. Oberauer, Farrell, et al. (2012) avaient utilisé les paramètres par défaut du modèle SOB-CS, excepté pour le paramètre de *discriminabilité c*. La valeur de celui-ci a été passée de 1.3 à 0.45 pour abaisser globalement les performances de rappel afin de mieux s'ajuster aux données comportementales. Cette nouvelle valeur de *c* était justifiée car il est plausible que les non-mots aient moins de caractéristiques distinctives que des mots bien connus. Dans notre simulation, nous avons fait de même que dans Oberauer, Farrell, et al. (2012) excepté que l'on a encore plus abaissé la valeur du paramètre *c* à 0.3 au lieu de 0.45. Encore une fois, cette valeur se justifiait car, dans notre expérience, nous nous sommes assurés que chaque non-mot (item, distracteur ou NPL) était vu par le participant une seule fois dans toute l'expérience. Au contraire, dans Oberauer, Farrell, et al. (2012), 100 essais étaient présentés utilisant un ensemble de seulement 36 non-mots. Un essai nécessitant 16 items, c'est-à-dire presque la moitié de l'ensemble des non-mots, chaque participant voyait donc chaque item plus de 40 fois pendant la totalité de l'expérience. Ainsi, les non-mots pouvaient sembler moins inconnus et donc ils pourraient avoir plus de caractéristiques distinctives au fur et à mesure de l'expérience. Oberauer, Farrell, et al. (2012) notent que cette hypothèse pourrait expliquer pourquoi les non-mots sont plus difficiles à rappeler que les mots.

---

1. Cette durée d'encodage nous semble relativement élevée, sachant qu'un item est encodé durant 500 ms, mais nous étions surtout intéressés par l'effet relatif d'un ajout de temps libre et non pas l'effet absolu du temps libre dans cette étude.

TABLE 3.1 – Schémas et exemples d'une séquence de liste en condition similaire et en condition dissimilaire. Les lettres représentent un groupe similaire et les chiffres représentent des éléments de ce groupe. Dans la phase de rappel, quatre items, quatre distracteurs et quatre NPL sont présentés. Nous indiquons dans ce tableau uniquement les quatre type de NPL selon la condition de similarité. Les couleurs correspondent aux couleurs d'affichage à l'écran lors de l'expérience.

Condition	Schéma		Exemple	
	Similaire	Dissimilaire	Similaire	Dissimilaire
<b>Item1</b>	<b>J1</b>	<b>J1</b>	<b>baff</b>	<b>baff</b>
Distracteur1.1	J2	P1	daff	jaab
Distracteur1.2	J3	P2	haff	maab
<b>Item2</b>	<b>K1</b>	<b>K1</b>	<b>rame</b>	<b>rame</b>
Distracteur2.1	K2	Q1	vame	zegg
Distracteur2.2	K3	Q2	pame	yegg
<b>Item3</b>	<b>L1</b>	<b>L1</b>	<b>nidd</b>	<b>nidd</b>
Distracteur3.1	L2	R1	jidd	vipe
Distracteur3.2	L3	R2	gidd	yipe
<b>Item4</b>	<b>M1</b>	<b>M1</b>	<b>muzz</b>	<b>muzz</b>
Distracteur4.1	M2	S1	nuzz	voke
Distracteur4.2	M3	S2	luzz	roke
<b>Pour le rappel (NPL)</b>				
NPL1	P1	J2	jaab	daff
NPL1	Q1	K2	yegg	pame
NPL3	R1	L2	yipe	jidd
NPL4	S1	M2	voke	luzz

### 3.2 Simulation du modèle SOB-CS

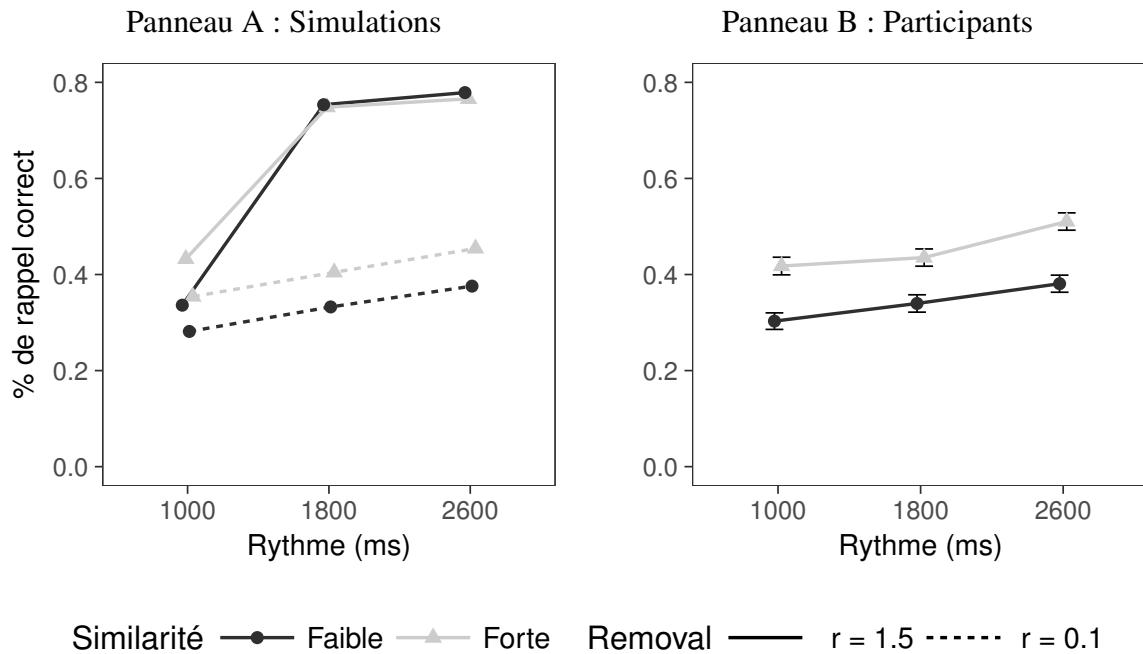


FIGURE 3.3 – Proportion de réponses correctes. Les barres d’erreur représentent l’intervalle de confiance à 95 % pour une comparaison intra-sujet. L’intervalle de confiance en intra-sujet est calculé avec la fonction `summarySEwithin` du package `Rmisc` dans R utilisant la méthode de calcul présenté par Morey (2008).

### 3.2.2 Résultats de simulation

#### Réponses correctes

Une réponse est marquée comme correcte quand un item de la liste est rappelé à la bonne position. Le panneau A<sup>2</sup> de la figure 3.3 présente le pourcentage de réponses correctes du modèle en fonction du rythme et de la similarité. Comme attendu, la simulation montre un effet du rythme (38%, 75% et 77% dans les conditions rapide, modéré et lente respectivement) et un effet d’interaction où l’effet bénéfique de la similarité (ou dans l’autre sens l’effet délétère de la dissimilarité) disparaît à rythme lent et modéré. En effet, nous constatons qu’à un rythme élevé le pourcentage de réponses correctes est plus important dans la condition de forte similarité par rapport à la condition de faible similarité (43% vs 33%). Au contraire, à rythme modéré et lent,

2. Tous les résultats discutés ci-dessous sont représentés par les lignes pleines des panneaux A des différentes figures, correspondant à la simulation de l’expérience avec la valeur de la force du *removal*  $r$  par défaut ( $r = 1.5$ ). Les lignes pointillées seront discutées dans la section 3.5

la différence entre ces deux conditions de similarité est nulle, voir même inversée (75% vs 75% et 76% vs 78% pour les rythmes modéré et lent respectivement).

Nous avons également analysé les trois différents types d'erreurs possibles. Une erreur de rappel peut être une intrusion d'un distracteur, une intrusion d'un NPL ou une transposition (rappel d'un item de la liste à la mauvaise position).

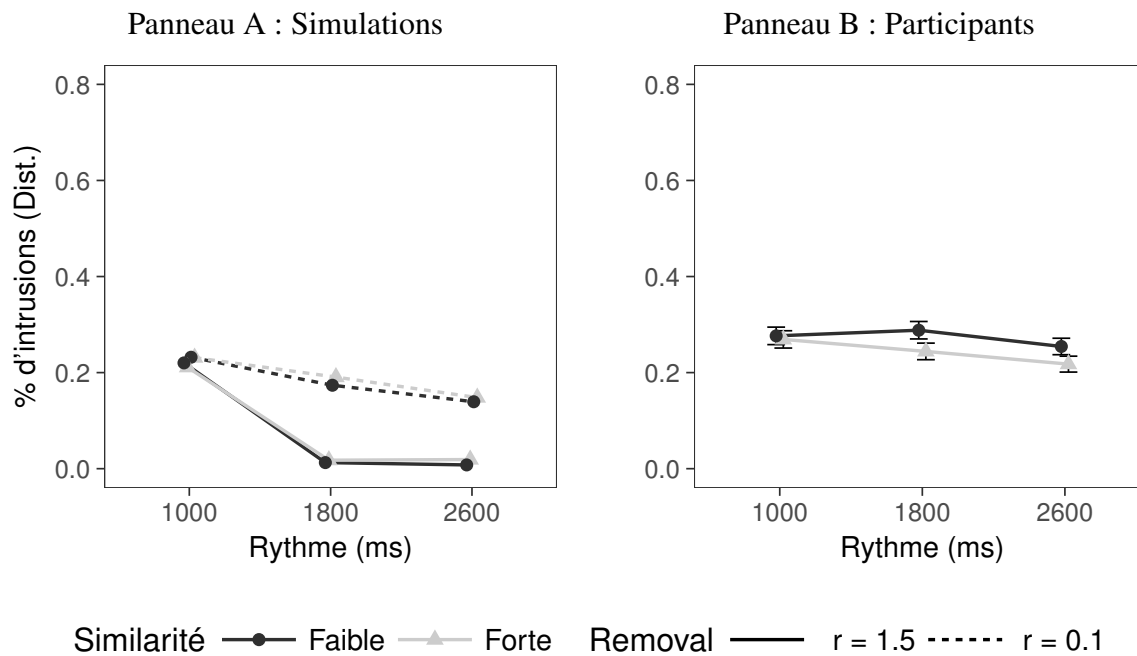


FIGURE 3.4 – Proportion d'intrusions de distracteur. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95 % pour une comparaison intra-sujet. L'intervalle de confiance en intra-sujet est calculé avec la fonction `summarySEwithin` du package `Rmisc` dans R utilisant la méthode de calcul présenté par Morey (2008).

### Les intrusions de distracteur

La figure 3.4 (panneau A) présente la proportion d'intrusions de distracteur en fonction du rythme et de la similarité. La simulation montre un fort effet du rythme : environ 20% des réponses contiennent des distracteurs à rythme rapide alors que l'intrusion de distracteurs est négligeable à rythme modéré et lent (moins de 2%). Il semblerait que les distracteurs soient suffisamment effacés après 800 ms pour ne plus être rappelés. De manière inattendue, nous

### 3.2 Simulation du modèle SOB-CS

constatons qu'un pourcentage d'intrusion de distracteurs très légèrement plus important est observé dans la condition de faible similarité (22%) que dans la condition de forte similarité (21%), à rythme rapide. D'après l'interférence par confusion, nous nous attendions à observer un plus grand nombre d'intrusions de distracteurs dans la condition de forte similarité car ceux-ci sont fortement similaires aux items. Cependant, si l'on observe l'intrusion des distracteurs en fonction de la distance relative entre sa position de sortie et sa position d'encodage<sup>3</sup>, nous constatons que, à la distance 0, le pourcentage d'intrusion de distracteurs est effectivement plus élevé dans la condition de forte similarité (voir figure 3.5) que dans la condition de faible similarité (9,2% vs 8%). Pour finir, aucun effet d'interaction n'est observé.

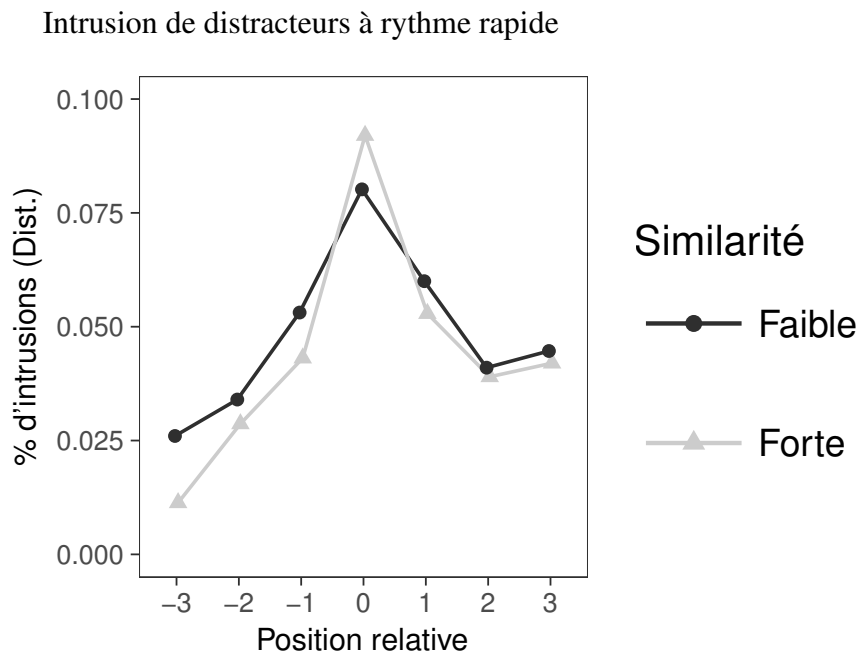


FIGURE 3.5 – Pourcentage d'intrusions de distracteur en fonction de la distance relative et de la similarité dans la condition à rythme rapide pour le modèle SOB-CS en utilisant la valeur de  $r$  par défaut (1.5).

3. Par exemple, un distracteur « haff » qui suit directement le second item « baff » sera encodé à la position 2. Si, lors du rappel, ce distracteur « haff » est rappelé par erreur à la position 2, alors sa distance relative est de 0. Si ce distracteur est rappelé à la position 3 alors sa distance relative est de -1. Et si ce distracteur est rappelé à la position 1, alors sa distance relative est de +1.

### Les intrusions de NPL

La figure 3.6 (panneau A) montre la proportion d'intrusions de NPL en fonction des différentes conditions. Même si, contrairement aux distracteurs, les NPL ne sont pas encodés en MDT, les NPL peuvent être rappelés par erreur de confusion. Plus la MDT sera déformée, plus nous devrions observer des erreurs de confusion. En effet, nous en observons moins à mesure que le temps libre augmente. Nous notons également un effet de la similarité : il y a plus d'intrusion de NPL dans la condition de faible similarité entre les items et les distracteurs car les NPL sont similaires aux items dans cette condition (voir tableau 3.1). Cet effet est plus fort à rythme élevé (quand les distracteurs ne sont pas effacés) qu'à rythme modéré et lent. En effet, les différences de taux d'intrusion de NPL entre les conditions de faible et de forte similarité sont de 9%, 2% et 2% à rythme rapide, modéré et lent, respectivement.

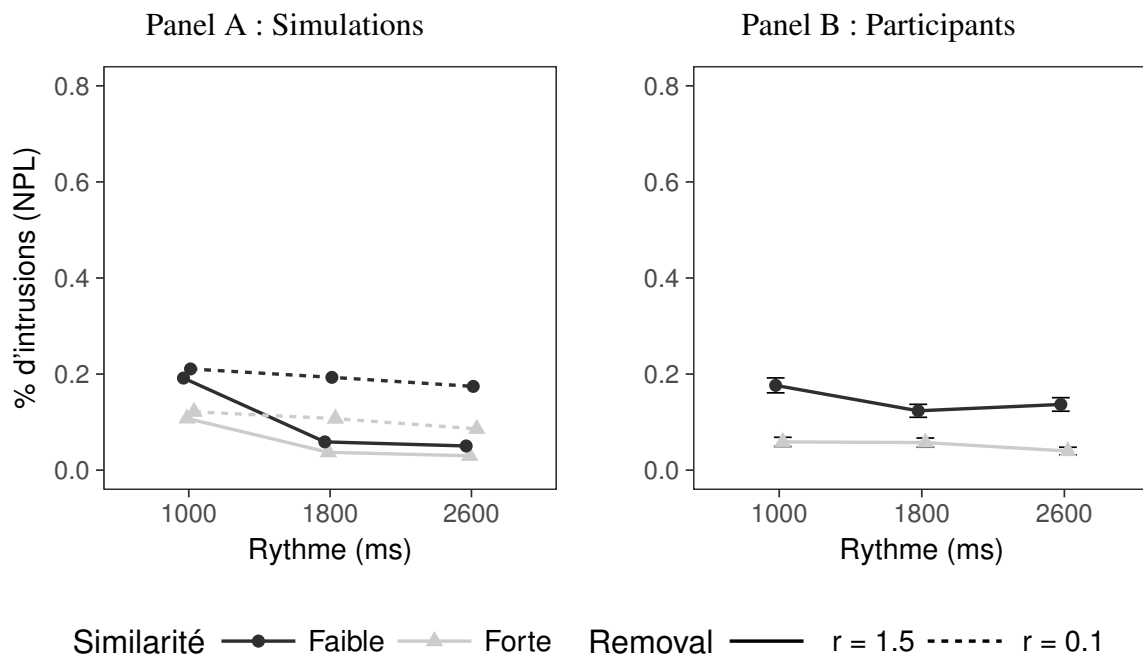


FIGURE 3.6 – Proportion d'intrusions de NPL. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 % pour une comparaison intra-sujet. L'intervalle de confiance en intra-sujet est calculé avec la fonction `summarySEwithin` du package `Rmisc` dans R utilisant la méthode de calcul présenté par Morey (2008).

### 3.2 Simulation du modèle SOB-CS

#### Les erreurs de transposition

Pour finir, la figure 3.7 montre la proportion d'erreurs de transposition pour lesquelles un effet du rythme est également observé (25%, 18% et 17% pour les rythmes rapide, modéré et lent respectivement). Aucun effet de similarité et d'interaction ne sont observés.

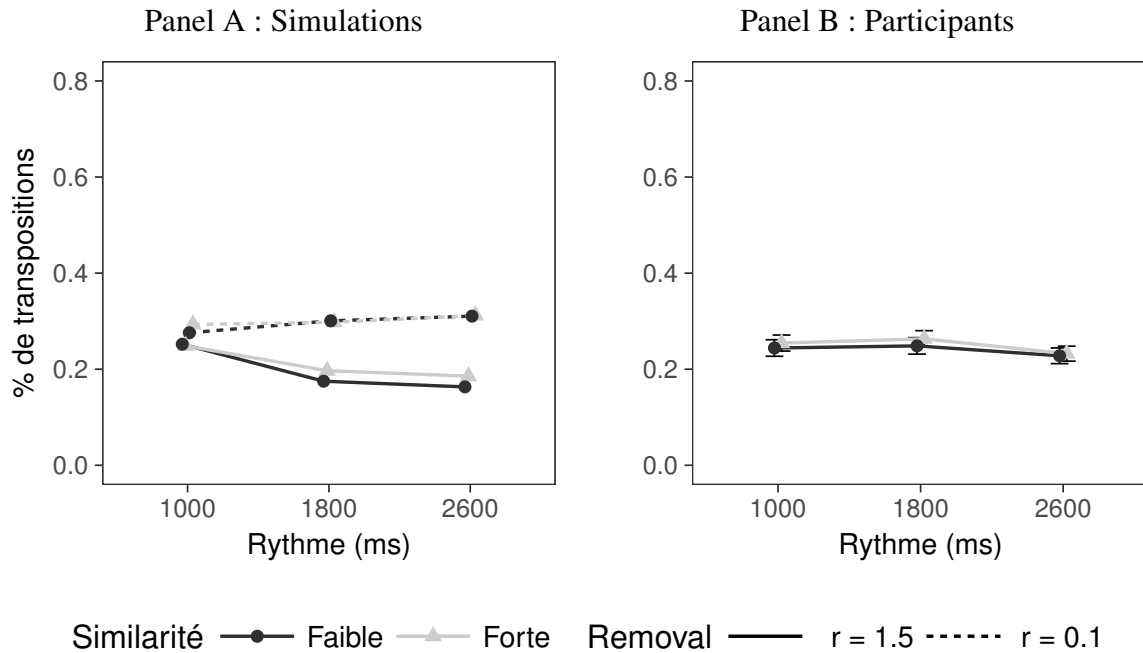


FIGURE 3.7 – Proportion d'erreurs de transposition. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 % pour une comparaison intra-sujet. L'intervalle de confiance en intra-sujet est calculé avec la fonction `summarySEwithin` du package `Rmisc` dans R utilisant la méthode de calcul présenté par Morey (2008).



**Résumé des résultats de simulation.**

En résumé, le modèle SOB-CS, avec ses valeurs par défaut (excepté pour le paramètre  $c$ ), prédit un effet bénéfique de la similarité entre les items et les distracteurs uniquement à rythme rapide. Dès qu'il y a du temps libre (800 ms ou 1600 ms), l'effet de similarité disparaît. L'analyse des différents type d'erreurs a montré que l'intrusion de distracteurs était négligeable dès qu'il y avait du temps libre. Ce résultat peut expliquer pourquoi nous n'observons pas l'effet de similarité à rythme modéré et lent : les distracteurs sont totalement effacés selon le modèle SOB-CS. Nous allons maintenant présenter et comparer les résultats des participants à ceux de notre simulation.

### 3.3 *Expérience comportementale (expérience 1)*

## 3.3 Expérience comportementale (expérience 1)

### 3.3.1 Méthode

#### Participants

Trente-quatre étudiants de l'université de Bristol ont participé volontairement à l'étude sur une durée d'environ une heure en échange d'un point bonus aux examens. Chaque participant a réalisé les six conditions expérimentales : trois différents rythmes (2600 ms, 1600 ms, 1000 ms) × deux conditions de similarité (faible et forte).

#### Matériel

Quatre non-mots (par exemple « zaff ») étaient présentés au participant dans le but d'être rappelés, et chacun de ces non-mots était suivi d'une paire de non-mots (distracteurs). Les items étaient présentés en rouge et les distracteurs en noir. Les participants avaient pour consigne de lire à haute voix tous les non-mots apparaissant à l'écran et de mémoriser uniquement les non-mots affichés en rouge dans l'ordre sériel (voir tableau 3.1).

Les items et les distracteurs provenaient de la base de données ARC Nonword Database (Rastle, Harrington, & Coltheart, 2002). Nous avons retenu un ensemble de 720 non-mots pour s'assurer que les participants ne voyaient jamais un non-mot plus d'une fois. Chaque non-mot était prononçable, composé d'une syllabe de quatre lettres. Les 720 non-mots étaient organisés en 240 groupes, chacun contenant trois non-mots similaires (par exemple, « baff, daff, haff »). Pour toutes les conditions, nous nous sommes assurés que les quatre items à mémoriser étaient dissimilaires entre eux. Ainsi, lorsque qu'une paire de distracteurs était similaire à l'item qui la précède, ces deux distracteurs étaient, par conséquent, dissimilaires aux autres items de la liste. Dans la condition de faible similarité, nous devons nous assurer qu'un distracteur était bien dissimilaire aux quatre items de la liste. L'annexe 1 présente les 240 groupes de non-mots.

#### Procédure

Nous avons repris le programme MATLAB, utilisant la boîte à outil Psychophysics (Pelli, 1997), codé par Oberauer et ses collaborateurs. Nous avons fait quelques ajustements afin d'ajouter la condition de rythme.

### CHAPITRE 3 : Étude du mécanisme d'effacement (le removal) des traces non pertinentes

Chaque essai commençait par une croix de fixation centrale pendant 1 500 ms, suivie de la présentation des items et des distracteurs. Les items apparaissaient toujours pendant 800 ms suivi d'un écran blanc pendant 400 ms (pour un total de 1 200 ms). Les distracteurs apparaissaient toutes les 1000 ms (800 ms *on*, 200 ms *off*) dans la condition rapide, 1 800 ms (800 ms *on*, 1 000 ms *off*) dans la condition modérée et 2 600 ms (800 ms *on*, 1 800 ms *off*) dans la condition lente. Après le dernier distracteur, douze candidats étaient présentés simultanément à l'écran en bleu sur fond blanc, chacun dans un cadre bleu. Ils étaient présentés aléatoirement dans une matrice de 3 par 4. Les participants devaient sélectionner les items corrects en cliquant à l'intérieur des cadres avec la souris. Un son indiquait que la réponse avait été enregistrée. Si les participants ne se souvenaient plus d'un ou de plusieurs items à rappeler, ils avaient pour consigne de donner une réponse et donc de deviner. Chaque participant a complété 30 essais, 5 essais dans chaque condition, dans un ordre aléatoire. L'expérimentateur leur suggérait de faire une petite pause tous les 6 essais. De plus, avant de commencer l'expérience, quatre essais d'entraînement étaient présentés avec quatre conditions différentes : similaire/rapide, dissimilaire/modéré, similaire/lent et dissimilaire/rapide.

#### 3.3.2 Résultats : données comportementales

Nous avons réalisé une ANOVA à deux facteurs intra-sujet sur la proportion moyenne de réponses correctes ainsi que sur la proportion moyenne des différents types d'erreurs.

##### Réponses correctes

Comme prédit par le modèle SOB-CS, nous observons un effet de similarité significatif [ $F(1, 33) = 31.2, p < .001, \eta_p^2 = .48$ ] et un effet de rythme également significatif [ $F(2, 33) = 12.6, p < .001, \eta_p^2 = .27$ ]. Cependant, aucun effet d'interaction n'est observé [ $F(2, 33) < 1$ ]. En effet, même à rythme lent, nous observons un effet positif de la forte similarité face à la faible similarité (voir figure 3.3, panneau B).

### 3.3 Expérience comportementale (expérience 1)

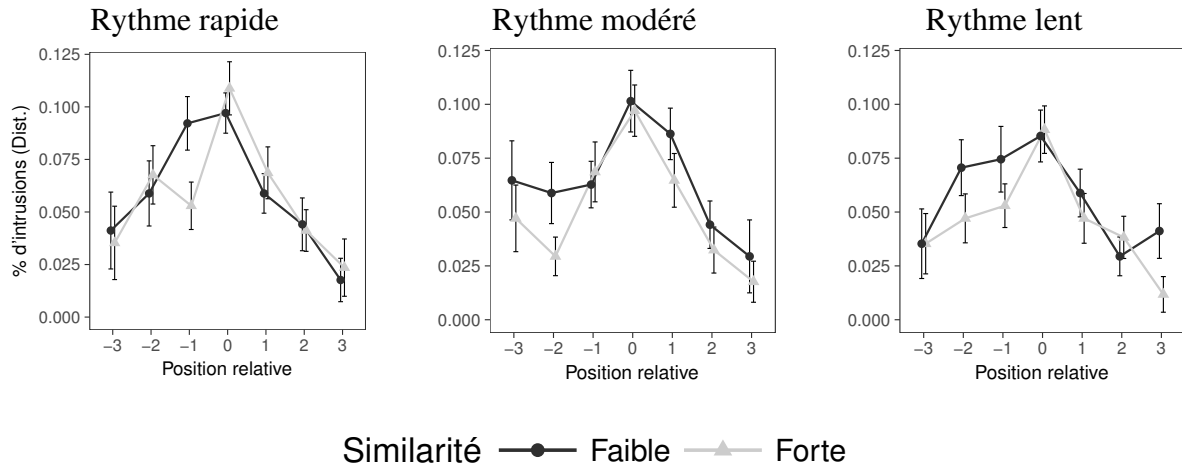


FIGURE 3.8 – Pourcentage d'intrusions de distracteur en fonction de la distance relative et de la similarité dans la condition à rythme rapide. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95 % pour une comparaison intra-sujet. L'intervalle de confiance en intra-sujet est calculé avec la fonction `summarySEwithin` du package `Rmisc` dans R utilisant la méthode de calcul présenté par Morey (2008).

#### L'intrusion des distracteurs

Nous observons un faible effet du rythme [ $F(2, 33) = 3.18, p = .047, \eta_p^2 = .08$ ] avec 27%, 26% and 24% d'intrusions de distracteur selon les conditions de rythme rapide, modéré et lente, respectivement. Au contraire, le modèle SOB-CS prédisait un fort effet du rythme avec presque aucune intrusion de distracteurs à rythme modéré et lent en comparaison des 20% d'intrusions à rythme rapide. Cette discordance suggère que les participants n'effacent pas les distracteurs aussi fortement que le modèle le prédit. Aucun effet de similarité n'est observé [ $F(1, 33) = 2.69, p = .11, \eta_p^2 = .07$ ] et aucune interaction n'est également observée [ $F(2, 33) < 1$ ], comme prédit par le modèle.

Nous avons également observé, descriptivement, l'allure des courbes des intrusions de distracteur en fonction de la distance relative (voir figure 3.8). Globalement, on constate que la proportion d'intrusion de distracteurs est plus importante à la distance relative zéro, comme prédit par le modèle SOB-CS.

### **L'intrusion de NPL**

Nous observons un fort effet de similarité sur l'intrusion des NPL [ $F(1, 33) = 77.3, p < .001, \eta_p^2 = .70$ ] et un faible effet du rythme [ $F(2, 33) = 4.5, p = .014, \eta_p^2 = .11$ ] (voir figure 3.6, panneau B). Ici encore, le modèle prédisait un effet du rythme bien plus fort que celui des données expérimentales. Aucun effet d'interaction n'est observé [ $F(2, 33) = 2.24, p = .11, \eta_p^2 = .06$ ] suggérant que l'effet de similarité ne dépend pas du rythme, alors que le modèle prédit un effet de similarité uniquement à rythme rapide.

### **Les erreurs de transposition**

Aucun effet de similarité et aucun effet du rythme n'est observé sur le taux d'erreur de transposition [respectivement ;  $F(1, 33) < 1$  and  $F(2, 33) = 1.27, p = .28, \eta_p^2 = .04$ ] (voir figure 3.7, panel A). De même, aucun effet d'interaction n'est observé [ $F(2, 66) = 1.27, p = .28, \eta_p^2 = .03$ ]. En accord avec ces données, le modèle SOB-CS ne prédit aucun effet de similarité. Cependant, le modèle prédit une faible différence entre le rythme rapide (24%) et les deux autres rythmes (19% en moyenne).

## 3.4 Discussion intermédiaire

Les résultats comportementaux répliquent les observations de l'expérience 2 de Oberauer, Farrell, et al. (2012), suggérant que l'oubli en MDT est en parti dû à l'interférence par superposition. Premièrement, quelque soit la condition expérimentale, la proportion moyenne d'intrusion de distracteurs est supérieure à l'intrusion de NPL (25% vs. 10% en moyenne). Ce résultat suppose bien que les distracteurs, contrairement aux NPL, sont encodés en MDT, ce qui est un pré-requis pour étudier l'interférence des distracteurs. De plus, un indice en faveur du mécanisme d'interférence par superposition est fourni par la réplication du fort effet bénéfique de la forte similarité comparé à la faible similarité entre les items et les distracteurs.

Cependant, nous avons observé une discordance importante entre certaines prédictions du modèle SOB-CS et les données expérimentales. SOB-CS s'ajuste bien seulement pour les données en condition rapide qui se trouve être la même condition présentée par Oberauer, Farrell, et al. (2012), où aucun *removal* n'est mis en place. Dès qu'il y a du temps libre, et donc du *removal*, la simulation de SOB-CS prédit de façon erronée un effet d'interaction entre le rythme et la similarité inter items-distracteurs. L'analyse des erreurs révèle que cette différence entre le modèle et les humains semble être due à la surestimation de la force du *removal* par le modèle.

Par la suite, nous avons donc essayé de trouver une valeur de  $r$  (force de *removal*) permettant de mieux reproduire les données expérimentales. Pour cela, nous avons fait un *grid search* sur le paramètre  $r$ , c'est-à-dire que nous avons simulé le modèle SOB-CS plusieurs fois avec différentes valeurs de  $r$ . Puis, nous avons déterminé le meilleur modèle face aux données expérimentales. Dans la section qui suit, nous allons donc présenter les résultats obtenus.

## 3.5 Estimation de la force du *removal*

Dans SOB-CS la force du *removal*  $r$  est paramétrée à 1.5, ce qui implique que les liens entre le distracteur à effacer et sa position sont effacés à 95% après 2 secondes. Cette valeur est cohérente avec les expériences, présentées dans le chapitre 1 (Oberauer, 2001, 2002), qui estiment que le *removal* total d'une information contenue dans la MDT prend entre 1 et 2 secondes. Selon les résultats précédents, il semblerait que les distracteurs ne soient pas effacés aussi rapidement que prédit par le modèle.

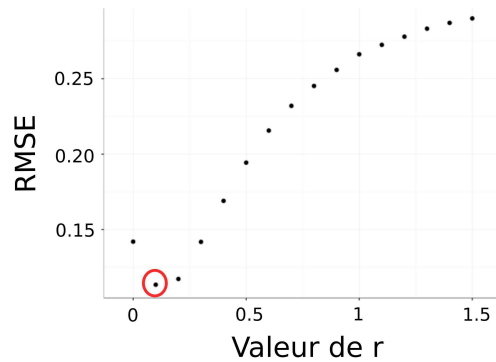


FIGURE 3.9 – RMSE en fonction des valeurs de  $r$ .

Pour trouver une valeur de  $r$  qui permettrait de mieux prédire les données comportementales de cette expérience, nous avons conduit un *grid search* sur un intervalle allant de 0 à 1.5 avec un pas de 0.1. De nouvelles simulations ont été réalisées pour chaque valeur de ce paramètre et l'erreur quadratique moyenne (RMSE, *Root Mean Square Error*) a été calculée pour chacune d'elles. Cette mesure représente la distance entre le modèle et les données. Nous avons trouvé que le meilleur modèle est celui ayant la valeur de  $r$  égale à 0.1 (voir figure 3.9). Si  $r$  est paramétré à zéro, ce qui voudrait dire qu'il n'y aurait pas de *removal* du tout, une augmentation du RMSE est observé étant donné que le modèle ne prédit plus l'effet du rythme.

Les lignes pointillés du panneau A des figures 3.3, 3.4, 3.6 et 3.7 montrent les résultats de simulation avec le paramètre  $r$  égal à 0.1. Premièrement, le rythme et la similarité n'interagissent plus, comme observé chez les humains. Deuxièmement, l'effet du rythme sur les performances correctes est amoindri et plus semblable à celui observé sur les données expérimentales. Globalement, nous observons que la proportion des différents types d'erreurs du nouveau modèle s'ajuste bien mieux avec les données des humains.

Ce résultat est en contradiction avec la conclusion des études précédentes (Oberauer, 2001, 2002) qui a suggéré que le *removal* prenait environ 1 à 2 secondes, car avec cette nouvelle valeur de  $r$ , effacer en totalité une information non pertinente prendrait environ 30 secondes au lieu de 2 secondes.

De plus, nous avons également observé la capacité des modèles à simuler l'intrusion des distracteurs selon la distance relative (voir figure 3.10). Contrairement aux données expérimentales, le modèle montre toujours une forte différence entre l'intrusion des distracteurs à la distance relative zéro entre la forte et la faible similarité. En effet, à la position relative 0, l'intrusion de

### 3.5 Estimation de la force du removal

distracteurs est toujours plus élevée dans la condition de forte similarité pour tous les rythmes. Ce n'est pourtant pas le cas chez les participants pour qui la différence d'intrusion de distracteurs entre les deux conditions de similarité, à la distance relative zéro, disparaît aux rythmes modéré et lent. D'après le modèle, un faible *removal*, qui permettrait de mieux reproduire les données, engendre par conséquent une forte différence d'intrusion de distracteurs, à la position zéro, entre les deux conditions de similarité. Étant donné que nous n'observons pas cela chez les participants, l'existence d'un *removal* semble remise en cause.

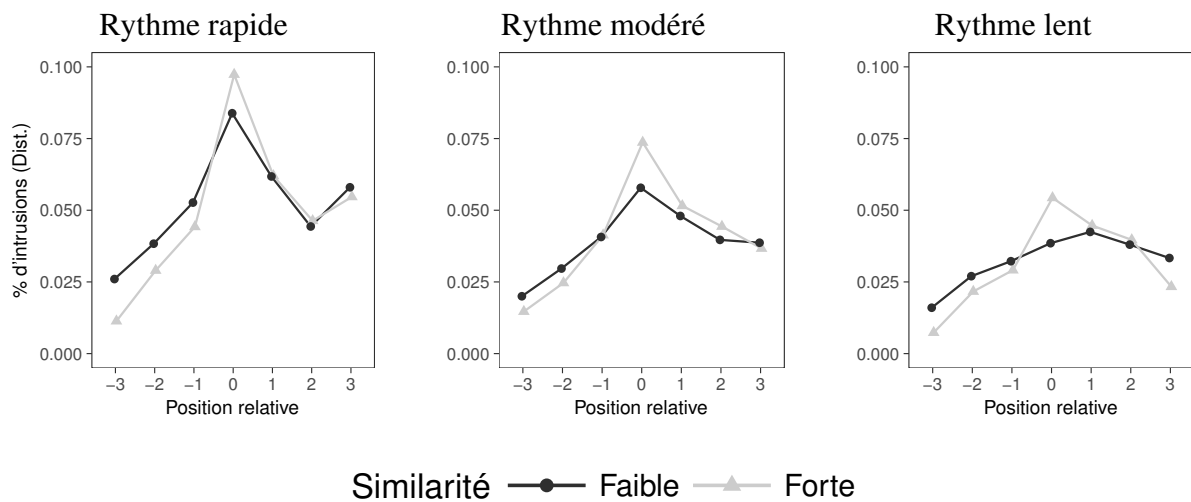


FIGURE 3.10 – Pourcentage d'intrusions de distracteur en fonction de la distance relative et de la similarité pour le modèle ayant le paramètre  $r$  égal à 0.1.



### 3.6 Discussion générale et conclusion

Dans cette étude, nous avons contribué au débat concernant l'impact délétère des distracteurs sur la MDT en testant des prédictions de SOB-CS. Plus spécifiquement, nous avons exploré l'effet de la similarité entre les items et les distracteurs selon différentes quantités de temps libre suivant chaque distracteur. Les résultats des participants ont confirmé plusieurs prédictions faites par le modèle SOB-CS. Tout d'abord, nos résultats montrent que les distracteurs sont effectivement encodés en MDT étant donné qu'ils sont plus souvent rappelés que les NPL. Ensuite, les données comportementales ont reproduit l'effet bénéfique de la forte similarité par rapport à la faible similarité entre les items et les distracteurs, initialement observé par Oberauer, Farrell, et al. (2012). Ce résultat est prédit par le mécanisme d'interférence par superposition du modèle SOB-CS. Enfin, nous avons également observé que les performances de mémorisation augmentaient à mesure que le rythme ralentissait, bien que cet effet soit bien moins important chez les participants qu'avec le modèle.

Cependant, les résultats infirment une prédiction du modèle obtenue avec la force de *removal*  $r$  par défaut : les données montrent que l'effet de similarité entre les items et les distracteurs ne diminue pas à mesure que le temps libre augmente. En effet, contrairement aux prédictions du modèle SOB-CS, les distracteurs semblent très peu effacés à rythme lent et modéré, car le pourcentage d'intrusion de distracteurs reste assez élevé à ces rythmes. Ainsi, comme les distracteurs semblent toujours présents en MDT, la similarité entre les items et les distracteurs a encore un effet important à rythme lent et modéré.

En cherchant une force de *removal* plus adaptée aux données comportementales, nous avons trouvé qu'une valeur de  $r$  égale à 0.1 (et donc 15 fois plus faible que la valeur par défaut) permettait de reproduire un effet de similarité pour les trois rythmes. Est-ce que le mécanisme de *removal* est conforté ? Une première réponse possible serait positive, car la valeur  $r = 0.1$  permet de mieux ajuster le modèle aux données que la valeur  $r = 0$ . En effet, l'effet du rythme, dans le modèle SOB-CS, est possible grâce à ce mécanisme de *removal*. Mais quelle est l'implication d'une telle valeur de  $r = 0.1$ , qui se trouve être bien plus faible que la valeur de départ ? Soit, nous pouvons supposer que  $r = 0.1$  est la vraie valeur de paramètre, ce qui indiquerait que le *removal* est bien plus lent que ce qui était supposé jusqu'à maintenant. Une manière de vérifier cette option serait de simuler d'autres tâches d'empan complexes manipulant le rythme d'appa-

### 3.6 Discussion générale et conclusion

rition des distracteurs pour voir si les résultats peuvent être reproduit par SOB-CS avec la valeur de  $r = 0.1$ . Sinon, une autre possibilité serait de supposer que le matériel (non-mots) que nous utilisons est spécifique et nécessiterait une force de *removal* plus faible qu’avec du matériel plus usuel tel que les mots, les lettres ou les chiffres. Dans des recherches futures, une comparaison de la pente de l’effet du rythme sur un large panel d’expériences, utilisant du matériel différent, pourrait apporter une réponse à cette suggestion.

Le mécanisme de *removal* peut être vu comme une désactivation temporaire des liens entre la position et le distracteur présents en MDT (Rose et al., 2016). Le rappel étant une reconstruction parmi un ensemble de candidats, dont les distracteurs, il se pourrait que la présentation des distracteurs à l’écran réactive les liens qui n’ont pas été complètement supprimés, mais temporairement désactivés. Une solution pour éviter la réactivation éventuelle des distracteurs, lors de l’affichage de ceux-ci à l’écran, serait d’utiliser un rappel libre sans présenter les candidats à l’écran. Les non-mots étant trop difficile à rappeler, l’utilisation de mots serait plus adapté. Par ailleurs, nous constatons que l’expérience 2 de Oberauer (2009) manipule justement la similarité sémantique des mots en faisant varier le rythme d’apparition des distracteurs et en demandant de rappeler oralement les mots dans l’ordre. Les résultats ont montré un effet positif de la similarité, un effet du rythme et une absence d’interaction entre ces deux variables. Bien que cette étude n’avait pas pour objectif de tester spécifiquement l’effet d’interaction entre nos deux variables, les résultats sont cohérents avec nos résultats et semble montrer que les distracteurs ne sont pas supprimés lors des phases de temps libre. Et l’hypothèse d’une probable réactivation des distracteurs lors de la phase de reconstruction n’est donc pas une explication viable.

À la question « Est-ce que le mécanisme de *removal* est conforté ? », une deuxième réponse serait négative. En effet, une force de *removal* si faible semble peu réaliste, car si nous avons besoin de 30 secondes pour effacer le contenu d’un seul item au sein de notre MDT, nos pensées seraient au ralenti. D’autant plus que, selon SOB-CS, le mécanisme de *removal* bloque l’attention (Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012). De plus, en observant la figure 3.3 (panneau B), nous observons une différence encore plus élevée à rythme lent entre les conditions de forte et de faible similarité. Ce qui n’est pas explicable avec l’existence d’un mécanisme de *removal*. L’idée d’avoir un *removal* plus faible en raison d’un matériel différent semble surprenant sachant que les non-mots sont peu rattachés à la MLT. On s’attendrait à ce qu’il soit plus aisé d’effacer des informations peu liées à la MLT.

**Théorie alternative.** Dans le modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2007) ou le modèle TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011), le *removal* n'existe pas et le temps libre est utilisé pour récupérer et réactiver les informations pertinentes en MDT. Ces modèles permettent de prédire un effet du rythme qui a déjà été observé à plusieurs reprises dans la littérature. En effet, plus le temps libre est long, plus les opportunités de rafraîchissement sont élevées. Dans le modèle TBRS, l'effet positif de la forte similarité par rapport à la faible similarité entre les items et les distracteurs peut être expliqué en supposant que la récupération d'un item, dans le but de le rafraîchir, est facilité si l'item en question n'est pas déformé. L'avantage avec cette théorie est que cet effet de similarité serait observé quelque soit le rythme de la tâche. Actuellement, le modèle TBRS\* n'implémente pas le mécanisme d'interférence par superposition car les items sont représentés par une seule unité (pas d'interférence possible) et surtout, les distracteurs ne sont pas pris en compte dans ce modèle. Une solution serait d'étendre le modèle TBRS\* pour lui permettre de modéliser l'interférence par superposition entre les items et les distracteurs, et de tester les données expérimentales avec ce nouveau modèle.

Similairement, dans le modèle SOB-CS, nous pourrions remplacer le mécanisme de *removal* par un mécanisme de rafraîchissement. Cependant, cette proposition ne semble pas être aussi simple qu'elle en a l'air car si le déclin n'existe pas et si le *removal* n'existe pas au sein du modèle SOB-CS, la récupération du distracteur venant d'être encodé au lieu de l'item qui le précède pourrait être bien trop importante.

En conclusion, notre expérience 1 ne soutient pas le mécanisme de *removal* du modèle SOB-CS. Un mécanisme de rafraîchissement des items à mémoriser, tel que pensé par TBRS, semble plus probable. Dans le chapitre qui suit, nous nous sommes à nouveau intéressés à l'impact des distracteurs sur la mémorisation et aux différentes prédictions faites par les modèles TBRS, TBRS\* et SOB-CS. Plus particulièrement, nous nous sommes interrogés sur l'effet du nombre de distracteurs sur les performances de rappel. Nous allons voir que TBRS, TBRS\* et SOB-CS ont des prédictions différentes concernant cet effet, d'où l'intérêt de son étude. Contrairement à cette première étude présentée dans ce chapitre 3, la prédiction du chapitre 4 peut être testée et simulée à la fois par TBRS\* et par SOB-CS.

# Chapitre 4

## Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

### Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Le modèle TBRS</b> . . . . .	<b>72</b>
2.1.1	Historique . . . . .	72
2.1.2	Les hypothèses de base du modèle TBRS . . . . .	74
2.1.3	La nouvelle version du modèle TBRS . . . . .	76
<b>2.2</b>	<b>TBRS* : une version computationnelle du modèle TBRS</b> . . . . .	<b>80</b>
2.2.1	Architecture du modèle . . . . .	80
2.2.2	Les quatre phases au sein d'une tâche d'empan complexe . . . . .	84
2.2.3	Les paramètres libres du modèle . . . . .	88
<b>2.3</b>	<b>Le modèle computationnel SOB-CS</b> . . . . .	<b>89</b>
2.3.1	Modélisation de la MCT : SOB et C-SOB . . . . .	89
2.3.2	Architecture du modèle . . . . .	91
2.3.3	Les quatre phases au sein d'une tâche d'empan complexe . . . . .	94
2.3.4	Les paramètres libres du modèle . . . . .	98
2.3.5	Similarités et différences entre TBRS* et SOB-CS . . . . .	99
<b>2.4</b>	<b>L'intérêt des modèles TBRS* et SOB-CS</b> . . . . .	<b>101</b>

---

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, les modèles TBRS\* et SOB-CS sont capables, par des mécanismes différents, de rendre compte de l'effet persistant du CC. Cependant, l'impact du nombre de distracteurs diffère selon le modèle utilisé. De manière assez surprenante, nous allons constater l'existence d'une discordance entre les prédictions des modèles TBRS et TBRS\* sur l'effet du nombre de distracteurs (Oberauer & Lewandowsky, 2011). Ainsi, nous verrons que TBRS suppose que la variation du nombre de distracteurs n'aura pas d'effet sur les performances de rappel, à condition que le CC soit gardé constant<sup>1</sup>. Au contraire, TBRS\* prédit un effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et le CC : plus le CC est élevé, plus l'ajout de distracteurs a un effet délétère sur les performances de rappel. En ce qui concerne SOB-CS, l'effet du nombre de distracteurs, à CC constant, dépend principalement de la similarité entre les items et les distracteurs. Qu'en est-il réellement ?

Nous commencerons par présenter en détail les prédictions des modèles TBRS, TBRS\* et SOB-CS. Ensuite, nous présenterons les résultats de nos deux expériences comportementales ayant permis d'avancer sur cette question.

## **4.1 Prédictions des modèles concernant l'effet du nombre de distracteurs**

### **4.1.1 TBRS et TBRS\***

Ces deux modèles supposent que le CC de la tâche de traitement est déterminant sur les performances de rappel. Globalement, l'effet du CC est expliqué simplement par les deux modèles comme suit : la variation du CC induit une variation de la proportion temporelle entre le déclin et le rafraîchissement des traces mnésiques. Plus la proportion de déclin sera importante, plus les performances seront mauvaises. Et inversement, plus la proportion de rafraîchissement sera élevée, meilleures seront les performances. Cependant, une discordance existe entre ces deux modèles concernant la définition précise du CC. Cette discordance permet d'expliquer pourquoi TBRS, contrairement à TBRS\*, considère que l'ajout de distracteurs à CC constant n'impactera pas les performances de rappel.

---

1. Cependant, à CC très élevé (proche de 1), TBRS prédit toutefois un effet délétère du nombre de distracteurs (Barrouillet, Plancher, Guida, & Camos, 2013)

#### 4.1 Prédiction des modèles concernant l'effet du nombre de distracteurs

Rappelons que le modèle TBRS suppose que tous les items déclinent en même temps (processus passif) lorsque l'attention est portée sur le traitement des distracteurs, et que, pour contrer l'oubli, un processus actif et séquentiel, le rafraîchissement attentionnel, sert à restaurer la mémoire pendant les phases de temps libre. D'après Barrouillet et Camos (2014) les performances de MDT sont proportionnelles au CC car le nombre d'items qui peuvent être rafraîchis dépend directement de deux facteurs : le temps nécessaire au rafraîchissement d'un item et le temps libre qui suit le distracteur. Ainsi, selon les auteurs de TBRS, le nombre d'items pouvant être rafraîchis peut s'écrire selon l'équation suivante :

$$n = \frac{f_t}{t_r} \quad (4.1)$$

Où  $f_t$  et  $t_r$  représentent, respectivement, le temps libre disponible après avoir traité le distracteur et le temps nécessaire pour le rafraîchissement d'un item en particulier. Il est important de noter que, selon Barrouillet et Camos (2014), lorsqu'un item est rafraîchi, il l'est suffisamment pour survivre au déclin dû au prochain distracteur. La taille de l'empan dépend de ce rapport entre le temps libre et le temps nécessaire pour réparer le déclin, qui dépend lui-même du temps de traitement de la tâche distractive. L'équation 4.1 nous donne directement le nombre d'items qui peuvent être maintenus pendant une phase de temps libre mais, bien que le paramètre  $f_t$  puisse être estimé, le paramètre  $t_r$  est inconnu, difficilement mesurable et dépendant de la durée de la tâche de traitement. En effet, comme le souligne Barrouillet et Camos (2014) : *The time  $t_r$  needed to refresh a memory trace depends on its strength level  $Se$  after the processing episode (weaker traces necessitating longer refreshing times),  $Se$  depending in turn on the duration of the attentional capture  $a$  involved by this processing episode (longer attentional capture resulting in stronger decay and lower  $Se$  values, (Barrouillet & Camos, 2014, p.3).* Les auteurs du modèle TBRS considèrent donc que le temps de rafraîchissement d'un item est variable, contrairement à TBRS\* au sein duquel, comme nous l'avons vu précédemment, le paramètre  $T_r$  est maintenu constant à 80 ms. Ce temps de rafraîchissement n'étant pas mesurable, une manière indirecte de prévoir les performances de rappel est de calculer le CC de la tâche :

$$CC = \frac{T_{ca}}{T} \quad (4.2)$$

Avec  $T_{ca}$  le temps de capture attentionnelle nécessaire au traitement des distracteurs et  $T$  le

#### CHAPITRE 4 : *Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?*

temps total disponible pour traiter les distracteurs (c'est-à-dire le temps qui sépare l'*onset* du premier distracteur et l'*onset* du mémoranda suivant). Cette description de ce que représente le CC mène à l'hypothèse suivante : le nombre de distracteurs n'a pas d'effet sur les performances de MDT à condition que le CC soit constant. Cela peut être démontré mathématiquement en réécrivant l'équation 4.2 du CC comme suit :

$$CC = \frac{aN}{tN} = \frac{a}{t} \quad (4.3)$$

Avec  $a$  le temps de capture attentionnelle lié au traitement d'un distracteur,  $N$  le nombre de distracteurs et  $t$  le temps total disponible pour traiter un unique distracteur (c'est-à-dire le temps total qui sépare deux distracteurs). Ainsi, d'après l'équation 4.3, les performances de MDT, directement proportionnelles au CC, ne dépendent effectivement pas du nombre de distracteurs.

Mais voyons en quoi le modèle computationnel TBRS\* se distingue du premier modèle verbal TBRS. Justement, Oberauer et Lewandowsky (2011) ont montré que cette absence d'effet du nombre de distracteurs n'était pas vérifiée au sein du modèle computationnel TBRS\* (Figure 4.1). Cela illustre bien le fait que la version computationnelle n'est pas parfaitement représentative de la vision du fonctionnement de la MDT présenté à travers le modèle verbal TBRS. Selon TBRS\*, dans le cas où le CC est très faible, le nombre de distracteurs n'aura pas d'effet sur les performances de rappel. En revanche, si le CC est modéré ou élevé, les simulations ont montré que le nombre de distracteurs avait un effet néfaste sur les performances de rappel (Oberauer & Lewandowsky, 2011 ; Portrat & Lemaire, 2015). D'où provient cette différence ?

Selon TBRS\*, le rafraîchissement se fait indépendamment du niveau d'activation que l'item doit atteindre pour survivre au prochain épisode. Le rafraîchissement se fait pendant une durée constante (d'environ 80 ms) et à une force constante pour chaque item. Si le rafraîchissement d'un item ne compense pas totalement la perte d'activation dû au distracteur, alors plus il y aura de distracteurs, plus l'activation de cet item déclinera. Au contraire, l'ajout de distracteurs n'affectera pas les performances si, et seulement si, le temps libre suivant chaque distracteur est suffisamment long pour compenser totalement le déclin des items rafraîchis. La figure 4.1 représente le devenir d'un seul item. En effet, il est difficile d'imaginer et de représenter le devenir de plusieurs items à la fois. La modélisation computationnelle prend alors toute son importance car elle permet de prédire le devenir de plusieurs items en MDT.

#### 4.1 Prédications des modèles concernant l'effet du nombre de distracteurs

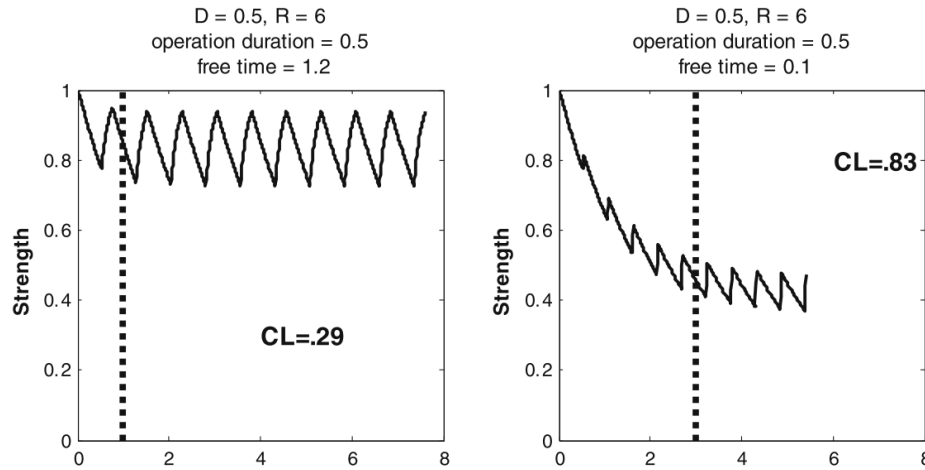


FIGURE 4.1 – Illustration reprise de Oberauer et Lewandowsky (2011). Décours temporel de la force d'activation de la trace mnésique au moment d'un épisode de traitement. L'activation décline pendant le traitement d'un distracteur. Celle-ci est ensuite restaurée pendant le temps libre. À gauche, le CC est faible : le rafraîchissement compense le déclin. À droite, le CC est élevé : le rafraîchissement ne compense pas le déclin et l'augmentation du nombre de distracteurs détériore la trace mnésique de l'item ici représenté.

Pour résumer, TBRS\* prédit un effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et le CC : l'effet délétère du nombre de distracteurs s'amplifie à mesure que le CC augmente. Au contraire, TBRS ne prédit aucun effet du nombre de distracteurs (sauf à un CC proche de 1) et suppose que les performances dépendent uniquement du CC de la tâche. Qu'en est-il du modèle SOB-CS ?

#### 4.1.2 SOB-CS

Dans SOB-CS, le traitement d'un distracteur (par exemple lire un mot ou décider de la localisation d'un stimulus sur l'écran) est modélisé par l'encodage de ce distracteur. Par conséquent, l'interférence des distracteurs réduit les performances de rappel car les représentations des items sont déformées par l'encodage des distracteurs. La nature du distracteur, relativement à la nature des items à mémoriser, aura donc une grande importance, contrairement aux modèles TBRS et TBRS\*. À première vue, SOB-CS suppose que l'ajout de distracteurs aura un effet néfaste sur les performances de rappel car plus il y aura de distracteurs plus la déformation des items à mémoriser sera importante. Cependant, comme pour TBRS\*, le temps libre est utilisé pour restaurer la mémoire. Par conséquent, si le temps libre suivant un distracteur est suffisamment long



#### CHAPITRE 4 : *Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?*

pour effacer le distracteur venant d'être encodé, alors l'ajout de distracteurs n'aura aucun impact sur les performances de MDT. De même que pour TBRS\*, SOB-CS prédit donc une interaction entre le CC et le nombre de distracteurs. Cependant, dans SOB-CS, le CC n'est pas l'unique variable interagissant avec le nombre de distracteurs. En effet, la nature du distracteurs aura également un impact. Par exemple, si les distracteurs appartiennent au domaine spatial alors que les items à mémoriser appartiennent au domaine verbal, il y aura très peu, voire aucune interférence entre les items et les distracteurs. Dans ce cas, l'ajout de distracteurs n'aura pas d'effet sur les performances, et ce, quel que soit le CC de la tâche. En revanche, si les distracteurs et les items sont des mots, alors l'ajout de distracteurs aura un fort impact sur les performances, car les interférences seront importantes. D'ailleurs, même à CC faible, nous pouvons nous attendre à une baisse des performances proportionnelle à l'augmentation du nombre de distracteurs. En effet, le nombre de candidats potentiels sera plus élevé lors du rappel, ce qui induira une plus grande probabilité de confusions entre les items et les distracteurs. En résumé, selon SOB-CS, l'effet du nombre de distracteurs dépend, d'une part, de l'interférence entre les items à mémoriser et les distracteurs et, d'autre part, du temps libre disponible permettant d'effacer les distracteurs. Plus les distracteurs interfèrent avec le matériel à mémoriser, plus l'augmentation du nombre de distracteurs sera délétère, à moins que le temps libre soit suffisamment long pour effacer la totalité des distracteurs. Dans une situation simplifiée dans laquelle les interférences sont minimisées grâce à des distracteurs et des items appartenant à des domaines différents, SOB-CS supposerait donc une absence d'effet du nombre de distracteurs et une absence d'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs.

Ainsi, les prédictions de SOB-CS sont bien plus complexes que celles de TBRS et de TBRS\*, car SOB-CS prend en compte les similarités inter et intra-domaines entre les items et les distracteurs. Cependant, nous pouvons noter un certain nombre de ressemblances entre TBRS\* et SOB-CS. TBRS\* et SOB-CS supposent deux possibilités quand on ajoute des distracteurs : soit les performances diminuent, soit elles sont constantes. En aucun cas ces modèles ne prédisent une amélioration possible des performances en MDT en ajoutant des distracteurs à CC constant. La figure 4.2, adaptée de Oberauer et Lewandowsky (2011) et de Oberauer, Lewandowsky, et al. (2012), présente les performances des modèles TBRS\* et de SOB-CS en fonctions du CC de la tâche de traitement et du nombre de distracteurs. Ces simulations montrent qu'il y a bien une interaction entre le nombre de distracteurs et le CC pour ces deux modèles. On constate que

#### 4.1 Prédications des modèles concernant l'effet du nombre de distracteurs

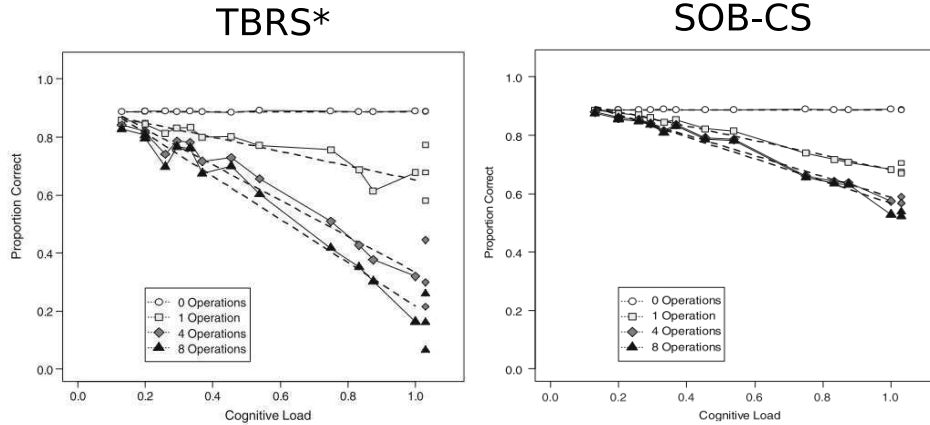


FIGURE 4.2 – Tirée de Oberauer et Lewandowsky (2011) et de Oberauer, Lewandowsky et al. (2012). Proportion de rappel correct de 30 simulations pour une liste de 7 items à mémoriser en fonction du CC et du nombre d'opérations. Les items sont codés comme étant des lettres et les opérations comme étant des chiffres.

l'effet du nombre de distracteurs est exponentiel : l'ajout de distracteurs est de moins en moins délétère à mesure que le nombre de distracteurs augmentent. La diminution des performances entre 1 et 4 distracteurs est plus importante qu'entre 4 et 8 et ce d'autant plus que le CC est élevé. On peut également noter que SOB-CS ne produit aucune différence de performance de mémorisation entre 4 et 8 distracteurs et ce quel que soit le CC. L'ajout de distracteurs selon SOB-CS aurait donc un effet plus faible que selon TBRS\*.

Finalement, que se passe-t-il en MDT si l'on ajoute des distracteurs ? Actuellement, les modèles prédisent des effets différents et la question reste ouverte. L'objectif central de ce chapitre est d'apporter des éléments de réponse à cette question au travers d'expériences menées auprès d'adultes jeunes.

## **4.2 Expériences 2.1 et 2.2 : effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe**

L'objectif de cette étude a été de tester, à travers deux expériences, l'effet du nombre de distracteurs en fonction du CC. Pour cela, nous avons fait varier le rythme d'apparition des épisodes de traitement ( $VI_1$ ) et le nombre d'opérations entre deux items ( $VI_2$ ) au sein d'une tâche d'empan complexe. Contrairement aux procédures d'empan habituelles dans lesquelles la longueur de la liste augmentait, au fur et à mesure, jusqu'à atteindre une longueur maximale ou un critère d'arrêt prédéfini, dans les expériences que nous présentons ici, les participants avaient toujours un nombre constant de six items à mémoriser. Les performances de rappel sont donc calculées sur un pourcentage d'items rappelés correctement. Nous avons utilisé des mots concrets à mémoriser et la tâche distractive consistait à lire à haute voix des lettres qui apparaissaient successivement à l'écran. Pour tester nos prédictions, nous avons opté pour trois rythmes d'apparition des lettres : soit une lettre toutes les 800 ms, soit toutes les 1 600 ms ou soit toutes les 2 400 ms. Ces rythmes sont équivalents à des coûts cognitifs respectifs d'environ 0.62, 0.31 et 0.21, en considérant que la capture attentionnelle induite par la lecture d'une lettre est d'environ 500 ms (pré-test antérieur à ma thèse au sein du laboratoire). De plus, nous avons fait varier le nombre de distracteurs. Dans la première expérience, nous avons manipulé le nombre de distracteurs sur un large panel de 2, 4 ou 8 lettres qui devaient être lues entre deux mémoranda successifs. Dans la deuxième expérience, nous avons cherché à répliquer notre première expérience en observant l'effet d'une variation plus subtile du nombre de distracteurs et avons donc inclus 1, 2, 3 et 4 distracteurs. L'intérêt de cette étude était également d'avoir de nouvelles données permettant de tester et de comparer les modèles TBRS\* et SOB-CS qui, de par leurs relative nouveautés, se doivent d'être encore testés et améliorés.

### **4.2.1 Simulations**

Avant de présenter les résultats comportementaux, nous avons simulé les deux expériences avec les modèles computationnels TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011) et SOB-CS (Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012) pour confirmer les prédictions verbales présentées précédemment. De plus, nous avons également testé la version adaptée TBRS\*<sub>laf</sub> (Lemaire et al., 2017). Dans

#### 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

TABLE 4.1 – Valeurs par défaut des paramètres libres des modèles TBRs\* et TBRs\*<sub>laf</sub>.

TBRs*	Paramètres	Déclin temporel	Durée du rafraîchissement atomique	Encodage	Bruit Gaussien	Seuil pour la récupération
	Valeurs par défaut		$D = 0.5$	$T_r = 80ms$	$R = 6$	$\sigma = 0.02$

TABLE 4.2 – Valeurs par défaut des paramètres internes du modèle SOB-CS.

SOB-CS	Paramètres	Suppression	Encodage	Bruit Gaussien	Discriminabilité entre les items	Seuil pour la récupération
	Valeurs par défaut		$r = 1.5$	$R = 6$	$N_0 = 1.5$	$c = 1.3$

cette version, le décours temporel du rafraîchissement est le seul point qui diffère. Nous nous attendons donc à ce que les prédictions de l'effet du nombre de distracteurs et de l'interaction entre ce nombre et le CC soient similaires à celles du modèle TBRs\*. Nous avons fait tourner les modèles sur 5 000 essais. En ce qui concerne les paramètres libres du modèle, comme, par exemple, la force de déclin  $D$  dans TBRs\*, nous avons repris les valeurs par défaut des modèles TBRs\* et SOB-CS (voir tableaux 4.1 et 4.2).

Le tableau 4.3 présente les valeurs de chaque paramètre externe des expériences 1 et 2. Globalement, les modèles TBRs\* et SOB-CS ont besoin des mêmes paramètres externes en entrée : le nombre de mémoranda, le nombre de distracteurs à traiter entre chaque mémoranda, la vitesse de présentation des mémoranda, le temps de présentation de chaque mémoranda et le temps de capture attentionnelle par un distracteur (qui, conceptuellement, correspond plutôt au temps d'encodage du distracteur pour SOB-CS). Cependant, le modèle SOB-CS, contrairement au modèle TBRs\*, a besoin de l'information du type de stimuli (mémoranda et distracteurs) car SOB-CS modélise l'interférence entre les items.

CHAPITRE 4 : Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

TABLE 4.3 – Valeurs des paramètres d'entrée données aux modèles TBRS\* et SOB-CS pour les expériences 1 et 2.

Paramètres externes	Expérience 1	Expérience 2
Nombre de mémoranda	6 items à mémoriser par essai	
Nombre de distracteurs	[2, 4, 8]	[1, 2, 3, 4]
Rythme des distracteurs	[0.8, 1.6, 2.4] secondes	
Temps de présentation des mémoranda	2.5 secondes	
Temps de capture attentionnelle	0.5 secondes (estimation)	
Type de stimuli (utilisé uniquement pour SOB-CS)	Mots (mémoranda) et Lettres (distracteurs)	

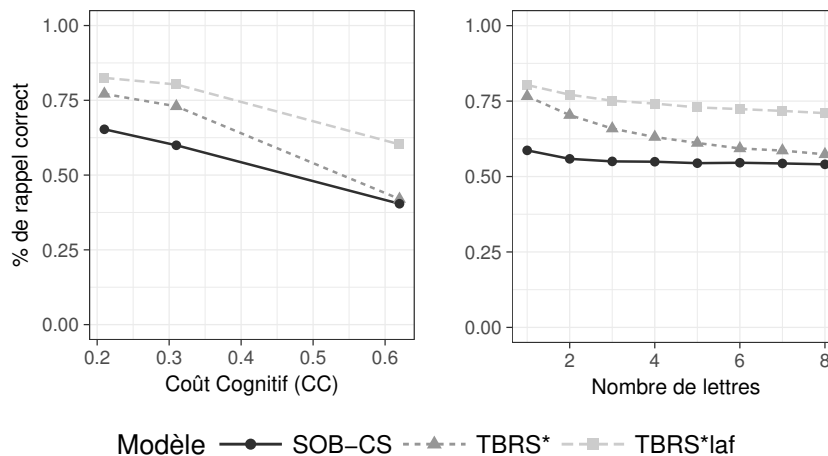


FIGURE 4.3 – Pourcentage moyen de réponses correctes en fonction du rythme (à gauche) et en fonction du nombre de lettres (à droite) pour les données simulées par les modèles SOB-CS, TBRS\* et TBRS\*<sub>laf</sub>.

Les prédictions des trois modèles sont présentées sur les figures 4.3 et 4.4. Les trois modèles prédisent un effet négatif du CC et un effet négatif du nombre de distracteurs (Figure 4.3). La figure 4.4 présente l'effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et le CC pour les trois modèles. Comme attendu, nous observons une interaction entre le nombre de lettres et le CC avec TBRS\* et TBRS\*<sub>laf</sub> : l'effet délétère du nombre de lettres augmente avec l'augmentation

#### 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

du CC. On constate que les performances du modèle  $TBRS^*_{laf}$  sont globalement plus élevées que celles des modèles  $TBRS^*$ . De plus, l'effet d'interaction est moins marqué pour le modèle  $TBRS^*_{laf}$  que pour le modèle  $TBRS^*$ . Dans  $TBRS^*_{laf}$ , l'effet du CC est moins fort car le décours temporel du rafraîchissement permet d'avoir un maintien plus efficace. En effet, le temps de rafraîchissement est consacré en priorité aux items qui ont besoin d'être activés.

Pour finir, SOB-CS prédit un effet d'interaction bien plus faible que  $TBRS^*$  (figure 4.4, panneau de droite). En effet, bien que les items à mémoriser (mots) et les distracteurs (lettres) appartiennent tous deux au domaine verbal, l'interférence des lettres sur les mots n'est pas très élevée. D'autant plus qu'à la phase de rappel, la confusion entre les items et les distracteurs est inexistante.

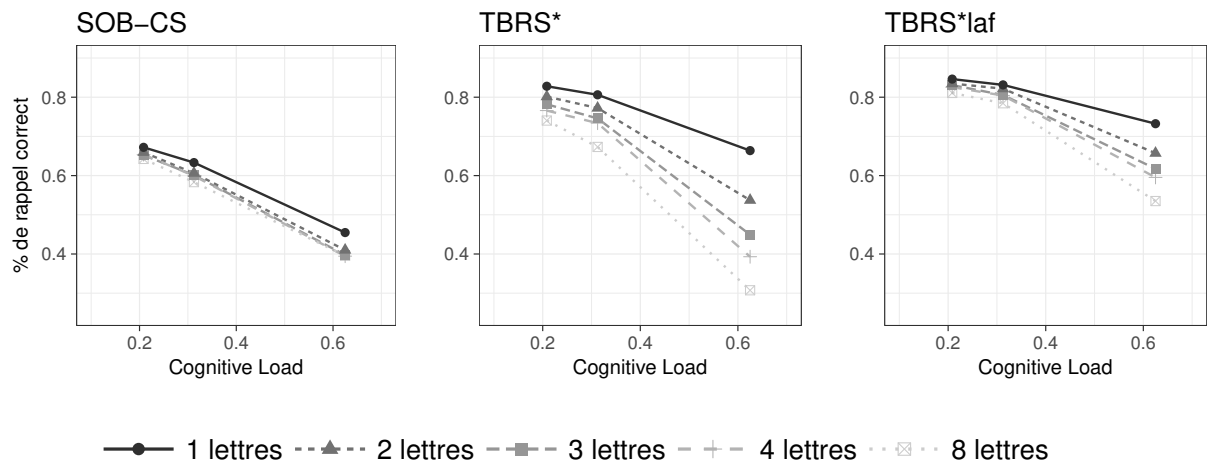


FIGURE 4.4 – Pourcentage moyen de réponses correctes en fonction du CC et du nombre de lettres pour les données simulées par les modèles SOB-CS,  $TBRS^*$  et  $TBRS^*_{laf}$ .

Comme vu précédemment, dans le cadre de SOB-CS, l'interaction entre CC et nombre de distracteurs dépend également du matériel utilisé. En effet, si l'on considère cette fois que les items à mémoriser et les distracteurs à traiter sont des mots, les résultats des simulations seront différents, même si l'on garde les mêmes conditions expérimentales que précédemment. En effet, on s'attend à observer un effet du nombre de distracteurs bien plus important et cela d'autant plus que le CC est élevé. La simulation de SOB-CS confirme cette prédiction (voir figure 4.5). On constate en effet une importante interaction entre le CC et le nombre de mots. Cet exemple montre que les prédictions de SOB-CS sont très dépendantes du matériel utilisé. Dans nos expé-

riences comportementales nous avons utilisé des lettres comme distracteurs et des mots comme mémoranda de manière à ce que TBRS\* et SOB-CS aient des prédictions différentes et puissent donc être confrontés.

Pour résumer, TBRS\* prédit un effet d'interaction marqué entre CC et le nombre de lettres contrairement à SOB-CS. Les deux expériences comportementales permettront donc d'invalider un des deux modèles (ou alors les deux modèles dans le cas où nous observons aucune de ces prédictions). Si nous observons un effet d'interaction montrant que l'effet délétère du nombre de lettres augmente à mesure que le CC augmente, alors TBRS\* sera le modèle le plus pertinent. Au contraire, si nous n'observons pas d'effet d'interaction, alors SOB-CS et TBRS feront de meilleures prédictions que TBRS\*. Dans ce dernier cas, il faudra départager SOB-CS de TBRS. L'utilisation des mots comme distracteurs permettrait de confronter TBRS et SOB-CS. TBRS prédira toujours une absence d'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs alors que SOB-CS prédira cette fois une interaction (voir figure 4.5).

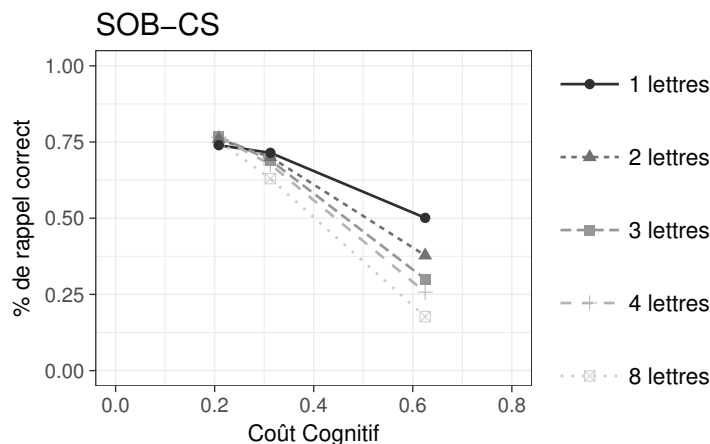


FIGURE 4.5 – Pourcentage moyen de réponses correctes en fonction du CC et du nombre de distracteurs pour les données simulées par le modèle SOB-CS dans le cas où les distracteurs et les items sont des mots.

## 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

### 4.2.2 Expériences comportementales (expériences 2.1 et 2.2)

Contrairement aux modèles, les participants ne peuvent évidemment pas faire 5 000 essais dans chacune des conditions expérimentales. Nous avons donc mené deux expériences, l'une à la suite de l'autre, afin de tester d'une part un large panel de nombre de distracteurs : 1, 2, 3, 4 et 8 et d'autre part d'avoir des résultats répliqués. Nous présenterons ces deux expériences en parallèle puisque les hypothèses de départ, la méthode et l'analyse des résultats sont identiques.

#### Participants

Pour les deux expériences, les participants étaient des étudiants en psychologie recrutés à l'Université Grenoble Alpes. En échange de leur participation, ils recevaient un point bonus sur une matière de leur choix.

<b>Expérience 1</b>	<b>Expérience 2</b>
n = 27 (19 femmes et 8 hommes)	n = 31 (24 femmes et 7 hommes)
âge moyen = 21.46; écart type = 2.83	âge moyen = 22.06; écart type = 1.79

#### Matériel

Les items à mémoriser étaient des mots concrets, illustrés par des images en noir et blanc (Snodgrass & Vanderwart, 1980). Les mots étaient composés d'une, deux ou trois syllabes. Chaque liste de six mots a été construite en s'assurant, manuellement, que (1) le nombre total de syllabes d'une liste soit toujours égal à dix et que (2) les mots d'une même liste aient le moins possible de liens sémantiques et/ou phonologiques évidents (les listes des deux expériences sont disponibles en annexe 2 et 3). La tâche de traitement consistait en une simple lecture orale des lettres qui apparaissaient séquentiellement au centre de l'écran. Toutes les lettres de l'alphabet étaient utilisées à l'exception des lettres qui ne sont pas monosyllabiques (Y et W).

#### Procédure

Les consignes données aux participants étaient les suivantes : (1) lire à haute voix les mots et les lettres qui apparaissaient séquentiellement à l'écran; (2) mémoriser uniquement les mots dans l'ordre; (3) rappeler les mots oralement à la fin de chaque essai. Nous avons insisté sur le fait que lire les lettres correctement et distinctement était aussi important que mémoriser les mots.



## CHAPITRE 4 : Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

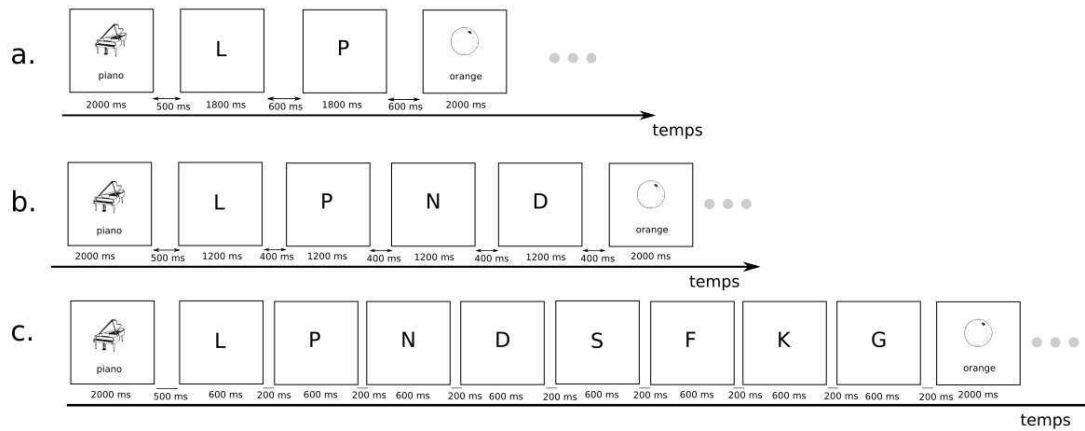


FIGURE 4.6 – Illustration du design expérimental. La figure présente trois des neuf conditions expérimentales de la première expérience : *a.* rythme lent et deux lettres, *b.* rythme modéré et quatre lettres et *c.* rythme rapide et huit lettres.

Chaque essai commençait avec une croix de fixation au centre de l'écran pendant 500 ms suivie d'un écran d'information indiquant, pendant 2 secondes, dans quelle condition l'essai à venir allait être réalisé (exemple : « Vitesse : Lente / Nombre de lettres : 2 »). Puis, chaque mot de la liste apparaissait pendant 2 secondes, suivi d'un écran blanc de 500 ms. Le mot était écrit en *Courrier New* de taille 22 points (7.76 mm) . Il était positionné en dessous de l'image qui est centré sur l'écran dont la taille est de  $7.5 \times 6.5$  cm (ou  $294 \times 255$  pixels). Ensuite, un nombre N de lettres à lire à haute voix se succédaient à un rythme régulier. Chaque lettre était positionnée au centre de l'écran, écrit en *Courrier New* et en majuscule de taille 30 points (10.6 mm). Chacune d'elle apparaissait pendant 1 800 ms, 1 200 ms ou 600 ms suivie d'un écran blanc d'une durée de 600 ms, 400 ms ou 200 ms pour les conditions de vitesse lente, modérée ou rapide, respectivement. Au total, une lettre était donc présentée à l'écran toutes les 2 400 ms, 1 600 ms ou 800 ms selon la condition de vitesse (voir figure 4.6).

À la fin de chaque essai, une fois que les six mots et les lettres avaient été présentés, le mot « RAPPEL » était affiché à l'écran pendant 2 secondes suivi du symbole « 1 : » indiquant au participant de rappeler le premier mot de la liste. L'expérimentateur écrivait, à l'aide d'un second clavier connecté à l'ordinateur, le mot correspondant et pressait la touche « Entrée » du clavier pour passer au rappel suivant (avec le symbole « 2 : », puis « 3 : », ainsi de suite jusqu'à « 6 : »). Le rappel se faisait donc oralement et l'expérimentateur se chargeait de saisir, au clavier,

## 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

les mots à la bonne position. Si le participant ne se souvenait plus du mot en position « 3 : » par exemple, il devait le spécifier à l'expérimentateur qui passait à la position suivante de la liste en appuyant sur la touche « Entrée » du clavier.

Un même participant passait toutes les conditions expérimentales et chacune d'elle faisait l'objet de trois essais. Les essais étaient présentés dans un ordre aléatoire. De plus, dans le but d'éviter un effet de liste, les associations entre une liste de mots et une des neuf conditions ont été contrebalancées. Avant de commencer l'expérience, le participant réalisait trois essais d'entraînement et l'expérimentateur s'assurait que le participant avait bien compris toutes les consignes.

<b>Expérience 1</b>	<b>Expérience 2</b>
Nombre de lettres : 2, 4 et 8	Nombre de lettres : 1, 2, 3 et 4
Nombre de conditions : 9	Nombre de conditions : 12
(3 vitesses × 3 nombres de lettres)	(3 vitesses × 4 nombres de lettres)

### Analyse statistique : comparaison de modèle par AIC

Les études statistiques seront basées sur le critère d'information d'Akaike (AIC, Akaike, 1973). Cette méthode est utilisée pour la comparaison de modèles et elle permet de déterminer quel modèle, parmi les modèles proposés, est le plus probable au vu des données observés. Ces derniers peuvent être des modèles computationnels tel que SOB-CS ou TBRS\* ou bien des modèles statistiques, comme par exemple le modèle linéaire. Nous allons d'abord décrire ce que représente le critère AIC, puis nous présenterons la méthode d'analyse statistique basée sur ce critère.

**Le critère d'information d'Akaike : AIC** La méthode d'Akaike propose une estimation de la qualité relative du modèle étudié parmi d'autre(s) modèle(s) à avoir généré les données observés. Dans le calcul de l'AIC un point important est la pénalisation des modèles ayant trop de paramètres. Le meilleur modèle est celui ayant l'AIC le plus faible.

L'AIC est calculé comme suit :  $AIC = -2\log L(\tilde{\theta}) + 2K$ . Le premier terme  $-2\log L(\tilde{\theta})$  représente la déviance entre le modèle et les observations réelles où  $L(\tilde{\theta})$  est la fonction de vraisemblance du modèle. Le second terme  $2k$ , avec  $k$  étant le nombre de paramètres libres du modèle, permet de pénaliser les modèles non parcimonieux. En effet, avec un trop grand nombre

de paramètres, on risque de modéliser le bruit en plus des effets réels, ce qui serait regrettable. Nous souhaitons, au contraire, qu'un modèle soit général et non pas spécifique aux observations d'une seule étude.

La fonction de vraisemblance du modèle  $L$  est le seul terme devant être calculé. La vraisemblance d'un modèle est, en d'autres termes, la probabilité d'obtenir les données observées si on considère qu'elles ont été générées par le modèle  $M$ . La fonction de vraisemblance  $L(M|y)$  est donc l'équivalent de la fonction de densité de probabilité conditionnelle  $P(y|M)$ . Dans le cas classique de comparaison de modèles statistiques,  $L(\theta)$  représente la fonction de vraisemblance maximum du modèle en fonction des paramètres libres,  $k$ .

**Méthode d'analyse** Nous avons observé et analysé les pourcentages de mots correctement rappelés dans l'ordre et dans le désordre en fonction du nombre de lettres et de leur rythme d'apparition. Nos analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (Team, 2012), du package `lme4` (Bates, Mächler, Bolker, & Walker, 2015) et du package `AICcmodavg` (Mazerolle, 2017). La fonction `glmer` (pour *general linear mixte effect regression*) du package `lme4` a été utilisée pour créer une série de modèles logistiques à effets mixtes mettant en relation le taux de réponses correctes comme une variable dépendante binaire (1 = réponses correctes et 0 = réponses incorrectes) avec 0, 1 ou plusieurs facteurs fixes selon le modèle que l'on voulait tester. Ces facteurs fixes étaient les variables indépendantes de l'expérience, comme par exemple le rythme de la tâche distractive, le nombre de distracteurs ou encore la position dans la liste. Étant donné que les sujets ont passé chacune des conditions expérimentales, les observations pour un même sujet ne sont pas indépendantes les unes des autres. Afin de prendre en compte cette dépendance dans les modèles, la variable « sujet » est introduite comme facteur aléatoire. En effet, chaque sujet, pris aléatoirement au sein de la population, est différent des autres. Par exemple, chaque sujet a une capacité de mémoire de travail qui lui est propre. Les différents modèles que nous avons créés et comparés dépendent des questions que nous nous sommes posées au départ.

Premièrement, nous voulons savoir s'il existe un effet du rythme sur les performances de MDT. Pour cela, nous devons comparer le modèle contraint  $M_0$ , qui considère que les performances ne dépendent ni du rythme, ni du nombre de lettres, avec le modèle augmenté  $M_{CC}$  qui ajoute la variable rythme (CC pour coût cognitif).

## 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

Deuxièmement, nous voulons savoir si le nombre de lettres a un effet sur les performances de rappel. Pour répondre à cette deuxième question nous avons créé un troisième modèle  $M_{NbL}$  qui considère que les performances de rappel dépendent du nombre de lettres.

Troisièmement, nous voulons tester l'effet d'interaction entre ces deux variables indépendantes. L'effet du nombre de lettres varie-t-il en fonction du rythme d'apparition des lettres ? Pour répondre à cette question, nous avons créé le modèle  $M_{CC+NbL}$  et  $M_{CC*NbL}$ , pour la prise en compte de l'effet des deux variables indépendantes, et l'effet d'interaction entre ces deux variables, respectivement.

Voici la liste des cinq modèles que nous avons créés sous R afin de tester nos différentes hypothèses :

$$M_0 \leftarrow VD \sim (1|Sujet)$$

$$M_{CC} \leftarrow VD \sim CC + (1|Sujet)$$

$$M_{NbL} \leftarrow VD \sim NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{CC+NbL} \leftarrow VD \sim CC + NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{interaction} \leftarrow VD \sim CC * NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

Le terme VD représente la variable dépendante qui sera, par la suite, le pourcentage de réponses correctes ordonnées.

Nous pouvons, à partir de ces cinq modèles, calculer les AICc<sup>2</sup> et les poids ( $W$ ) représentant la probabilité d'un modèle d'être le meilleur parmi les modèles de comparaison existants. Ces valeurs sont obtenues grâce à la fonction *AICtab* du package *AICcmodavg*. Le rapport entre deux poids  $W$  permet d'obtenir l'*evidence ratio* (que l'on notera ER). ER est un indice indiquant quel modèle, entre deux modèles, est le plus probable au vu des données expérimentales. Un rapport entre deux valeurs comprises toutes deux dans l'intervalle [0,1] donnera un nombre compris dans l'intervalle [0,+∞]. Supposons que ER entre  $M_1$  et  $M_2$ , soit égal à 1 000, c'est-à-dire que  $W_{M_1}/W_{M_2} = 1000$ , alors on pourra conclure que le modèle  $M_1$  est mille fois plus probable que le modèle  $M_2$ . Imaginons maintenant que ER soit égal à 1, alors nous ne pourrions malheureusement rien conclure car les deux modèles sont équivalents en terme d'ER. En comparant les modèles deux à deux, les ER pourraient se suffire à eux-mêmes pour discuter de l'importance de la preuve de l'existence ou non d'un effet. Mais, par souci de concision, nous avons choisi

---

2. L'AICc représente l'AIC corrigé pour les échantillons de petites tailles. La formule est la suivante :  $AIC_c = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}$  où  $n$  désigne le nombre d'observations et  $k$  désigne le nombre de paramètres à estimer.

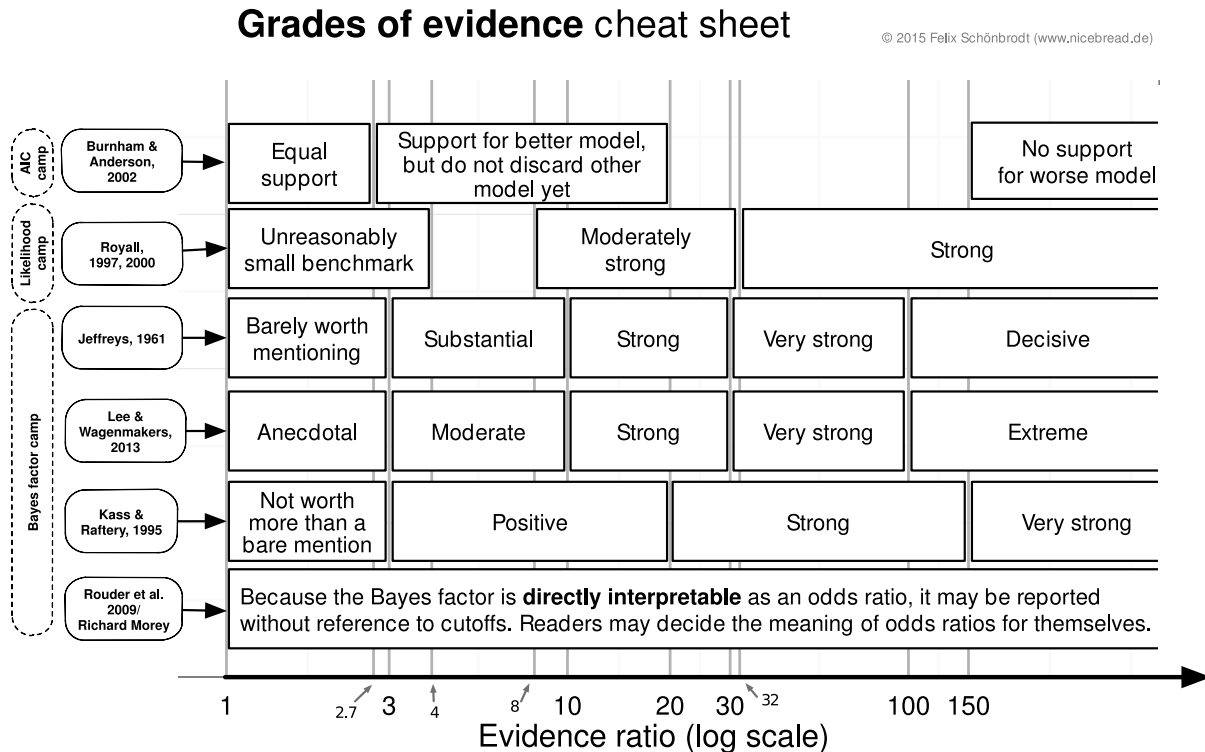


FIGURE 4.7 – Ce « cheat sheet » est tiré du blog de Felix Schönbrodt, article de blog écrit le 17 avril 2015. Cette feuille résume les différentes étiquettes ou échelles choisies selon l'approche basée sur les AIC, sur la vraisemblance (« *likelihood* ») ou l'approche bayésienne.

par la suite d'utiliser l'échelle proposée par Burnham et Anderson (2002) présentée sur la figure 4.7. Les critères de décision sont donc les suivants : un ER compris entre 1 et 2.7 suppose que les deux modèles comparés sont aussi probables. Entre 2.7 et 20, le moins bon modèle n'est pas complètement rejeté. Au-dessus de 150, le moins bon modèle peut être éliminé.

### Analyse sur les taux de réponses correctes dans l'ordre

Nous avons analysé l'effet des variables indépendantes sur le taux de réponses correctes dans l'ordre. Une réponse est notée comme correcte si l'item rappelé en position  $i$  a été présenté à la  $i^e$  position dans la liste à mémoriser.

## 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

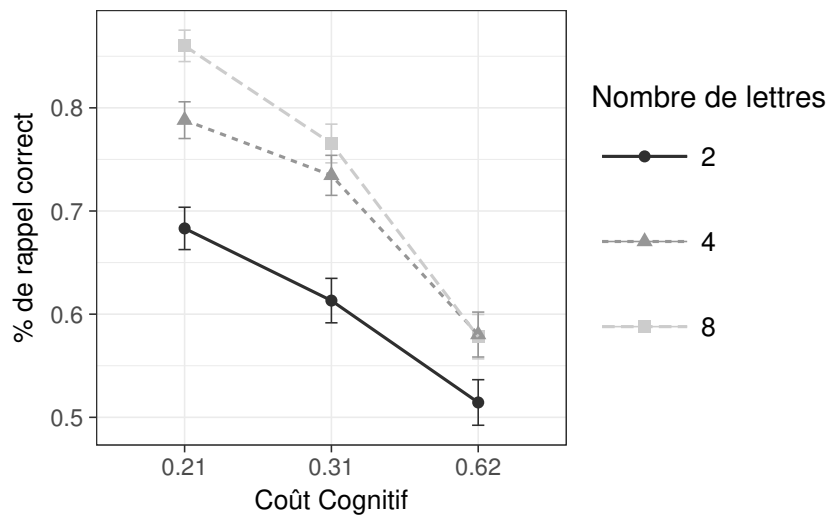


FIGURE 4.8 – Proportion de réponses correctes dans l’ordre sériel de l’expérience 1. Les barres d’erreurs représentent l’intervalle de confiance à 95 % pour comparaisons intra sujets (Morey, 2008).

**Expérience 1** Pour cette première expérience, le meilleur modèle statistique est le modèle linéaire généralisé complet  $M_{interaction}$  prenant en compte l’effet du CC, l’effet du nombre de distracteurs et l’effet d’interaction entre ces deux variables. Le tableau 4.4 donne les valeurs des  $AICc$  de chacun des modèles, les valeurs de différences d’ $AICc$  entre le modèle d’intérêt et le meilleur modèle et les valeurs des poids  $W$  des cinq modèles que l’on souhaite comparer. Tout d’abord, nous observons un effet du CC avec de meilleures performances à CC faible ( $m = 77\%$ ), qu’à CC modéré ( $m = 70\%$ ) et qu’à CC élevé ( $m = 55\%$ ,  $ER_{M_{CC}/M_0} = 2e+45$ ). Ensuite, nous observons un effet du nombre de distracteurs ( $ER_{M_{NbL}/M_0} = 1.1e+16$ ). Contrairement aux prédictions des modèles, l’augmentation du nombre de distracteurs est bénéfique avec des performances moyennes de 60%, 70% et 73% pour 2, 4 et 8 lettres respectivement (voir figure 4.8). Finalement, nous observons un effet d’interaction entre le CC et le nombre de distracteurs ( $ER_{M_{interaction}/M_{CC+NbL}} = 150$ ). En effet, l’effet du nombre de distracteurs s’atténue à mesure que le CC augmente.

CHAPITRE 4 : Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

TABLE 4.4 – Classement des modèles GLMM sur le pourcentages de réponses correctes dans l'ordre de l'expérience 1.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{interaction}$	2814.03	0	0.99
$M_{CC+NbL}$	2824.1	10.06	0.0065
$M_{CC}$	2902.69	88.65	5.6e-20
$M_{NbL}$	3037.5	223.46	3e-49
$M_0$	3111.33	297.29	2.8e-65

TABLE 4.5 – Classement des cinq modèles linéaires généralisés à effet mixtes sur les pourcentages de réponses correctes dans l'ordre de l'expérience 2.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{interaction}$	5146.15	0	0.999
$M_{CC+NbL}$	5159.27	13.12	0.00141
$M_{CC}$	5195.11	48.96	2.34e-11
$M_{NbL}$	5349.82	203.66	5.95e-45
$M_0$	5384.39	238.23	1.85e-52

## 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

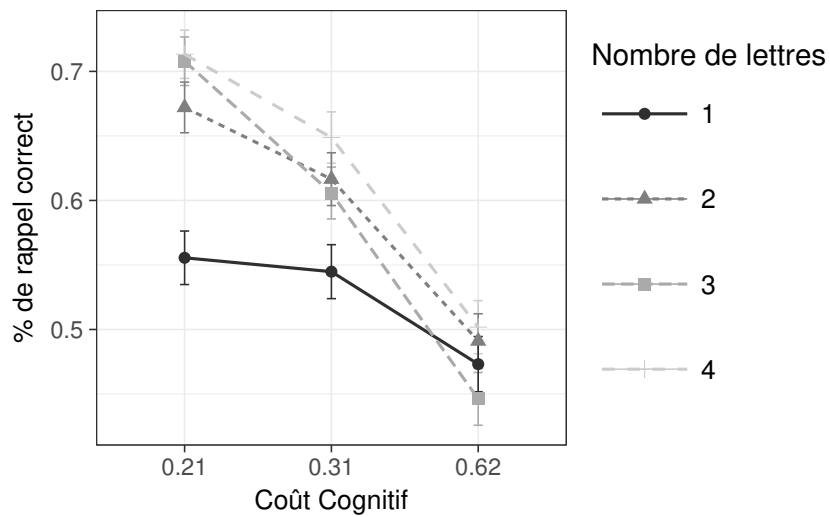


FIGURE 4.9 – Proportion de réponses correctes dans l'ordre sériel de l'expérience 2. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95% pour comparaisons intra-sujets (Morey, 2008).

**Expérience 2** Pour rappel, l'expérience 2 était similaire à l'expérience 1 à l'exception des modalités de la variable « nombre de distracteurs » : 1, 2, 3 et 4 lettres au lieu de 2, 4 et 8 lettres. Dans cette deuxième expérience, le meilleur modèle statistique est également le modèle linéaire généralisé complet  $M_{interaction}$  prenant en compte l'effet du CC, l'effet du nombre de distracteurs et l'effet d'interaction entre ces deux variables (voir le tableau 4.5). Tout d'abord, nous observons un effet du CC avec de meilleures performances à CC faible ( $m = 66\%$ ) qu'à CC modéré ( $m = 60\%$ ) et qu'à CC élevé ( $m = 47\%$ ;  $ER_{M_{CC}/M_0} = 1.3e+41$ ). Ensuite, nous observons un effet du nombre de distracteurs ( $ER_{M_{NbL}/M_0} = 3.2e+07$ ). Comme précédemment et contrairement aux prédictions des modèles, l'ajout de distracteurs entre les items est bénéfique avec des performances moyennes de 52%, 59%, 58% et 62% pour 1, 2, 3 et 4 lettres respectivement (voir figure 4.9). Finalement, nous observons un effet d'interaction entre le CC et le nombre de lettres ( $ER_{M_{interaction}/M_{CC+NbL}} = 710$ ).



**Discussion**

L'objectif de ces deux expériences était de tester particulièrement l'effet du nombre de distracteurs et l'effet d'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe. Un récapitulatif des différents effets attendus par les trois différents modèles est résumé dans le tableau 4.6.

TABLE 4.6 – Récapitulatif des prédictions des modèles TBRS\*, SOB-CS et TBRS sur les performances de rappel dans une tâche d'empan complexe à propos de l'effet du nombre de distracteurs (lettres à lire), de l'effet du CC et de l'effet d'interaction de ces deux facteurs.

	<b>TBRS* et TBRS*<sub>laf</sub></b>	<b>SOB-CS</b>	<b>TBRS</b>
Nombre de lettres	<b>effet négatif</b>	pas d'effet <sup>3</sup>	
CC	effet négatif		
Nombre de lettres * CC	<b>effet d'interaction</b> effet négatif sauf à CC très faible	pas d'effet d'interaction	

Dans ces deux expériences, nous observons l'effet du CC prédit par les trois modèles. Plus le CC est faible, meilleures sont les performances. Le CC a été manipulé en faisant varier le rythme d'apparition des distracteurs sans faire varier la difficulté de la tâche à traiter. Nous pouvons donc également conclure ici que plus le temps libre suivant un distracteur est long, meilleures sont les performances de mémorisation. Ces résultats peuvent être expliqués par TBRS et TBRS\* comme suit : la manipulation du rythme de la tâche induit une variation du CC correspondant à l'équilibre entre déclin et rafraîchissement des items à mémoriser. Le modèle SOB-CS peut expliquer les résultats de la manière suivante : le temps libre suivant un distracteur est utilisé pour effacer ce distracteur afin d'atténuer les effets d'interférence.

De manière inattendue, nous observons un effet bénéfique du nombre d'opérations. De plus, nous observons que cet effet bénéfique du nombre de distracteurs est d'autant plus important que le CC est faible. Ces résultats vont totalement à l'encontre des prédictions de nos différents modèles qui supposent une absence d'effet ou même un effet délétère du nombre d'opérations.

Qu'en est-il des autres expériences de la littérature ayant également manipulé le nombre d'opérations dans une tâche d'empan complexe ? Au total, nous avons répertorié cinq expé-

3. À nuancer, car un effet délétère du nombre de distracteurs peut être observé à CC très élevé (proche de à 1) selon TBRS.

#### 4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)

riences (voir tableau 4.7) de tâche d'empan complexe qui manipulent le nombre de distracteurs tout en contrôlant le CC. Parmi elles, une seule expérience (l'expérience 2 de Oberauer & Lewandowsky, 2014) observe également un effet positif du nombre d'opérations. Les quatre autres expériences n'observent pas d'effet significatif du nombre d'opérations. Nous avons constaté qu'entre nos deux expériences et les expériences référées dans le tableau, les items à mémoriser sont différents : des mots pour nos deux expériences comparé à des lettres pour les autres expériences (excepté celle de Loaiza & McCabe, 2013 sur laquelle nous reviendrons dans la suite de la discussion). Cette différence majeure pourrait expliquer l'inconsistance des résultats concernant l'effet du nombre de distracteurs.

En effet, le matériel que nous avons utilisé pourrait faciliter la mise en place de stratégies. Les items à mémoriser sont des mots concrets illustrés par des images qui font fortement appel à la mémoire à long terme. Ce matériel permet aux participants d'élaborer de nombreuses stratégies comme la création d'histoires ou d'images globales. En effet, de nombreux participants rapportaient qu'ils imaginaient des scènes, ou se racontaient une histoire en reliant les mots entre eux pour s'aider à la mémorisation. Voici un exemple d'histoire rapportée : *un hibou portant un manteau regarde la télé en fumant un cigare*, les mots à mémoriser étaient « Hibou, manteau, télé, cigare ». Il semble plus difficile d'imaginer une histoire ou de visualiser une image globale avec des lettres. Cette stratégie élaborée pourrait permettre l'amélioration des performances à mesure que les opportunités de temps libre augmentent : chaque opportunité de temps libre peut être utilisée pour construire des liens entre les items. En ce sens, Loaiza et McCabe (2013), ont également utilisé des mots à mémoriser, et ils ont observé un effet bénéfique du nombre d'opérations sur les performances de mémorisation lors d'une tâche de rappel différé uniquement. En revanche, ils n'ont pas observé d'effet bénéfique du nombre d'opérations sur les performances de mémorisation mesurées lors du rappel immédiat contrairement à nos résultats (voir le tableau 4.7, p. 160). Il est possible que nos expériences testent également la MLT, bien que le rappel soit fait immédiatement après la présentation de l'essai. D'ailleurs, la durée d'un essai peut sembler long pour un test de mémoire immédiate. Par exemple, dans le cas de la condition lente à huit lettres, il se passe deux minutes et dix secondes entre la présentation du premier item et le début du rappel.

En faveur de cette hypothèse, certains auteurs (p.ex., McCabe, 2008 ; Loaiza et al., 2011 ; Unsworth & Engle, 2007) considèrent que les tâches de MDT font appeler à la MCT et à la

MLT (ou, en d'autres termes, à la mémoire primaire et à la mémoire secondaire). La capacité de la mémoire primaire (MCT) étant fortement limitée, les items seraient également stockés en mémoire secondaire lors d'une tâche d'empan complexe. Selon les modèles de Cowan (2001); McCabe (2008); Oberauer (2002); Unsworth et Engle (2007) et Baddeley (2000), les performances de rappel dans une tâche d'empan complexe dépendraient finalement de l'interaction entre le système de mémoire primaire et le système de mémoire secondaire<sup>4</sup>. C'est-à-dire que lorsque la mémoire primaire est surchargée, par le traitement de distracteurs ou par un nombre d'items à mémoriser trop important, alors la mémoire secondaire prendrait le relais.

Si l'on suppose que nos deux expériences testent effectivement la MLT, alors l'effet positif du nombre de distracteurs peut être, au moins en partie, dépendant du lien qu'entretiennent la MDT et la MLT. Nos résultats pourraient alors être expliqués par le modèle TBRS. En effet, selon ce modèle, les performances de rappel différé seraient meilleures avec un temps libre cumulé, dédié au rafraîchissement, plus long (Barrouillet & Camos, 2015). Justement, dans nos expériences, l'ajout de distracteurs permet d'ajouter du temps libre. Si, comme le souligne Unsworth et Engle (2007) une tâche d'empan complexe combine des performances de MLT et de MDT, alors l'effet bénéfique du nombre d'opérations peut s'expliquer grâce aux modèles TBRS et au modèle de McCabe.

Au contraire, SOB-CS et TBRS\* permettent de tester uniquement les performances à court terme (ou en mémoire primaire). Aucun mécanisme d'interaction entre mémoire primaire et mémoire secondaire n'est actuellement proposé dans ces deux modèles. Pourtant, ces modèles ont pour objectif de prédire les performances dans une tâche d'empan complexe. Une première limitation que nous observons ici est donc leur incapacité à rendre compte des performances et des effets liés au système de mémoire secondaire, qui semble être important. Dans le cadre de SOB-CS, le temps libre permet d'effacer le distracteur qui vient d'être encodé. Nous n'avons actuellement aucune hypothèse permettant d'expliquer comment le maintien peut être consolidé à mesure que le temps libre augmente dans un tel cadre. En effet, l'effacement n'agit pas directement sur la trace de l'item à maintenir et donc l'hypothèse de création de lien entre les items est difficilement envisageable. Dans le cadre de TBRS\*, le temps libre permet de réactiver les

---

4. Les termes de Unsworth et Engle (2007) sont utilisés ici. Mais la mémoire primaire correspond au focus attentionnel des modèles de Cowan (2001) et de McCabe (2008), à la MDT du modèle de Oberauer (2002) et au buffer épisodique du modèle de Baddeley (2000) et du modèle de Barrouillet et Camos (2015). La mémoire secondaire correspond simplement à la MLT pour tous les modèles que nous venons de citer ici.

#### *4.2 Effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe (expériences 2.1 et 2.2)*

items à maintenir. On pourrait imaginer que chaque opportunité de rafraîchissement peut stabiliser la trace mnésique face au déclin. Ou alors, comme suggéré par le modèle TBRS, chaque opportunité de rafraîchissement laisserait une trace en MLT. L'augmentation des opportunités de rafraîchissement faciliterait ainsi la récupération d'items depuis la MLT, même lors d'une tâche de rappel immédiat.

De nombreux indices semblent indiquer que les performances que l'on observe dans nos expériences ne sont pas purement des performances de MDT. Dans la section suivante, nous présentons une troisième expérience ayant pour objectif de tester cette hypothèse. Nous n'abandonnons pas les modèles computationnels pour autant. Une étude détaillée de ces modèles à travers nos données expérimentales sera proposée à la fin de ce chapitre.

TABLE 4.7 – Résumé des cinq expériences répertoriées dans la littérature qui manipulent le nombre de distracteurs à CC constant dans une tâche d'empan complexe.

Expériences	Barrouillet et al. (2011)		Plancher et Barrouillet (2013)		Oberauer et Lewandowsky (2014)				Loaiza et McCabe (2012)	
					Expérience 1	Expérience 2			Expérience 2	
<b>Mémoranda</b>	7 lettres (2s)		6 lettres (1.1s)		7 lettres (1s)				4 mots (1s)	
<b>Distracteurs</b>	Opération spatiale		Lecture de mots		Opération spatiale				Opération arithmétique	
<b>Coût Cognitif</b>	0.5 0.39 0.34		~ 0.62 (800 ms) ~ 0.33 (1.5 s)		0.55 0.3				5250 ms	
<b>% de rappel correct en fonction de N</b>	N = 4	N = 8	N = 2	N = 4	N = 4	N = 8	N = 1	N = 4	N = 1	N = 2
	67.3%	69.3%	52.16%	51.5%	~ 74%	~ 77%	~ 67%	~ 73%		
<b>Effet de N?</b>	Pas d'effet		Pas d'effet		Pas d'effet			Effet positif (4 > 1)		Pas d'effet

### **4.3 Expérience 2.3 : les contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe**

À la suite des résultats de nos précédentes expériences, nous nous sommes intéressés à la littérature concernant les liens entre la MDT et la MLT dans une tâche d'empan complexe (Camos & Portrat, 2015 ; McCabe, 2008 ; Loaiza & McCabe, 2012, 2013). En effet, nous supposons qu'une partie des items rappelés dans nos tâches d'empan complexes provient de la MLT (Rose & Craik, 2012 ; Unsworth & Engle, 2007). L'objectif principal de cette troisième expérience 2.3 a donc été de tester l'hypothèse suivante : l'effet bénéfique du nombre de distracteurs proviendrait spécifiquement des items qui ont été encodés en MLT.

Cette expérience comportementale s'appuie sur deux constats observés actuellement dans la littérature concernant la MLT dans une tâche d'empan complexe. D'une part, Camos et Portrat (2015) ont montré que le CC de la tâche de traitement avait un effet sur les performances à long terme : plus le CC est faible, plus les performances à long terme sont élevées. D'autre part, des études menées par McCabe (2008) et Loaiza et McCabe (2012, 2013) ont montré que la présence de distracteurs avait un effet bénéfique sur les performances à long terme : d'un côté, les performances à long terme sont améliorées lorsque les items sont présentés dans une tâche d'empan complexe incluant des distracteurs plutôt que dans une tâche d'empan simple sans distracteurs (McCabe, 2008 ; Souza & Oberauer, 2017) et d'un autre côté, les performances à long terme sont améliorées lorsque, au sein d'une tâche d'empan complexe, le nombre de distracteurs est plus important (Loaiza & McCabe, 2013).

Dans ces deux ensembles d'études, chaque facteur (le CC et le nombre de distracteurs) induit une variation des opportunités de rafraîchissement des items à mémoriser. Cependant, ces deux manipulations sont associées à deux théories distinctes concernant l'impact du rafraîchissement sur les traces mnésiques. Dans une première vision où la MDT est la partie activée de la MLT, McCabe (2008) suppose que le rafraîchissement (appelé précisément par ces auteurs *covert retrieval* en anglais) favorise la création de liens entre les items et leurs contextes qui sont cruciaux pour la récupération d'information à long terme. Le rafraîchissement des items pendant une tâche d'empan complexe permet la création de ces liens car chaque distracteur déplace les items hors du focus attentionnel. Ainsi, les items bénéficiant de plus d'opportunités de rafraîchissement (avec un plus grand nombre de distracteurs) sont plus souvent récupérés depuis la

#### CHAPITRE 4 : Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

MLT formant ainsi un plus grand nombre d'indices contextuels et facilitant alors le rappel à long terme. D'un autre point de vue où la MDT et la MLT sont deux entités distinctes, Barrouillet et Camos (2015) considèrent que chaque rafraîchissement (appelé précisément *attentional refreshing* en anglais par ces auteurs) laisse une trace (ou un exemplaire) en MLT. Plus un item est rafraîchi en MDT (ou au sein du *buffer épisodique*), plus il y aura des traces<sup>5</sup> de cet item en MLT et donc meilleures seront les performances de rappel à long terme. D'après le modèle TBRS, et contrairement à la vision du modèle de McCabe, ce n'est pas directement la présence de distracteurs qui améliore les performances à long terme mais le temps libre accumulé par la présence de distracteurs. Le modèle TBRS permet donc aussi d'expliquer les résultats observés par Loaiza et McCabe.

À ce jour, le CC et le nombre de distracteurs ont toujours été manipulés séparément. Nous avons donc mené une expérience d'empan complexe manipulant orthogonalement le nombre de distracteurs et le CC, de manière similaire aux expériences 2.1 et 2.2 présentées précédemment. Nous avons ajouté, en plus des rappels immédiats suivant chaque essai, un rappel différé final dans le but de tester la MLT. Deux hypothèses ont été testées à travers cette expérience.

Dans un premier temps, nous avons testé l'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs sur les performances de mémorisation à long terme. Si le temps libre est effectivement déterminant pour les performances à long terme, comme le prédit le modèle TBRS, alors on s'attend à observer une interaction entre le CC et le nombre de distracteurs sur les performances de rappel à long terme (rappel différé). En effet, l'augmentation du temps libre en ajoutant des distracteurs sera d'autant plus importante que le CC sera faible. En revanche, une absence d'interaction ira dans le sens d'une indépendance entre deux mécanismes de maintien distincts : le rafraîchissement de TBRS manipulé par le CC et le *covert retrieval* de McCabe manipulé par le nombre de distracteurs. Le rafraîchissement agirait sur les traces en MDT et créerait des traces de l'item en MLT. Le *covert retrieval* permettrait la création de liens entre le contexte et le contenu (*cue context-content*) facilitant la récupération à long terme. Actuellement, nos deux premières expériences (2.1 et 2.2) ont montré une interaction entre le CC et le nombre de distracteurs en rappel immédiat mais nos prédictions ne s'appliquent qu'aux performances à

---

5. En anglais le terme employé est *instances* qui pourrait être traduit par « exemples » ou « exemplaires ». Ou encore, le terme informatique *instance*, dans les langages orientés-objet par exemple, serait tout à fait approprié. En effet, chaque trace créée en MDT et laissée en MLT peut être vue comme une instance d'une classe ; où la classe représente l'item à mémoriser.

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

long terme. Cependant, nous faisons l'hypothèse que, lors du rappel immédiat de nos deux expériences, des items provenaient à la fois de la MLT et de la MDT. En effet, conformément aux modèles considérant que la MDT est limitée à quatre items (Cowan, 2001) et étant donné que les listes à mémoriser comportaient six items et que des distracteurs devaient être traités, certains items ont vraisemblablement été rappelés depuis la MLT. Ainsi, nous proposons que l'effet d'interaction observé lors du rappel immédiat serait dû aux items provenant de la MLT. Nous nous attendons donc à observer un effet d'interaction sur les performances de rappel immédiat également, comme cela a déjà été observé dans les deux expériences précédentes mais nous proposerons une analyse supplémentaire permettant de distinguer les contributions respectives de la MDT et de la MLT lors du rappel immédiat.

En effet, nous avons séparé les items provenant uniquement de la MDT (ou de la mémoire primaire) et ceux provenant de la MLT (ou mémoire secondaire) afin de tester plus spécifiquement les prédictions du modèle TBRS. Pour estimer si un item provient de l'une ou l'autre mémoire, nous nous sommes appuyé sur les performances de rappel à long terme. Nous avons émis l'hypothèse que les items rappelés depuis la MDT sont ceux dont les traces mnésiques ne sont pas assez stables pour perdurer dans le temps (c'est-à-dire les items rappelés uniquement lors du rappel immédiat et pas lors du rappel différé). Et au contraire, les items rappelés à long terme (lors du rappel différé) ont une forte probabilité d'avoir été rappelés depuis la MLT lors du rappel immédiat. Les équations 4.4 résument cette idée. Les items rappelés dans l'immédiat (noté  $Items_{RI}$ ) sont composés d'items provenant de la MDT (noté  $Items^{MDT}$ ) et d'items provenant de la MLT (noté  $Items^{MLT}$ ). Les items rappelés en différé (noté  $Items_{RD}$ ) sont composés uniquement d'items provenant de la MLT. Ainsi, en combinant les deux équations 4.4a et 4.4b on peut estimer les items provenant de la MDT (voir l'équation 4.4c). La soustraction par l'intersection entre  $Items_{RD}$  et  $Items_{RI}$  (et non pas directement par  $Items_{RD}$ ) est nécessaire car certains items rappelés en différés ne sont pas forcément rappelés lors du rappel immédiat (bien que cela soit très rare).

$$Items_{RI} = Items^{MDT} + Items^{MLT} \quad (4.4a)$$

$$Items_{RD} = Items^{MLT} \quad (4.4b)$$

$$Items^{MDT} = Items_{RI} - Items_{RD} \cap Items_{RI} \quad (4.4c)$$



Nous avons donc testé les effets des deux variables (CC et nombre de distracteurs) sur des performances de mémorisation qui relèveraient essentiellement de la MDT, et non pas d'une combinaison de la MDT et de la MLT. L'hypothèse principale du modèle TBRS concernant l'effet du nombre de distracteurs sur les performances de MDT a donc pu être testé. D'après le modèle TBRS, on s'attend à ce que les performances des items provenant de la MDT dépendent uniquement du CC de la tâche de traitement. Cela implique que le nombre de distracteurs ne devrait pas avoir d'effet sur les performances de rappel provenant de la MDT uniquement, contrairement aux performances des items provenant de la MLT.

### **4.3.1 Méthode**

#### **Participants**

Quarante-deux étudiants en psychologie (36 femmes, âge moyen = 21,8; SD = 3,4; étendue = [18 ans, 34 ans]) ont participé à l'étude. Ils ont été recrutés à l'Université Grenoble Alpes. En échange de leur participation, ils ont reçu un point bonus pour un examen d'une matière de leur choix.

#### **Matériel**

Le matériel à mémoriser était constitué de mots concrets bi-syllabiques. Contrairement aux deux expériences précédentes, les mots n'étaient pas illustrés par des images. Nous avons contrôlé la fréquence des mots de manière plus objective en utilisant la fréquence écrite du lemme récupéré à l'aide de la base de donnée *Lexique 3* ([www.lexique.org](http://www.lexique.org); New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). La fréquence des mots allait de 1.28 à 82.36 (fréquence moyenne = 26.3). Nous avons vérifié que la fréquence moyenne des mots d'une même liste était comprise entre 20 et 30. Nous avons vérifié manuellement que les mots d'une même liste n'avait pas de liens sémantiques directs ni de similarités phonologiques. Les listes de mots utilisées dans cette expérience 2.3 sont présentées en annexe 4. Comme pour les deux expériences précédentes, l'ensemble de lettres comprenait tout l'alphabet, excepté les lettres qui ne sont pas monosyllabiques, Y et W.

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

#### Procédure

Les consignes étaient identiques à celles des expériences précédentes. Pour rappel, les participants devaient lire à haute voix tous les mots et toutes les lettres qui apparaissaient à l'écran. Puis, ils devaient rappeler, dans l'ordre, les mots de la liste à la fin de chaque essai.

L'expérience a été codée sous E-PRIME 2.0 (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2012). Chaque essai commençait par une croix de fixation présentée au centre de l'écran, pendant 500 ms suivie d'un écran d'information indiquant, pendant 2 secondes, dans quelle condition l'essai à venir allait être réalisé (exemple : « Vitesse : Lente / Nombre de lettres : 2 »). Puis, les mots et les lettres apparaissaient de manière séquentielle au centre de l'écran (*Courrier New*, 22 points pour les mots et 30 points pour les lettres). Chaque mot était présenté pendant 2 000 ms suivi d'un écran blanc pendant 500 ms pour un total de 2 500 ms par mot. Entre chaque mot était présenté N lettres (2 ou 8 selon la modalité de la VI « Nombre de Lettres »). Dans la condition « CC faible », la lettre était présentée pendant 1 500 ms suivie d'un écran blanc pendant 500 ms, correspondant à un rythme total d'une lettre toutes les 2 000 ms. Dans la condition « CC élevé », la lettre est présentée à l'écran pendant 500 ms suivie d'un écran blanc pendant 375 ms, correspondant à une durée totale de 875 ms entre deux lettres. A la fin de chaque essai, le mot « RAPPEL » apparaissait au centre de l'écran pendant 2 secondes, suivi du symbole « 1 : » pour indiquer que le participant devait rappeler le premier mot de la liste mémorisée. Le rappel était identique à celui des deux expériences précédentes.

Au total, cinq blocs de quatre essais étaient présentés au participant. Au sein d'un bloc, chaque essai correspondait à une condition expérimentale (CC faible - 2 lettres, CC faible - 8 lettres, CC élevé - 2 lettres ou CC élevé - 8 lettres). Les quatre conditions expérimentales étaient présentées dans un ordre aléatoire. Ainsi, lors du rappel différé qui intervenait à la fin de l'expérience, le temps moyen total entre la présentation d'un essai et le rappel final différé était équilibré entre chacune des conditions. En effet, si les cinq essais dans la condition « CC faible - 2 » étaient présentés au début de l'expérience et que les cinq essais de la condition « CC élevé - 2 » étaient présentés à la fin de l'expérience, alors le temps entre les essais et le rappel différé serait beaucoup plus long dans la condition « CC faible - 2 » que dans la condition « CC élevé - 2 ». Cette différence de temps pourrait nuire à l'observation d'un effet éventuel des conditions expérimentales. En construisant cinq blocs, chacun comprenant les quatre conditions expérimentales, cela a permis justement de contrôler et d'équilibrer la variation du temps entre

l'encodage de la liste et le rappel différé entre les différentes conditions. De plus, l'association entre une liste de mots et une condition était contrebalancée afin de contrôler un effet de liste éventuel. Avant la phase expérimentale comprenant 20 essais (5 essais x 4 conditions expérimentales), le participant réalisait deux essais d'entraînement (la condition « CC faible - 2 » et la condition « CC élevé - 8 »).

Après les 20 essais de la tâche d'empan complexe, le participant devait remplir un questionnaire personnel (âge, scolarité, vision, antécédents neurologiques, etc. ; pour plus de détails le questionnaire est disponible en annexe 5) pendant 3 minutes. Une fois les trois minutes écoulées, l'expérimentateur demandait au participant de rappeler oralement tous les mots de l'expérience, l'ordre n'ayant plus d'importance. Ce rappel différé était un rappel surprise pour le participant et il durait 5 minutes pour chaque participant. L'expérimentateur reportait sur l'ordinateur tous les mots rappelés par le participant. À la fin de l'expérience, l'expérimentateur demandait au participant la (ou les) stratégie(s) de mémorisation employée(s), dans un but exploratoire.

### 4.3.2 Résultats

Dans un premier temps, nous avons analysé l'effet des variables CC et Nombre de lettres sur le pourcentage de rappel correct en différé ainsi que le pourcentage de rappel correct en immédiat (Analyse 1). Dans un deuxième temps, nous avons testé l'effet des variables sur le pourcentage de mots rappelés uniquement lors du rappel immédiat ( $Items_{MDT}$  de l'équation 4.4c), et pas lors du rappel différé, sans prendre en compte l'ordre (Analyse 2). Pour chaque analyse, nous avons utilisé les modèles linéaires généralisés à effets mixtes (`glmer`) ainsi que la comparaison par AICc, de la même manière que dans les expériences 2.1 et 2.2. Pour rappel, voici les quatre modèles `glmer` que nous avons créé à l'aide du logiciel R :

$$M_0 \leftarrow VD \sim (1|Sujet)$$

$$M_{CC} \leftarrow VD \sim CC + (1|Sujet)$$

$$M_{NbL} \leftarrow VD \sim NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{CC+NbL} \leftarrow VD \sim CC + NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{interaction} \leftarrow VD \sim CC * NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

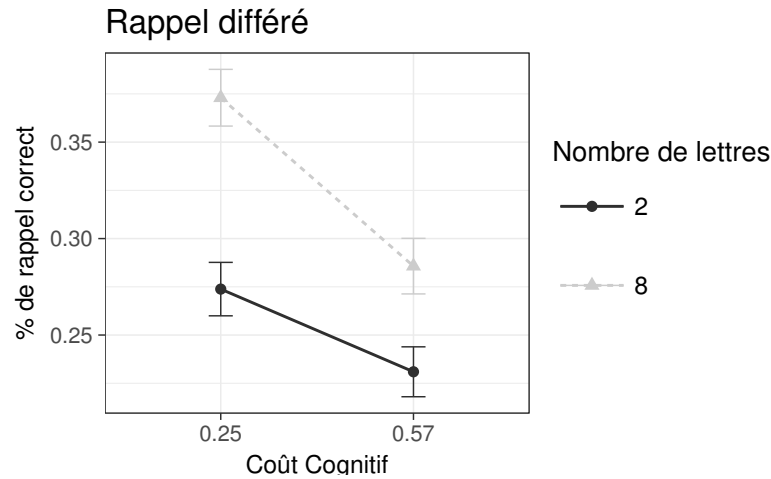


FIGURE 4.10 – Proportion de réponses correctes en rappel différé en fonction des conditions expérimentales. Les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95% pour comparaisons intra sujets (Morey, 2008).

#### Analyse 1 : performances de rappel globales

**Rappel différé.** Le tableau 4.8 donne les valeurs des AICc de chacun des modèles, les valeurs de différences d'AICc entre le modèle d'intérêt et le meilleur modèle et les valeurs des poids  $W$  des cinq modèles que l'on souhaite comparer. Concernant les pourcentages de rappel correct lors de la tâche de rappel différé, le meilleur modèle statistique est le modèle linéaire généralisé ne prenant pas en compte l'interaction  $M_{CC+NbL}$ . Cependant, le  $ER_{M_{CC+NbL}/M_{interaction}}$  comparant le modèle complet et le modèle sans interaction ne permet pas de conclure sur le choix du modèle ( $ER_{M_{CC+NbL}/M_{interaction}} = 1.1$ ). Comme prédit par le modèle TBRS, les performances de rappel différé sont meilleures quand le CC de la tâche de traitement est faible ( $m = 32\%$ ) plutôt qu'élevé ( $m = 26\%$ ;  $ER_{M_{CC}/M_0} = 290\ 000$ ). Comme prédit par le modèle de McCabe (2008), le nombre de distracteurs a un effet bénéfique sur les performances de rappel différé avec en moyenne 33% de rappel correct dans la condition avec 8 distracteurs contre 25% dans la condition avec 2 distracteurs ( $ER_{M_{NbL}/M_0} = 6.7e+07$ ). Enfin, comme indiqué précédemment, nous ne pouvons pas conclure sur l'effet d'interaction ( $ER_{M_{CC+NbL}/M_{interaction}} = 1.1$ ). La figure 4.10 présente les pourcentages de rappel correct dans l'ordre lors de la tâche de rappel différé en fonction des conditions expérimentales.

TABLE 4.8 – Classement des modèles GLMM sur le pourcentage de réponses correctes en rappel différé.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{CC+NbL}$	1003.47	0	0.52
$M_{interaction}$	1003.64	0.17	0.48
$M_{NbL}$	1028.81	25.34	1.6e-06
$M_{CC}$	1039.71	36.24	7e-09
$M_0$	1064.86	61.39	2.4e-14

TABLE 4.9 – Classement des modèles GLMM sur le pourcentage de réponses correctes dans l'ordre sériel.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{interaction}$	980.04	0	1
$M_{CC+NbL}$	1010.36	30.32	2.6e-07
$M_{CC}$	1128.34	148.3	6.3e-33
$M_{NbL}$	1153.25	173.21	2.4e-38
$M_0$	1267.61	287.57	3.6e-63

**Rappel immédiat : pourcentage de rappel correcte dans l'ordre sériel.** Concernant les pourcentages de rappel correct dans l'ordre en rappel immédiat, le tableau 4.9 donne les valeurs des AICc de chacun des modèles, les valeurs de différence d'AICc entre le modèle d'intérêt et le meilleur modèle et les valeurs des poids  $W$  des cinq modèles que l'on souhaite comparer. Le meilleur modèle statistique est le modèle linéaire généralisé complet  $M_{interaction}$  prenant en compte l'effet du rythme, l'effet du nombre de lettres et l'effet d'interaction entre ces deux variables. Conformément aux nombreuses études conduites dans le cadre du modèle TBRS, les performances de rappel immédiat sont meilleures quand le CC de la tâche de traitement est faible ( $m = 67\%$ ) plutôt qu'élevé ( $m = 52\%$ ;  $ER_{M_{CC}/M_0} = 1.7e+30$ ). Également, la présente étude réplique les résultats obtenus dans les deux expériences précédentes puisque le nombre de distracteurs a un effet bénéfique sur les performances de rappel immédiat avec, en moyenne, 66% de rappel correct dans la condition avec 8 distracteurs contre 53% dans la condition avec 2 distracteurs ( $ER_{M_{NbL}/M_0} = 6.8e+24$ ). Enfin, nous observons un effet d'interaction

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

( $ER_{M_{interaction}/M_{CC+NbL}} = 3.8e+6$ ) et la figure 4.11 montre que l'effet du nombre de distracteurs est plus important quand le CC de la tâche est faible plutôt que rapide.

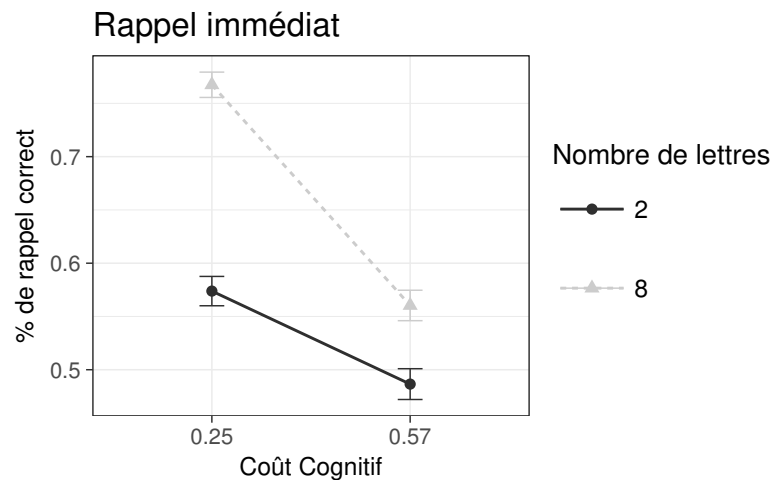


FIGURE 4.11 – Proportion de réponses correctes dans l'ordre sériel. Les barres d'erreurs représente l'intervalle de confiance à 95% pour comparaisons intra sujets (Morey, 2008).

Ces premières analyses globales ont permis de répliquer l'effet positif du nombre de distracteurs ainsi que l'effet d'interaction entre le CC de la tâche et le nombre de distracteurs sur les performances de rappel immédiat. De plus, l'effet du nombre de distracteurs observé en rappel immédiat est également observé en rappel différé. Ce résultat suggère que lors du rappel immédiat comme lors du rappel différé, des systèmes ou des mécanismes communs semblent être mis en jeu. Cependant, contrairement aux prédictions faites par le modèle TBRS, nous n'observons pas d'effet d'interaction lors du rappel différé, alors que cet effet est observé en rappel immédiat. Ces résultats sont surprenants car nous nous attendions à observer un *pattern* inverse. Puisque les performances de rappel différées sont supposées être impactées par la variation du temps libre total disponible, nous nous attendions à observer un effet d'interaction plus marqué à long terme qu'à court terme. Le fait de ne pas observer d'interaction à long terme indiquerait que le temps libre n'est pas un facteur déterminant en MLT.

TABLE 4.10 – Les quatre types de classes de rappel créés.

Rappel Différé		Rappel Immédiat	
		réussite	échec
	réussite	<i>TT</i>	<i>FT</i>
	échec	<i>TF</i>	<i>FF</i>

### Analyse 2 : performances de rappel conditionnées par le rappel différé

Pour rappel, nous supposons que lors du rappel immédiat, un item peut être récupéré, soit depuis la MDT (mémoire primaire), soit depuis la MLT (mémoire secondaire) et que lors du rappel différé, l'item est toujours récupéré depuis la MLT. Nous avons, à l'aide du rappel différé, soustrait les items provenant de la mémoire secondaire afin de tester séparément les effets des variables sur les items provenant de la MDT et ceux provenant de la MLT. Ainsi, nous avons choisi d'étiqueter tous les items selon qu'ils aient été rappelés en différé et en immédiat (noté *TT*, pour True-True), en immédiat seulement (noté *TF*, pour True-False) ou en différé seulement (noté *FT*, pour False-True). Dans le cas où l'item n'est jamais rappelé, alors il est noté comme *FF* (pour False-False). La table ci-dessous résume les quatre types de rappel que nous avons créés, basés sur le rappel immédiat et le rappel différé. L'idée a été de tester séparément les items récupérés depuis la MDT (*TF*) et les items récupérés depuis la MLT (*TT*).

**Analyse des rappels immédiats seuls (*TF*) :** Le tableau 4.11 montre que le meilleur modèle, pour rendre compte des rappels *TF*, est le modèle linéaire généralisé  $M_{CC}$  qui prend en compte uniquement l'effet du CC. Comme prédit par le modèle TBRS, les performances de rappel immédiat sont meilleures quand le CC de la tâche de traitement est faible ( $m = 52\%$ ) plutôt qu'élevé ( $m=47\%$ ;  $ER_{M_{CC}/M_0} = 400$ ; voir le panneau gauche de la figure 4.12). De même, comme prédit par le modèle TBRS, le nombre de distracteurs n'a pas d'effet sur les performances *TF* avec en moyenne 50% de rappel correct dans la condition avec 8 distracteurs contre 50% dans la condition avec 2 distracteurs ( $ER_{M_0/M_{NbL}} = 2.8$ ; voir le panneau droit de la figure 4.12). Enfin, nous n'observons pas d'effet d'interaction ( $ER_{M_{CC+NbL}/M_{interaction}} = 2.7$ ) entre le CC et le nombre de distracteurs, suggérant que l'absence d'effet du nombre de distracteurs s'applique à CC faible et à CC élevé.

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

TABLE 4.11 – Tableau des AIC et des AICc des 5 modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages d'items rappelés correctement uniquement lors du rappel immédiat (*TF*).

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{CC}$	984.42	0	0.675
$M_{CC+NbL}$	986.52	2.1	0.237
$M_{interaction}$	988.53	4.1	0.0866
$M_0$	996.4	11.97	0.00169
$M_{NbL}$	998.47	14.05	0.000601

TABLE 4.12 – Tableau des AIC et des AICc des 5 modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages d'items rappelés correctement lors du rappel immédiat et lors du rappel différé (*TT*).

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{interaction}$	1014.29	0	0.726
$M_{CC+NbL}$	1016.24	1.95	0.274
$M_{NbL}$	1038.73	24.44	3.58e-06
$M_{CC}$	1057.32	43.02	3.3e-10
$M_0$	1079.61	65.31	4.77e-15

**Analyse des rappels immédiats et différés (*TT*) :** Le tableau 4.12 montre que le meilleur modèle, concernant la VD *TT*, est le modèle linéaire généralisé  $M_{interaction}$ . Comme prédit par le modèle TBRS, les performances de rappel différé sont meilleures quand le CC de la tâche de traitement est faible ( $m = 31\%$ ) plutôt qu'élevé ( $m = 25\%$ ;  $ER_{M_{CC}/M_0} = 69000$ ; voir le panneau gauche de la figure 4.12). De même, comme prédit par le modèle de McCabe ainsi que par le modèle TBRS, le nombre de distracteurs a un effet bénéfique sur les performances *TT*, avec en moyenne 32% de rappel correct dans la condition avec 8 distracteurs contre 24% dans la condition avec 2 distracteurs ( $ER_{M_0/M_{NbL}} = 7.5e+08$ ; voir le panneau droit de la figure 4.12). Enfin, nous observons un effet d'interaction ( $ER_{M_{interaction}/M_{CC+NbL}} = 2.7$ ) entre le CC et le nombre de distracteurs avec cependant un ER restant peu convaincant.

En résumé, nous constatons que l'effet d'interaction observé en rappel immédiat ne se retrouve pas sur le pourcentage d'items rappelés uniquement à court terme (*TF*). Un faible ER semble aller dans le sens d'une interaction uniquement sur les items rappelés à la fois à court



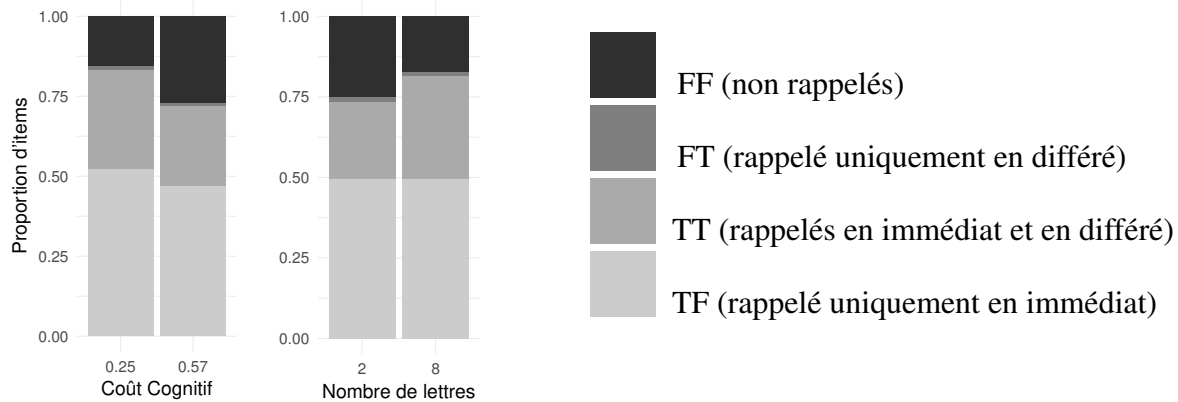


FIGURE 4.12 – Proportion des réponses *TT*, *TF*, *FT* et *FF* en fonction du CC sur le panneau de gauche et en fonction du nombre de lettres sur le panneau de droite.

et à long terme (*TT*). Ces résultats sont étonnants car nous n'observons pas d'effet d'interaction sur le pourcentage global d'items rappelés en différé. Les résultats n'étant pas clairs, nous avons complété nos analyses en testant directement l'effet du temps libre cumulé sur les *TT*, en utilisant la variable de position d'encodage dans la liste. Nous avons ainsi 24 temps différents (6 positions x 4 conditions expérimentales) allant d'un temps très faible (pour le cas de l'item en position 6 dans la condition rapide avec 2 distracteurs) à un temps très long (pour le cas de l'item en position 1 dans la condition lente avec 8 distracteurs). Si, comme prédit par le modèle TBRS, le temps libre est un facteur probant sur les performances de mémorisation à long terme, alors on s'attend à avoir une relation entre le temps de rafraîchissement cumulé et les performances de rappels en différé.

#### Analyses à posteriori : effet du temps libre cumulé pour chaque item sur le rappel différé.

La figure 4.13 représente les 24 points correspondant aux 6 positions  $\times$  2 rythmes  $\times$  2 nombre de lettres. Nous avons tracé la courbe de tendance linéaire et la courbe de tendance logarithmique. Nous observons que la courbe logarithmique s'ajuste mieux aux données que la courbe linéaire.

Pour confirmer cette observation nous avons comparé le modèle  $M_{TempsLibre}$ , prenant en compte le temps libre accumulé comme variable dépendante continue, au modèle  $M_{log(TempsLibre)}$  prenant en compte le logarithme du temps libre accumulé.

$$M_{TempsLibre} \leftarrow TT \sim TempsLibre + (1|Sujet)$$

$$M_{log(TempsLibre)} \leftarrow TT \sim \log(TempsLibre) + (1|Sujet)$$

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

TABLE 4.13 – Classement des modèles GLMM sur le pourcentages de réponses  $TT$ .

Modèle	AICc	$\Delta AICc$	w
$M_{log(TempsLibre)}$	2691.97	0	1
$M_{TempsLibre}$	2721.44	29.47	3.98e-07

Les résultats statistiques confirment que les performances de rappel à long terme et le temps libre ont un lien logarithmique ( $ERM_{log(TempsLibre)}/M_{TempsLibre} > 10\,000$ ) indiquant que plus le temps libre de départ est élevé, plus l'ajout du temps libre a un faible effet sur les performances de rappel différé.

Ces résultats supportent donc l'idée que les performances de mémorisation lors d'une tâche de rappel différé dépendent du temps libre cumulé au cours d'une tâche d'empan complexe. De plus, le lien logarithme permet probablement d'expliquer pourquoi nous n'avons pas observé un clair effet d'interaction entre le CC et le nombre de distracteurs sur les performances de rappel différé. En effet, l'interaction était attendue si la relation entre le temps cumulé et les performances était linéaire.

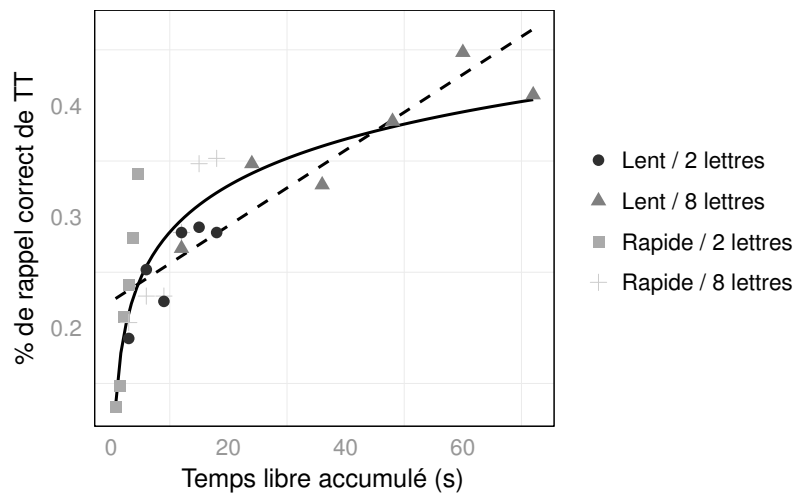


FIGURE 4.13 – Pourcentage d'items correctement rappelés à long terme et à court terme ( $TT$ ) en fonction du temps libre total cumulé lors de la tâche d'empan complexe. La ligne en pointillé représente la courbe de tendance linéaire et la ligne en continu représente la courbe de tendance logarithmique. Ces deux courbes sont obtenues à l'aide de la fonction `geom_smooth` du package `ggplot2` du logiciel R.

### 4.3.3 Discussion

Les résultats de cette expérience 2.3 permettent de mieux comprendre les résultats contre-intuitifs des deux expériences précédentes. En effet, l'analyse conjointe des performances de rappel immédiat et différé a permis d'identifier les raisons pour lesquelles l'augmentation du nombre d'interruptions dans une tâche d'empan complexe était bénéfique à la mémorisation. Il semblerait que ce bénéfice provienne d'un enrichissement des traces mnésiques permettant de les rendre plus stables dans le temps comme prédit par le modèle *Covert Retrieval* de McCabe (2008) ou par le modèle TBRS de Barrouillet et Camos (2015). En effet, cet effet bénéfique s'observe uniquement sur les informations qui sont rappelées en immédiat et en différé (*TT*). Alors qu'aucun effet du nombre d'interruptions n'est observé sur les performances d'items rappelés uniquement à court terme (*TF*). L'absence d'effet du nombre d'interruptions sur les performances d'items rappelés uniquement à court terme est en accord avec la théorie du modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2015) qui considère que les performances en MDT dépendent uniquement du CC de la tâche ce qui est également vérifié à travers cette dernière expérience.

Par ailleurs, nous n'avons pas observé d'effet d'interaction entre le CC de la tâche et le nombre d'interruptions sur les performances de mémorisation à long terme, contrairement aux prédictions du modèle TBRS. Pour rappel, ce modèle considère que les performances à long terme dépendent principalement du temps libre total accumulé pendant lequel le rafraîchissement peut avoir lieu. Plus un item est rafraîchi au sein du *buffer épisodique*, plus le nombre de traces mnésiques (ou d'exemplaires) laissées à long terme serait important. Cependant la conclusion d'une absence d'interaction sur les performances à long terme n'est pas très claire. En effet, lorsque nous avons décortiqué l'analyse sur les performances d'items *TF* et d'items *TT*, nous avons constaté que l'effet d'interaction observé sur les performances à court terme provenait uniquement des items *TT*, correspondant aux items maintenus à long terme. De plus, une analyse a posteriori a montré que les performances *TT* dépendaient du temps total cumulé selon une relation logarithmique. Cette dernière analyse apporte une nuance importante à l'effet du temps cumulé sur les performances à long terme. L'ajout de temps libre n'a pas le même effet selon qu'on ait peu de temps ou beaucoup de temps au départ. Et cette observation permet justement d'éclairer sur l'absence d'interaction : la relation entre le temps libre et les performances à long terme n'étant pas linéaire, il est normal que l'on n'observe pas d'interaction. Finalement, l'hypothèse d'interaction n'était pas un indice pertinent pour détecter l'impact du temps libre

#### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

sur les performances à long terme.

En s'appuyant sur le modèle TBRS et sur le modèle *Covert Retrieval*, l'ensemble de ces résultats sont cohérents avec l'hypothèse d'Unsworth et Engle (2007) qui supposent que les tâches d'empan complexes font appel à la mémoire primaire et à la mémoire secondaire. En effet, en divisant les performances de rappel immédiat en deux groupes, chacun correspondant à une mémoire différente, nous retrouvons tous les effets prédits par les modèles TBRS et *Covert Retrieval* : (1) effet unique du CC sur la mémoire primaire (TBRS), (2) effet du nombre de lettre sur la mémoire secondaire (*covert retrieval*) et (3) un effet du temps libre cumulé vraisemblable sur la mémoire secondaire (TBRS).

L'idée d'un recours à la fois à la mémoire primaire et à la mémoire secondaire lors du rappel immédiat d'une tâche d'empan de mémoire n'est pas nouvelle. Pour rappel, les effets de primauté et de récence (Glanzer, 1972) dans une tâche de rappel libre pouvaient être expliqués simplement en supposant que les premiers items provenaient de la mémoire secondaire alors que les items en fin de liste provenaient de la mémoire primaire. Cependant, des résultats avaient montré que l'effet de récence pouvait également être observé sur des tâches de mémorisation à long terme (Da Costa Pinto & Baddeley, 1991). La distinction entre mémoire primaire et mémoire secondaire était donc mise à l'épreuve. C'est alors que la théorie de *distinctiveness* (G. D. A. Brown et al., 2007) a connu le jour et a montré qu'en considérant que la mémoire est un continuum, les résultats de récence en tâche de MCT et en tâche de MLT pouvaient être expliqués à travers ce modèle. Nous nous sommes donc interrogés sur la capacité du modèle SIMPLE (qui est l'implémentation de la théorie de *distinctiveness*) à reproduire nos données expérimentales.

**Explication alternative : le modèle SIMPLE.** Pour rappel, d'après SIMPLE, la distinction temporelle entre les items a un impact important sur les performances de rappel. Plus les items sont distants entre eux temporellement, plus ils seront distincts les uns des autres. Cette première hypothèse permettrait simplement d'expliquer un effet bénéfique du nombre de distracteurs. En effet, plus le nombre de distracteurs est élevé, plus les items seront distants et donc distincts entre eux. Cependant, SIMPLE prend également en compte l'effet du temps qui passe entre l'encodage des items et le moment de leur rappel. Plus ce temps sera élevé, plus les performances seront faibles. Dans le cas de notre expérience, l'augmentation du nombre de distracteurs va aug-

menter le temps entre l'encodage de l'item et le rappel de celui-ci. La question se pose alors : est-ce que SIMPLE prédira un effet positif du nombre de distracteurs dans le cas de notre expérience ? Pour pouvoir répondre à cette question, nous avons simulé notre expérience grâce au modèle SIMPLE<sup>6</sup>. Ce modèle comporte un seul paramètre libre que nous avons donc fait varier dans le but de trouver le meilleur modèle SIMPLE pour nos données. Les résultats de simulation ont montré que le meilleur modèle ne permettait pas de simuler un effet positif du nombre de distracteurs (le code utilisé pour simuler notre expérience est présenté dans l'encadré 4.1). Il apparaît donc que nos résultats expérimentaux ne peuvent pas simplement être modélisés par SIMPLE.

Encadré 4.1 – Code R du modèle SIMPLE repris de Farrell et Lewandowsky (2011).

```
SIMPLEserial <- function (c, presTime, recTime, J) {
  # c is the single parameter of SIMPLE
  # presTime and recTime are the effective temporal
  # separation of items at input and output
  # J is the length of the list

  pcor <- rep.int(0, J)
  Ti <- cumsum(rep.int(presTime, J))
  Tr <- Ti[length(Ti)] + cumsum(rep.int(recTime, J))

  for (i in c(1:J)) { #i indexes output + probe position
    M <- log(Tr[i]-Ti)
    eta <- exp(-c*abs(M[i]-M))
    pcor[i] <- 1/sum(eta)
  }
  return(pcor)
}
```

Le mécanisme de rafraîchissement attentionnel de TBRS ou le mécanisme de *covert retrieval* restent donc des candidats favorables à l'effet que nous observons ici. Très récemment, une étude de Souza et Oberauer (2017) a montré que le temps libre total cumulé (sans la présence d'interruption) avait un impact sur les performances à long terme. Ces auteurs ont même observé

6. On voit ici l'intérêt majeur de la modélisation computationnelle. Il semble difficile de prédire l'effet de SIMPLE sans utiliser la simulation.

#### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

que l'effet du temps cumulé était plus important que l'effet de la présence d'interruptions, suggérant que l'effet McCabe était peut être uniquement dû au temps libre ajouté par la présence des distracteurs. Cette étude semble donc rejeter l'idée proposée par McCabe (2008) suggérant que la création de liens utiles à la récupération à long terme nécessite le déplacement des items de la MDT vers la MLT, dû à la présence de distracteurs. D'après Souza et Oberauer (2017), le temps de consolidation (suivant directement un item) semble être un facteur impactant la mémorisation et la stabilisation à long terme. Cependant, ces résultats ne sont pas en contradiction avec nos résultats qui suggèrent que le temps total cumulé disponible pour rafraîchir des items améliore les performances à long terme. En effet, Souza et Oberauer (2017) supposent qu'un mécanisme important pour la mémorisation à long terme est la consolidation et nos travaux semblent suggérer que le rafraîchissement attentionnel et/ou le *covert retrieval* ont également un impact sur la mémorisation à long terme. D'ailleurs, la question concernant le fait que rafraîchissement attentionnel et consolidation soient deux mécanismes ou un même mécanisme reste ouverte.

En plus des mécanismes de rafraîchissement et de consolidation, Souza et Oberauer (2017) suggèrent également que le temps total peut être utilisé pour la mise en place d'un maintien élaboré utilisant le sens des mots, permettant ainsi d'améliorer la récupération à long terme. En effet, comme nous l'avons déjà fait remarquer pour nos deux premières expériences, une des particularités de nos expériences est l'utilisation de mots concrets. Ainsi, les mots peuvent être reliés entre eux pour former des images complètes ou même une histoire. Le chaînage entre les mots pourrait faciliter le maintien d'une séquence. En effet, le rappel d'un seul mot peut alors réactiver le mot suivant et ainsi de suite. Ainsi, l'effet bénéfique du nombre d'interruptions à court terme et à long terme que nous observons pourrait donc être spécifique aux items que l'on peut facilement mettre en lien. En ce sens, Loaiza, Duperreault, Rhodes, et McCabe (2014) ont testé l'impact du nombre d'opportunités de rafraîchissement sur le rappel différé en utilisant des mots et des non-mots. Les résultats ont effectivement montré que l'effet bénéfique des opportunités de rafraîchissement n'était pas observé lorsque les stimuli étaient des non-mots. De plus, une autre étude (Uittenhove & Barrouillet, 2016) a montré que, selon le type de matériel à mémoriser, l'impact du nombre de distracteurs sur les performances à court terme variait, pouvant aller d'un effet délétère à un effet bénéfique. Dans le cas des mots, l'ajout de distracteurs serait bénéfique alors que dans le cas de lettres, l'ajout de distracteurs serait neutre, et dans le cas de stimuli visuels, l'ajout de distracteurs serait délétère. Le schéma 4.14 illustre les résultats

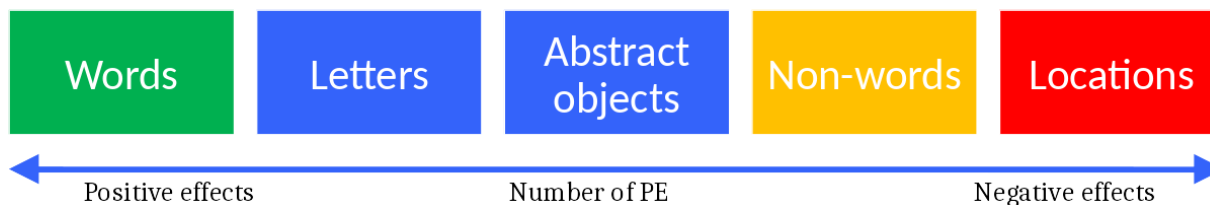


FIGURE 4.14 – Effet du nombre de distracteurs (PE pour *processing episodes* sur le graphique) dans une tâche d'empan complexe selon le type de stimuli à mémoriser. Schéma repris de Uittenhove et Barrouillet (2016).

obtenus par Uittenhove et Barrouillet (2016).

Pour revenir à l'utilisation de stratégies de maintien élaborées (cf., Souza & Oberauer, 2017), ni leur étude, ni notre étude, ni celles de Loaiza et McCabe (2012) n'a contrôlé les stratégies utilisées par les participants. Nous ne pouvons donc pas déterminer avec certitude si les effets que nous observons sont dus aux mécanismes de maintien élaborés ou aux mécanismes plus élémentaires que sont le rafraîchissement attentionnel, le *covert retrieval* ou la consolidation. Une suite à notre étude serait donc de tester l'effet du nombre de distracteurs sur les performances à court terme et à long terme sur différents types de stimuli (par exemple des stimuli visuel, des mots concrets et abstraits, des non-mots). Ainsi, nous pourrions distinguer les effets réellement dû aux mécanismes élémentaires de maintien et ceux simplement dû aux multiples stratégies élaborées dont nous avons conscience lors de la mémorisation et que nous mettons en place volontairement. Une autre façon de contrôler l'utilisation des stratégies serait de forcer les participants à utiliser différentes stratégies à travers des consignes spécifiques.

Concernant les modèles computationnels, TBRS\* et SOB-CS ne permettent pas de modéliser l'effet positif du nombre de distracteurs observé dans nos trois expériences. Une raison possible à cela est l'absence de prise en compte du lien qui semble exister entre la MLT et la MDT. Ni TBRS\*, ni SOB-CS, ne prend en compte l'impact de la MLT sur les performances de MDT. Il semblerait que les modèles cherchant à modéliser les performances au sein d'une tâche d'empan complexe devraient incorporer des mécanismes reliant la MLT et la MDT. Une suite intéressante à ces travaux serait donc d'étendre les modèles TBRS\* et SOB-CS en leur ajoutant la possibilité de faire du *chunking*, c'est-à-dire créer des liens entre les items. Des travaux en ce sens ont déjà été menés par Portrat, Guida, Phénix, et Lemaire (2016), dans lesquels la possibilité de faire des *chunk* a été modélisée. Malheureusement, nous n'avons pas eu le temps d'approfondir ce pan de recherche.

### 4.3 Contributions de la MDT et de la MLT au sein d'une tâche d'empan complexe (expérience 2.3)

Bien que ces modèles computationnels aient certaines limites, les données de nos expériences peuvent être utilisées pour tester la capacité des modèles à reproduire le comportement des participants, sur d'autres points que les effets de nos variables. En effet, jusqu'à présent nous sommes intéressés uniquement au pourcentage de rappel correct moyen des participants selon les effets de nos variables indépendantes. Or, nous pouvons également analyser les réponses (correctes ou pas) plus en détail selon la position sérielle. Nous aurions ainsi une mesure plus fine du comportement humain.

Dans la section qui suit, nous proposons donc d'étudier la capacité des modèles à reproduire les effets de la position sur les performance de rappel. Comme les modèles ne parviennent pas à reproduire l'effet du nombre de distracteurs, nous nous sommes focalisés uniquement sur les effets de la position seule en moyennant les différentes conditions expérimentales. Le but final de cette analyse était de pouvoir proposer des pistes d'amélioration de ces modèles.



## 4.4 Au-delà des réponses moyennes correctes

Lorsqu'un participant rappelle une liste d'items qu'il a mémorisés, sa réponse n'est pas binaire et peut être décomposée en rappels corrects et en rappels incorrects, ces derniers pouvant être également subdivisés en plusieurs sous-ensembles comme nous le verrons ci-dessous. Cette analyse fine des performances de mémorisation peut permettre de mieux comprendre ce que font les humains lors de la phase de rappel et également durant la phase de maintien. En effet, supposons qu'une liste de lettres à mémoriser soit la suivante « A B C D E F »<sup>7</sup>. Les participants doivent rappeler la bonne lettre pour chaque position. Suivons l'exemple, et supposons que le rappel est le suivant : « A C C . H F ». En fait, plusieurs types de réponses sont possibles pour chaque lettre et pour chaque position. La réponse peut être :

- correcte : le bon item est rappelé à la bonne position. Selon l'exemple, les lettres A et F sont rappelées à la bonne position.
- ou incorrecte, qui peut-être de quatre types différents :
  - une erreur de transposition : l'item n'est pas rappelé à la bonne position. Selon l'exemple, le premier item C est rappelé à la mauvaise position.
  - une erreur d'omission : aucun item n'est rappelé. Selon l'exemple, aucun item n'est rappelé à la position 4.
  - une erreur d'intrusion : l'item rappelé ne fait pas partie de la liste à mémoriser, comme par exemple la lettre H sur l'exemple ci-dessus.
  - une erreur de répétition : l'item est rappelé plus d'une fois dans la même liste. L'item C est rappelé deux fois.

Notre objectif a donc été d'analyser ces différents types de réponses en fonction de la position puis, d'observer la capacité des modèles à reproduire le comportements des participants. En effet, comme nous l'avons déjà souligné dans la chapitre 2, les modèles TBRS\* et SOB-CS permettent de simuler les différents types de réponses.

Avant d'aller plus loin dans cette analyse, nous devons préciser que Oberauer et Lewandowsky (2011) et Oberauer, Lewandowsky, et al. (2012), les auteurs de TBRS\* et SOB-CS, ont utilisé la position de sortie, et jamais la position d'entrée, pour tracer les courbes de position sérielle des participants et des modèles. La position d'entrée correspond à la position à laquelle un

---

7. c'est un exemple fictif car, dans les expériences de mémorisation, les lettres ne suivent jamais l'ordre alphabétiques.

#### 4.4 *Au-delà des réponses moyennes correctes*

item est encodé et la position de sortie correspond à la position à laquelle un item est rappelé. Si l'on reprend l'exemple de rappel (liste encodée : « A B C D E F » et liste rappelée : « A C C . H F »), la courbe de position sérielle des omissions sera différente selon que l'on utilise la position d'entrée ou la position de sortie en abscisse. En effet, en sortie, une seule omission apparaît et se place à la position 4. Au contraire, en entrée, les lettres B, D et E ont été omises et donc il y a trois omissions au total qui se répartissent sur les positions d'entrée 2, 4 et 5. Il semblerait que les réponses selon la position de sortie donnent des informations sur la façon dont les participants rappellent les items alors que les réponses selon la position d'entrée donnent davantage d'informations sur la façon dont les items sont maintenus en MDT au cours de la tâche d'empan complexe. Bien que, dans le cadre de cette thèse visant la compréhension des mécanismes de maintien en MDT, ce soit ce dernier cas qui nous intéresse le plus, nous analyserons les deux types de courbes de position sérielles (selon la position d'entrée mais aussi de sortie).

Dans la suite, nous commencerons par présenter en détail, selon les trois expériences, le comportement des participants selon la courbe de position de sortie et d'entrée. Puis, nous présenterons globalement les prédictions des modèles TBRS\* et SOB-CS au regard des résultats comportementaux présentés.

##### **4.4.1 Analyse par position sérielle chez les humains**

Une particularité des modèles est de simuler le rappel dans l'ordre sériel. Si l'on veut comparer au mieux nos données expérimentales à celles des données de simulation de ces modèles, il est donc important de spécifier aux participants de faire un rappel sériel dans l'ordre. Ainsi, nous avons observé les performances de rappel correctes dans l'ordre selon la position d'entrée ou de sortie<sup>8</sup> et nous constatons que les performances des participants ont globalement tendance à diminuer à mesure que la position dans la liste avance.

Lorsque l'ordre de rappel n'est plus pris en compte (i.e., lorsque l'on considère qu'une réponse est correcte s'il s'agit d'un item présenté dans la liste, que la position à laquelle il est rappelé corresponde ou non à la position à laquelle il a été présenté), les performances générales augmentent et surtout, nous notons que le gain se situe davantage sur les items encodés en fin

---

8. Comme on peut le voir sur le graphique 4.15, dans le cas où l'on analyse les pourcentages de réponses correctes dans l'ordre, la position de sortie est équivalente à la position d'entrée. En effet, la réponse est correcte si l'item encodé à la position d'entrée est rappelé à la position de sortie.

#### CHAPITRE 4 : *Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?*

de liste (voir figure 4.16 / courbe « entrée »). Cela indique peut être que plus le nombre d'items à encoder augmente, plus les participants ont des difficultés à relier les items à leur position et se contentent de mémoriser les items dans un ordre quelconque. D'ailleurs, si l'on observe les erreurs de transposition, on constate que celles-ci augmentent avec la position d'entrée dans la liste (voir figure 4.18 / courbe « entrée »). Concernant les performances de rappel correct sans prise en compte de l'ordre (voir figure 4.16 / courbe « entrée »), nous n'observons pas d'effet de récence très marqué comme dans les tâches de rappel libre (Glanzer, 1972). Cela est sûrement dû à la consigne de rappel dans l'ordre et au fait que les participants ne rappelaient pas le dernier item qu'ils avaient vu en premier.

Les courbes des performances de rappel correctes dans le désordre selon la position de sortie (voir figure 4.16 / courbe « sortie ») montrent une baisse importante des performances à mesure que la position de rappel est proche de la fin de la liste. Ces résultats semblent cohérents car quand les participants ne se souviennent plus de l'ordre, ils vont rappeler les items dont ils se souviennent en premier. Ainsi, les positions de la fin sont souvent laissées sans réponse. D'ailleurs, la figure 4.17 (courbe « sortie ») montre effectivement que le taux d'omissions augmente à mesure que la position de sortie augmente. Par conséquent, les erreurs de transposition selon la position de sortie se situent davantage sur les positions du milieu, comme on peut le voir sur la figure 4.18 (courbe « sortie »).

Nous n'avons pas présenté les graphiques concernant les erreurs de répétition et d'intrusion car les participants font très peu ce type d'erreur dans nos trois expériences. En moyenne, les participants ont fait 0.2% d'erreurs de répétition et 1.5% d'erreurs d'intrusion. Il a été observé dans des tâches d'empan simples que les erreurs d'intrusion étaient souvent des erreurs de protrusion. C'est-à-dire que l'intrus rappelé à la position  $i$  dans l'essai  $n$  correspondait à l'item de la même position dans l'essai  $n-1$  (Conrad, 1960 ; Henson, 1999). Cependant, nous ne nous intéressons pas à ce type d'erreurs ici car TBRS\* et SOB-CS ne sont pas en mesure de considérer les essais les uns en fonction des autres. En effet, à chaque nouvel essai, la matrice est remise à jour. Une erreur d'intrusion dans ces modèles correspond simplement à un item n'appartenant pas à la liste de l'essai courant.

Globalement, nous observons, à travers les trois expériences, des schémas très similaires pour chaque type de réponses. Les effets de position que nous observons sont donc assez robustes. Une exception est observée sur le taux de transposition du dernier item (position d'en-

#### 4.4 Au-delà des réponses moyennes correctes

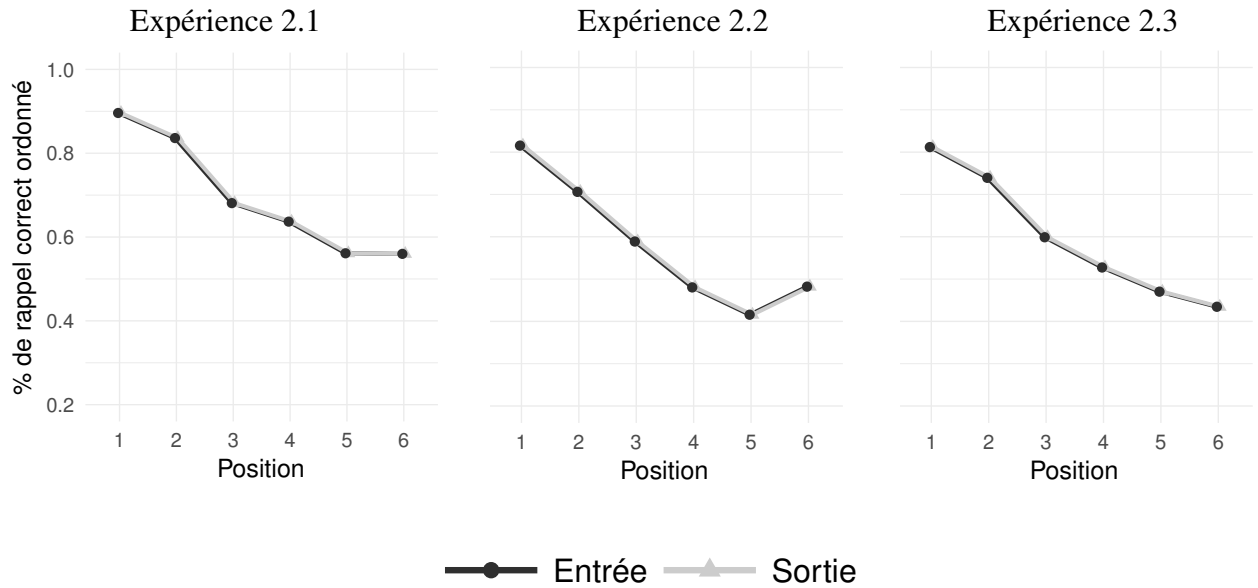


FIGURE 4.15 – Pourcentages d’items rappelés correctement en prenant en compte l’ordre en fonction de la position de sortie et de la position d’entrée pour les trois expériences.

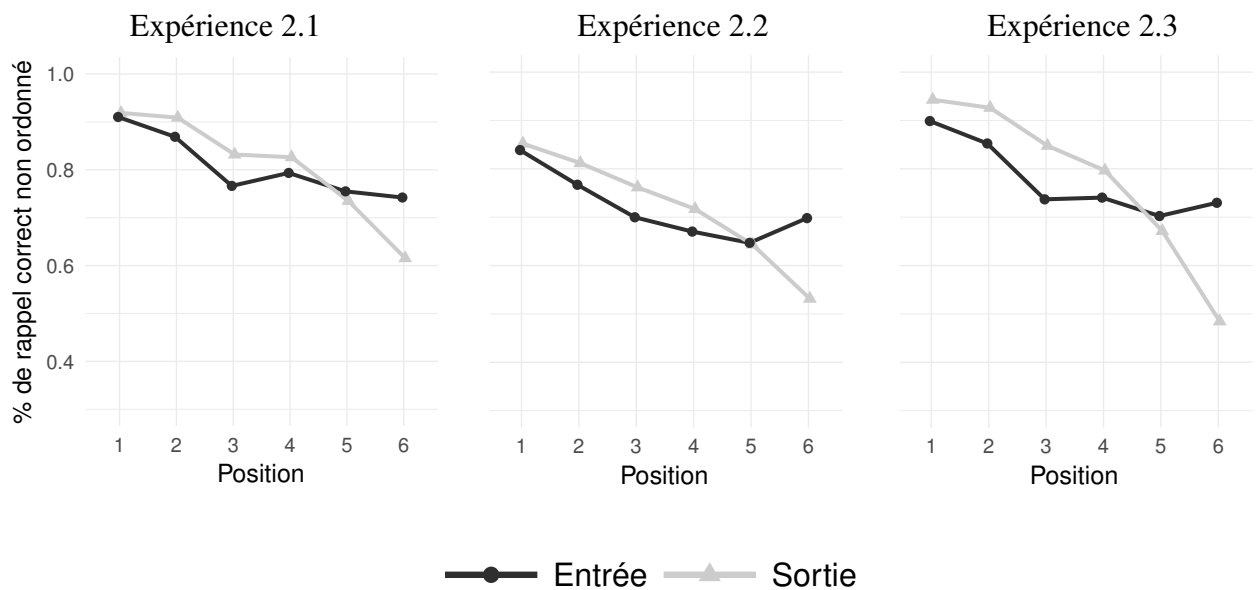


FIGURE 4.16 – Pourcentages d’items rappelés correctement sans prendre en compte l’ordre en fonction de la position de sortie et de la position d’entrée pour les trois expériences.

CHAPITRE 4 : Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?

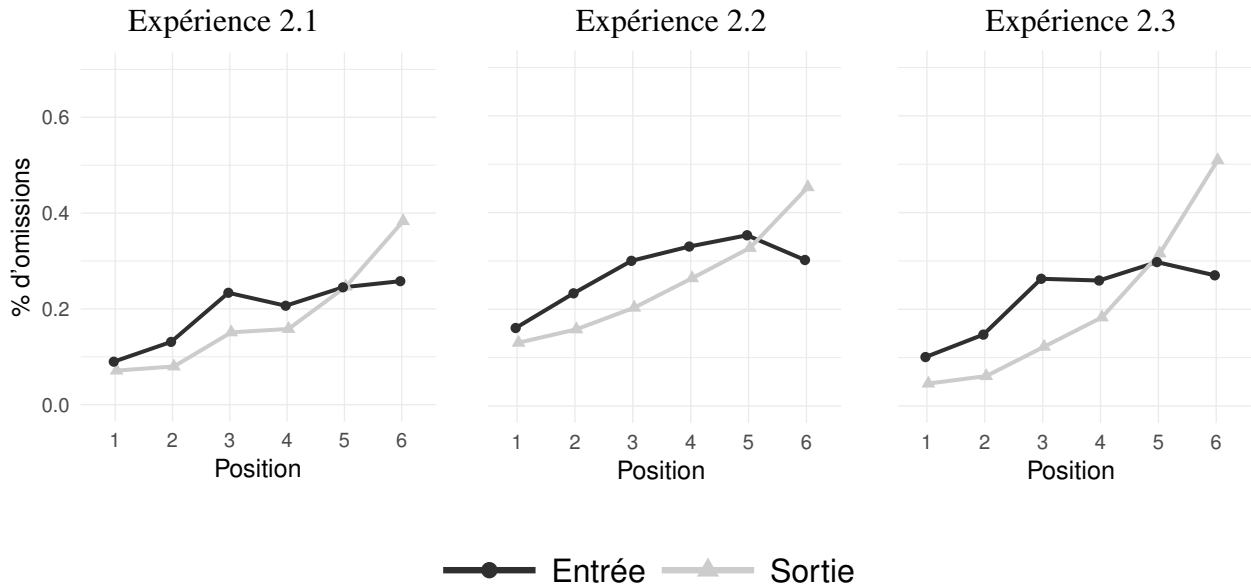


FIGURE 4.17 – Pourcentages d'erreurs d'omission des participants en fonction de la position de sortie et de la position d'entrée pour les trois expériences.

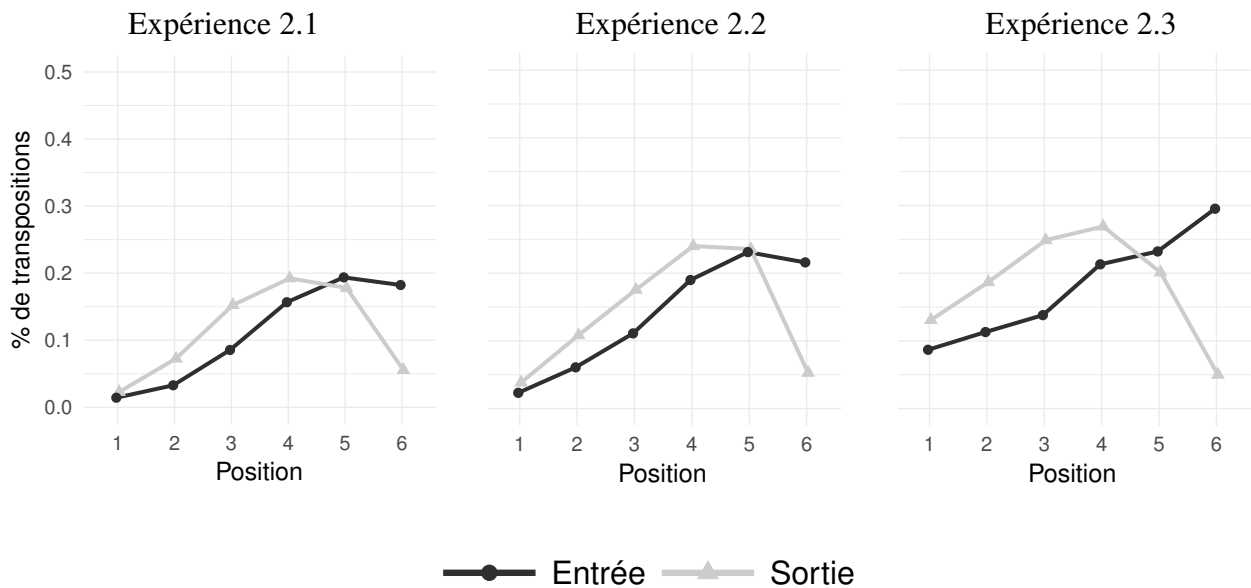


FIGURE 4.18 – Pourcentages d'erreurs de transposition des participants en fonction de la position de sortie et de la position d'entrée pour les trois expériences.

#### 4.4 Au-delà des réponses moyennes correctes

trée) de la troisième expérience. Effectivement, dans l'expérience 2.3, le dernier item est plus souvent transposé que l'item précédent alors que dans les expériences 2.1 et 2.2, il semblerait que le dernier item de la liste bénéficie d'un avantage concernant sa position d'encodage. Les participants peuvent se souvenir du dernier item qu'ils ont vu et donc relier cet item à la position 6. Il se peut que dans l'expérience 2.3, la consigne de l'ordre soit moins bien respectée par les participants et qu'ils concentrent leur attention plutôt sur les items que sur l'ordre. Notons que pour la troisième expérience trois expérimentateurs différents ont fait passer l'expérience alors que pour les expériences 2.1 et 2.2, un même expérimentateur a fait passer l'expérience. Nous allons maintenant présenter le comportement des modèles SOB-CS, TBRs\* et TBRs\*<sub>laf</sub> au regard de ces différentes mesures des performances de mémorisation.

#### 4.4.2 Analyse par position sérielle chez les modèles

Les modèles SOB-CS, TBRs\* et TBRs\*<sub>laf</sub> ont été simulés avec les valeurs par défaut présentées dans le chapitre 2, excepté pour la valeur du paramètre  $\theta$  du modèle SOB-CS que nous avons fixé à 0.05, comme dans le modèle TBRs\*, afin d'autoriser les erreurs d'omission.

##### SOB-CS

Globalement, SOB-CS ne reproduit pas très bien les courbes de position sérielle des participants. Premièrement, les prédictions de SOB-CS sont assez similaires que l'on trace les courbes selon la position d'entrée ou la position de sortie. Ce constat peut être observé sur les graphiques de la figure 4.19 représentant les pourcentages de rappel correct non ordonné, les pourcentages d'erreurs d'omission et les pourcentage d'erreurs de transposition. En effet, contrairement aux participants, les erreurs d'omission produites par SOB-CS n'augmentent pas avec la position de sortie. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que, lors de la phase de rappel, SOB-CS n'inclut pas de déclin temporel. Ainsi, le temps qui s'écoule entre le premier item et le dernier item à rappeler n'a pas d'impact délétère sur les liens d'activation des items à rappeler. Au contraire, à mesure que l'on avance dans le rappel, SOB-CS efface les items rappelés et donc amoindrit la déformation de la MDT. Il semblerait donc que le modèle SOB-CS, en l'état actuel, ne soit pas capable de générer une courbe d'erreur d'omission selon la position de sortie similaire à celle des participants. Cependant, cette proposition reste à tester à travers des simulations

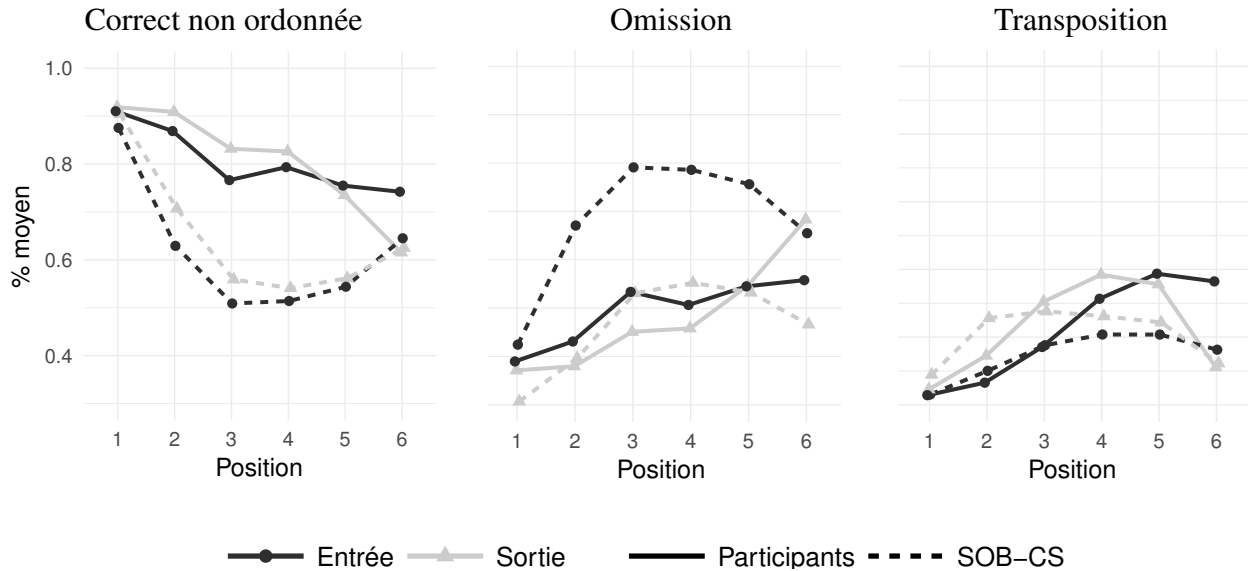


FIGURE 4.19 – Résultats de simulation du modèle SOB-CS de l'expérience 2.1 uniquement. Les résultats de simulation des expériences 2.2 et 2.3 sont quasiment identiques.

incluant différents paramètres. En effet, l'augmentation du bruit  $N_o$  à la sortie pourrait peut être permettre d'augmenter les erreurs d'omission à mesure que la position de sortie augmente sans avoir besoin d'ajouter un déclin temporel. Également, l'ajout, dans SOB-CS, d'un déclin temporel des traces mnésiques au moment du rappel permettrait-il de mieux rendre compte de la courbe des omissions ?

De plus, SOB-CS prédit un nombre d'erreurs d'intrusion trop important (18%) par rapport aux participants (1.5%). Ce pourcentage d'intrusions est même supérieur aux erreurs de transposition (10% selon la position de sortie et 7% selon la position d'entrée) produites par le modèle. Selon ce modèle, les erreurs de transposition sont dues à la fois au recouvrement entre les positions et aux similarités entre la version déformée et les candidats encodés en MDT. Les erreurs d'intrusion sont, quant à elles, uniquement dues aux similarités entre les candidats potentiels et la version déformée lors de la phase de rappel. Au vu de ces résultats, il semblerait donc que SOB-CS prédise que la confusion via la similarité entre les candidats est plus importante que la confusion via le recouvrement des positions. Une manière d'améliorer le modèle SOB-CS serait peut être de diminuer la similarité entre les candidats ou d'amoinrir le nombre de candidats qui s'élève à 81 vecteurs dans la version par défaut du modèle SOB-CS. Cependant, ce nombre

#### 4.4 Au-delà des réponses moyennes correctes

de candidats est arbitraire et ne représente pas une réalité psychologique, il est donc peut être surestimé.

Enfin, SOB-CS prédit 15 fois plus d'erreurs de répétition (3%) que les participants (0.2%). Nous notons que les erreurs de répétition produites par SOB-CS ne dépendent pas de la position de sortie. Toutefois, l'item le plus répété est celui qui a été encodé à la première position. Il paraît cependant étonnant d'observer des erreurs de répétition sachant que les items, une fois rappelés, sont effacés de la matrice. Une possibilité serait qu'un item  $i$ , encodé à la position  $i$ , a pu déformer les items qui suivent et/ou les items qui précèdent car les positions ne sont pas totalement indépendantes les unes des autres de par leur recouvrement. Ainsi, même si le lien « position  $i$ -item  $i$  » est effacé lors du rappel, des traces de l'item  $i$  peuvent encore exister sur les positions contiguës. Ainsi, une erreur de répétition est possible. Toutefois, comme nous l'avons remarqué plus haut, les participants ne produisent quasiment aucune erreur de répétition.

#### **TBRS\***

Pour commencer, le modèle TBRS\* sous-estime les performances de rappel correct non ordonné selon la position d'entrée, et par conséquent, il surestime les erreurs d'omission ainsi que les erreurs de transposition selon la position d'entrée. Ensuite, nous avons constaté que le modèle TBRS\* reproduit mieux l'allure des courbes de position sérielle de sortie que SOB-CS. En effet, TBRS\* prédit l'augmentation des erreurs d'omission avec la position de sortie, comme chez les participants (voir le graphique central de la figure 4.20). Cette augmentation peut être due au déclin temporel. En effet, au moment du rappel sériel, à mesure que l'on rappelle les items en position 1, puis en position 2, ainsi de suite jusqu'au dernier item de la liste, l'activation des autres items, qui n'ont pas encore été rappelés, décline. Toutefois, nous avons constaté que, même en neutralisant le déclin lors du rappel (c'est-à-dire en fixant le paramètre  $D$  à 0), les proportions d'omissions, certes, diminuaient mais la forme de la courbe restait inchangée. Il semblerait donc que le déclin temporel, pendant la phase de rappel, ne soit pas la seule cause de l'observation d'une augmentation des erreurs d'omission avec la position. Des recherches plus approfondies seraient donc nécessaires pour mieux comprendre pourquoi TBRS\* prédit une augmentation des erreurs d'omission sur les dernières positions de rappel.



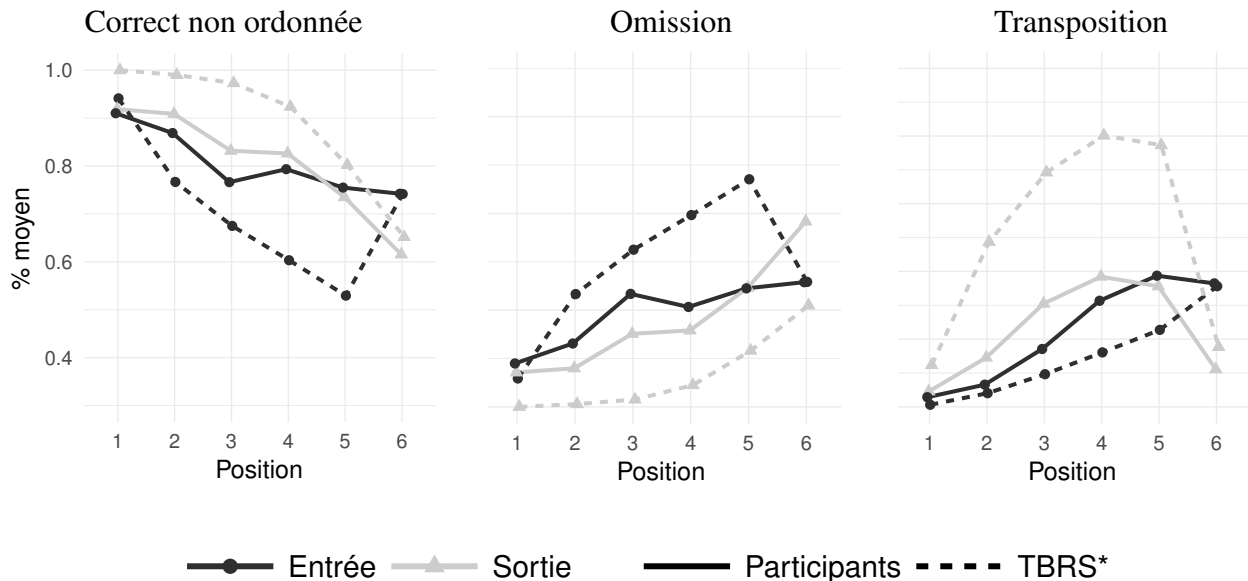


FIGURE 4.20 – Résultats de simulation du modèle TBRS\* de l'expérience 2.1 uniquement. Les résultats de simulation des expériences 2.2 et 2.3 sont quasiment identiques.

De plus, le modèle TBRS\* parvient mieux que SOB-CS à modéliser la forme en U inversé pour les erreurs de transposition selon la position de sortie (voir le graphique situé à droite de la figure 4.20). Cependant, bien que la forme en U inversé soit bien reproduite, le pourcentage d'erreurs de transposition sont surestimées par rapport aux participants. Également, même si TBRS\* prédit 4% en moyenne d'erreurs d'intrusion (1.5% chez les participants), il reste meilleur que SOB-CS qui surestime largement ce type d'erreur (18% pour rappel). Pour finir, le modèle TBRS\* montre à nouveau un avantage par rapport à SOB-CS vis à vis de sa capacité à produire des courbes distinctes selon la position d'entrée et la position de sortie comme c'est le cas chez les participants (voir la figure 4.20).

Cependant, le modèle TBRS\* a une limite importante concernant les erreurs de répétition. En effet, 80% des erreurs de transposition que l'on observe sur le graphique de droite de la figure 4.20 sont, en fait, des erreurs de répétition. Par exemple, supposons que le participant ne rappelle que des A (« AAAAAA »). On notera qu'il y a eu une erreur de transposition en position 2, 3, 4, 5 et 6. Les erreurs de répétition permettent d'indiquer que ces erreurs de transposition sont également des erreurs de répétition. Nous constatons que TBRS\* ne permet pas, en l'état actuel, de rendre compte réellement des erreurs de transposition produites par les participants humains.

#### 4.4 *Au-delà des réponses moyennes correctes*

En effet, pour TBRS\*, une erreur de transposition est presque toujours accompagnée d'une erreur de répétition alors que chez les participants, les erreurs de transposition sont souvent des inversions entre deux items ou des décalages de tout un groupe d'items (Henson, 1998).

Nous avons essayé de comprendre pourquoi le modèle TBRS\* produisait autant d'erreurs de répétition. Nous proposons une explication à l'aide d'un exemple qui décortique, pas à pas, le comportement du modèle. Supposons que la liste à mémoriser soit « ABCDEF ». Après avoir encodé l'item « A » et pendant les phases de temps libre, le modèle va rafraîchir l'item en position 1 afin de le maintenir en mémoire. Pour cela, l'item en position 1 doit être récupéré avant de réactiver le lien entre l'item et la position 1. L'item « A » est récupéré et le lien « position 1-ItemA » est réactivé si le modèle ne fait pas d'erreur. À ce stade de l'expérience, il est peu probable de faire une erreur, sauf si la tâche distractive est suffisamment longue pour que l'activation entre l'item et la position décline considérablement. Ensuite, l'item « B » en position 2 est présenté et encodé. Pendant toute la phase d'encodage de ce second item, les liens d'activation entre l'item « A » et la position 1 vont décliner. Une fois l'item « B » encodé, vient la phase de temps libre où le modèle va pouvoir rafraîchir, cumulativement et séquentiellement, l'item en position 1 puis l'item en position 2 puis à nouveau l'item en position 1 puis l'item en position 2 etc. Imaginons que le modèle fasse une erreur et rappelle l'item « B » en position 1 au lieu de l'item « A ». Alors, l'item « A » qui était déjà trop faible face à l'item « B » pour être rappelé en position 1 va décliner encore davantage pendant le rafraîchissement de l'item « B » en position 1. Lorsque le modèle récupérera l'item en position 2, il est beaucoup plus probable que l'item « B » soit récupéré en position 2 plutôt que l'item « A » qui avait déjà perdu face à l'item « B ». Non seulement l'item « B » a été encodé en position 2 mais, en plus, certains liens entre la position 2 et l'item « B » ont été renforcés lorsque l'item « B » a été rafraîchi en position 1 car les vecteurs de positions conjointes partagent certaines valeurs. Il est donc très peu probable que l'item « A » soit récupéré en position 2 car non seulement il a déjà perdu le combat en position 1, et, en plus, ses liens avec la position 1 (qui partage certains noeuds avec la position 2) ont décliné pendant que « B » était erronément rafraîchi à cette position. On comprend à l'aide de cet exemple comment le modèle va principalement générer des erreurs de répétition qui pourraient être interprétées comme des erreurs de transposition. Cet exemple montre que non seulement les erreurs de répétition sont majoritairement contiguës mais qu'en plus il sera très peu probable de faire des erreurs de transposition similaires à celles des participants telle que l'inversion entre

deux items contigus.

Des recherches futures visant l'amélioration de TBRS\* pourront se baser sur ces données. Qu'en est-il des erreurs de transposition et de répétition lorsque le rafraîchissement est non-cumulatif ? La production d'erreur de transposition / répétition par le modèle TBRS\*<sub>laf</sub> est-elle améliorée par un mécanisme de rafraîchissement alternatif adaptant l'ordre de rafraîchissement au niveau d'activation de chaque item ?

### TBRS\*<sub>laf</sub>

Selon le modèle TBRS\*<sub>laf</sub> (Lemaire et al., 2017), l'effet de récence observé sur les performances de rappel correct est bien plus marqué que celui du modèle TBRS\* qui semblait déjà être trop important comparé aux participants (voir graphique à gauche de la figure 4.21). On constate même que l'item encodé en position 6 n'est quasiment jamais omis et est mieux rappelé que l'item encodé en position 1.

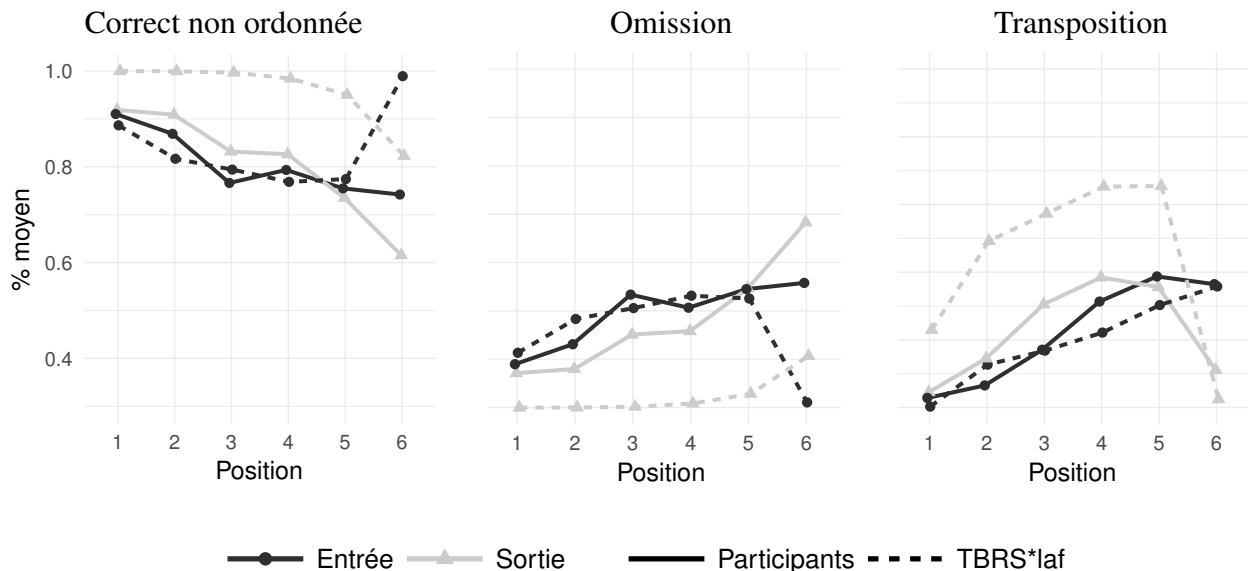


FIGURE 4.21 – Résultats de simulation du modèle TBRS\*<sub>laf</sub> de l'expérience 2.1 uniquement. Les résultats de simulation des expériences 2.2 et 2.3 sont quasiment identiques.

Par ailleurs, les erreurs de répétition sont toujours trop élevées avec le modèle TBRS\*<sub>laf</sub> par rapport aux participants. En effet, TBRS\*<sub>laf</sub> prédit que 60% des erreurs de transposition sont des erreurs de répétition. Cela suppose que le décours temporel du rafraîchissement n'est pas la

#### 4.4 Au-delà des réponses moyennes correctes

cause principale d'un taux d'erreurs de répétition très élevée. Des recherches ayant pour objectif de réduire ces erreurs de répétition et de reproduire des erreurs de transposition plus semblables à celles des humains semblent nécessaires pour la viabilité de ce modèle.

#### 4.4.3 Conclusion

L'analyse des différents types d'erreurs a montré certaines limitations des modèles TBRS\*<sup>9</sup> et SOB-CS. En conclusion, nous souhaitons reprendre deux limitations majeures qui nous semblent intéressantes à explorer pour des recherches futures.

Premièrement, TBRS\* simule beaucoup trop d'erreurs de répétition. À première vue, ce modèle simule très bien les erreurs de transposition des participants. Cependant, si l'on observe en détail ce que représente ces erreurs de transposition, on constate que le modèle TBRS\* simule principalement des erreurs de répétition. Une perspective serait donc de trouver un moyen d'empêcher ces erreurs de répétition, et de voir si TBRS\* est alors capable de reproduire des erreurs de transposition plus probables telles que des inversions entre des items. Nous pensons qu'une amélioration en ce sens serait une piste intéressante. En effet, Lewandowsky et Oberauer (2015) ont constaté que l'ajout du mécanisme de récapitulation subvocale dans TBRS\* augmentait dramatiquement les erreurs de répétition (plus de 50% des réponses étaient des erreurs de répétition) et, par conséquent, abaissait les performances de rappel. D'après le titre de leur article *Rehearsal in serial recall : An Unworkable Solution to the Nonexistent Problem of Decay*, c'est l'hypothèse du déclin temporel qui rendrait ce problème de répétition insoluble. Cependant, la question reste ouverte : les erreurs de répétition sont-elles réellement un problème sans solution dû à l'hypothèse du déclin temporel ? Et, au contraire, pouvons-nous trouver un modèle computationnel permettant de combiner déclin et rafraîchissement sans nécessairement créer des erreurs de répétition ? Dans ce cas, en trouvant une solution face au problème de génération de répétitions, nous pourrions à nouveau tester le modèle TBRS\* avec les deux mécanismes de maintien proposés par TBRS.

Deuxièmement, le modèle SOB-CS ne parvient pas à reproduire la manière dont les participants rappellent. Notamment, le pourcentage d'erreurs d'omission en fin de liste est moins important que celui en milieu de liste, contrairement aux données des participants. Ce résultat

---

9. Nous ne distinguerons pas TBRS\* et TBRS\*<sub>laf</sub> dans cette conclusion, car les résultats ont montré que ces deux modèles se comportaient de manière très semblable pour ce qui concerne la production d'erreurs.

nécessite de plus amples explications. En effet, cette allure de courbe, très bien représentée par TBRS\*, serait-elle due, justement, au déclin temporel lors du rappel, mais aussi lors de la tâche ? Une investigation en ce sens pourrait peut-être apporter également des réponses sur le débat déclin/interférence en MCT. L'analyse des erreurs selon la courbe de position sérielle est une piste de recherche qui semble intéressante à suivre pour la suite afin de tester en détail un modèle computationnel et ses mécanismes.

## **4.5 Conclusion générale**

À travers ce chapitre, nous avons tout d'abord testé les prédictions des modèles TBRS\* et SOB-CS concernant l'effet du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe. L'intérêt même de l'effet du nombre de distracteurs semble important, car la particularité du système de MDT est de parvenir à maintenir ainsi qu'à traiter des informations.

Pour rappel, d'après TBRS\*, l'ajout de perturbations ne peut qu'être délétère sur les performances de mémorisation, sauf si le temps libre suivant chaque perturbation est suffisamment long pour réactiver totalement les items à maintenir avant le prochain épisode. D'après SOB-CS, et dans les conditions de notre tâche de MDT verbale utilisant des mots à mémoriser et des lettres à traiter, les perturbations créent peu d'interférence et par conséquent, aucun effet du nombre de perturbations n'est attendu. Par opposition à ces deux modèles, deux expériences comportementales ont montré que l'augmentation du nombre de perturbations avait un effet positif sur le maintien des items en MDT. Nous avons constaté que cet effet avait déjà été observé mais sur des performances de MLT (McCabe, 2008). Nous avons donc fait l'hypothèse que notre tâche faisait appel à la MLT. À l'aide d'une troisième expérience, nous avons alors confirmé cette hypothèse, ainsi que les principales hypothèses du modèle récent TBRS (Barrouillet & Camos, 2015). En effet, nous avons observé que le maintien des items provenant de la MDT est sensible uniquement au CC de la tâche, alors que le maintien des items en MLT est sensible au nombre d'opportunités de rafraîchissement. De plus, nos résultats semblent être en faveur d'un effet du temps libre cumulé sur les performances en MLT comme prédit par TBRS.

En conséquence, nous avons appris à travers ces trois expériences que les modèles TBRS\* et SOB-CS ne permettent pas de rendre compte en totalité les performances en tâche d'empan complexe, étant donné qu'ils ne font pas appel à la MLT, contrairement aux participants. Une

#### 4.5 Conclusion générale

solution serait alors d'étendre ces modèles en ajoutant des liens avec la MLT. Mais quels seraient ces liens et comment la MLT serait-elle ajoutée ? De nombreux chercheurs s'intéressent déjà aux liens entre la MDT et la MLT (p.ex., Baddeley, 2000 ; Camos & Portrat, 2015 ; Craik & Lockhart, 1972 ; Ericsson & Kintsch, 1995 ; Loaiza et al., 2014 ; McCabe, 2008 ; Rose & Craik, 2012 ; Rose, Buchsbaum, & Craik, 2014). Par exemple, Ericsson et Kintsch (1995) proposent un modèle de MDT (*the long-term working memory*) qui suppose que les connaissances en MLT peuvent être utilisées pour surpasser la capacité limitée de la MDT. De ce point de vue, les connaissances déjà présentes en MLT ont un impact sur les performances de rappel dans une tâche de MCT ou de MDT. Plusieurs entités (les pièces disposées sur un jeu d'échec par exemple) peuvent être regroupées en une seule entité et c'est ce que l'on nomme *chunking*. Mais, ce que l'on souligne surtout dans notre expérience 2.3 est plutôt le fait de faire de nouveaux *chunks* au cours de la tâche d'empan complexe. L'idée est qu'une tâche d'empan complexe serait favorable à la création de nouveaux *chunks* qui n'existent pas encore en MLT.

Pour finir ce chapitre, nous avons étudié la capacité des modèles à simuler la courbe de position sérielle des différents types de réponses. Ces résultats ont montré que ces modèles ont certaines lacunes qui semblent importantes à combler. Ce travail est une piste de recherche sur l'amélioration des modèles TBRS\* et SOB-CS.

Dans le chapitre qui suit, nous nous sommes intéressés à la MDT dans le vieillissement. En effet, nous savons que celle-ci est déficitaire chez les personnes âgées. L'idée a été d'utiliser les modèles computationnels pour apporter des éventuelles réponses concernant ce déficit.

## CHAPITRE 4 : *Comment maintenons-nous l'information face aux distracteurs ?*

## **Chapitre 5**

### **Étude de la MDT dans le vieillissement**



La MDT étant centrale à nos activités du quotidien, son bon fonctionnement est d'une grande importance tout au long de notre vie. Au cours de l'enfance, ce système est fortement lié au développement intellectuel (Camos & Barrouillet, 2011). Et, au cours du vieillissement normal, les performances de MDT déclinent avec l'âge (Logie & Morris, 2015) pour des raisons qui ne sont pas encore bien comprises. Grâce aux progrès de la médecine, nous vivons jusqu'à des âges de plus en plus avancés et nous avons besoin de comprendre les causes d'un tel déclin pour trouver des moyens préventifs. En conséquence, de nombreux chercheurs s'intéressent aux causes du déclin cognitif dans le vieillissement normal (p. ex., Loaiza & Oberauer, 2016; Luo & Craik, 2008). Plusieurs explications concernant la diminution des performances de la MDT dans le vieillissement ont été avancées et la question reste ouverte. Nous proposons de contribuer à ce débat en utilisant deux approches : une approche comportementale et une approche computationnelle.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés spécifiquement à l'impact du vieillissement sur le rafraîchissement attentionnel d'informations verbales. En effet, une cause probable du déclin de la MDT chez les personnes âgées (noté PA par la suite) serait un déficit des mécanismes de maintien, et plus précisément, du rafraîchissement attentionnel (Loaiza & McCabe, 2013). Cette étude comportementale sera présentée dans la première section de ce chapitre.

Dans un deuxième temps, nous avons utilisé la modélisation computationnelle afin de mieux comprendre les causes du déficit de la MDT avec l'âge selon les modèles TBRS\* (Oberauer & Lewandowsky, 2011) et SOB-CS (Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012). Pour le moment, ces modèles simulent uniquement les performances des personnes jeunes (noté PJ par la suite). Bien que ces modèles nécessitent encore des améliorations pour simuler les PJ, les résultats des simulations permettront d'éclairer le champ des possibles facteurs liés au vieillissement normal. Nous avons commencé par simuler des données comportementales d'une expérience déjà menée auprès de PA en amont de cette thèse. Puis nous avons reproduit la méthode d'adaptation des paramètres à notre expérience 3 du chapitre 4 afin de confirmer ou d'infirmer les premiers résultats obtenus.

## 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

De manière générale, le système cognitif change avec l'âge. Plus spécifiquement, Bopp et Verhaeghen (2005) ont montré à travers un ensemble d'études que les PA avaient de moins bonnes performances que les PJ dans un large panel de tâches d'empan verbales. Différentes explications concernant les déficits de la MDT avec l'âge sont proposées dans la littérature (voir par exemple Loaiza & Oberauer, 2016, pour une revue de la littérature). L'une d'entre elles concerne la possibilité d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel (p. ex. Loaiza & McCabe, 2013 ; Johnson et al., 2002). Historiquement, Craik et Byrd (1982) ont montré que les personnes âgées auraient des déficits de ressources attentionnelles (ou « d'énergie mentale »). Le rafraîchissement étant un mécanisme nécessitant de l'attention, il est donc fortement probable que celui-ci soit déficitaire avec l'âge.

Johnson et al. (2002) ont été les premiers à explorer l'existence d'un déficit potentiel du rafraîchissement attentionnel chez les PA. Leur paradigme consistait à présenter une liste de mots où chacun d'eux pouvait être lu une seule fois (*single-presentation condition*), immédiatement répété (*repeat condition*) ou suivi par un (●) qui signalait que les participants devaient penser au mot qui venait d'être présenté et le dire à voix haute (*refresh condition*). Les temps de réaction pour dire un mot (lu, répété ou rafraîchi) et les performances lors d'une tâche de reconnaissance à plus long terme ont été enregistrés. Les résultats ont montré que les PA étaient plus lents à rafraîchir les mots que les PJ. De plus, un effet d'interaction entre le groupe d'âge et la condition de présentation (lu ou rafraîchi) sur la reconnaissance à long terme est observé : les PA bénéficiaient moins de la condition de rafraîchissement que les PJ. Johnson, Mitchell, Raye, et Greene (2004) ont répliqué ces résultats à travers une étude de neuro-imagerie utilisant la technique d'IRMf (*Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle*). Le déficit d'un rafraîchissement chez les PA a été répliqué au niveau comportemental et ce déficit était accompagné d'une réduction de l'activation de la zone corticale pré-frontale gauche (GFm), qui serait une zone impliquée lors du rafraîchissement d'informations (Raye et al., 2002).

D'autres chercheurs se sont également intéressés à l'effet du vieillissement sur le rafraîchissement attentionnel ainsi que sur la récapitulation subvocale. Loaiza et McCabe (2013) ont montré que la récapitulation subvocale n'était pas impactée par l'âge contrairement au méca-

nisme de rafraîchissement attentionnel. Ils ont utilisé la tâche d'empan complexe suivi d'un rappel différé afin de tester à la fois la MDT et la MLT chez les PJ et chez les PA. Dans une première expérience, les opportunités de récapitulation subvocale ont été manipulées en comparant deux conditions de lecture d'une opération arithmétique (p. ex.  $4 \times 8 = 24$  ?). Dans la première condition, la lecture était continue (présentation des segments de l'opération séquentiellement à l'écran : « 4 », puis « 4x », puis « 4x8 » etc.) obligeant le participant à articuler tout au long de la tâche de traitement et ainsi, empêchant la mise en place de la boucle phonologique. Dans la deuxième condition, le temps total entre deux mémoranda était identique à la première condition, mais le participant pouvait lire en une seule fois l'opération arithmétique et utiliser le temps restant pour récapituler les items à mémoriser. Les résultats ont montré une baisse de performances dans la première condition (blocage continu) par rapport à la deuxième condition dans les deux groupes en MDT mais pas en MLT. L'absence d'effet de cette condition à long terme a indiqué que la récapitulation subvocale n'aurait pas d'impact sur les performances à long terme. Ensuite, aucun effet d'interaction entre le groupe d'âge et les opportunités de récapitulation n'a été observé, ni à court terme ni à long terme. Ainsi, le mécanisme de récapitulation subvocale chez les PA ne semble pas être déficitaire, car sinon, les auteurs auraient observé une baisse plus importante des performances chez les PA que chez les PJ dans la première condition (blocage continu) par rapport à la seconde condition. Dans une deuxième expérience, le nombre d'opportunités de rafraîchissement a été manipulé en faisant varier le nombre d'opérations entre chaque item (0 vs 1 vs 2 opérations). Les résultats ont montré d'une part que les PA et les PJ étaient affectés de la même manière par la variation des opportunités de rafraîchissement en MDT, indiquant que le rafraîchissement à court terme ne semble pas déficitaire. D'autre part, en MLT, les PA bénéficiaient moins des opportunités de rafraîchissement que les PJ suggérant l'existence d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement chez les PA sur la mémorisation à plus long terme. Ces résultats sont en accord avec ceux observés par Johnson et al. (2002) et par Johnson et al. (2004).

### 5.1 *Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)*

Comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre 4, la variation des opportunités de rafraîchissement peut se faire également en manipulant le CC de la tâche secondaire. À notre connaissance, trois études ont testé l'effet d'interaction entre le CC et l'âge. Premièrement, Baumans et al. (2012, Exp. 2) n'ont pas observé d'interaction entre le CC et l'âge suggérant que le rafraîchissement attentionnel n'était pas impacté par le vieillissement normal. Cependant, d'après une deuxième étude (menée au sein de notre laboratoire et actuellement en révision), l'absence d'interaction observée par Baumans et al. (2012) pourrait être due à l'utilisation cumulée de la récapitulation subvocale et du rafraîchissement attentionnel par les participants. L'utilisation de la boucle phonologique<sup>1</sup> a pu brouiller un éventuel effet d'interaction entre le CC et l'âge. Dans cette seconde étude (en révision), le CC a donc été manipulé tout en contrôlant les opportunités de récapitulation subvocale. Les résultats ont montré, contrairement à Baumans et al. (2012), que les PA bénéficiaient moins d'un CC faible par rapport à un CC élevé que les PJ, suggérant que les PA profitaient moins des temps de rafraîchissement que les PJ. Ces résultats indiqueraient, en accord avec les études de Loaiza ou celles de Jonhson, que le rafraîchissement attentionnel serait atteint chez les PA. Une troisième expérience menée par Plancher, Boyer, Lemaire, et Portrat (2017) a montré une absence d'effet d'interaction entre l'âge et le CC comme montré par Baumans et al. (2012). Là encore, la récapitulation subvocale n'était pas bloquée. Cependant, Plancher et al. (2017) ont observé une double interaction entre l'âge, le CC et le niveau d'interférence des distracteurs. Les PA étaient sensibles aux interférences et l'effet du CC n'était plus observé dans la condition de haute interférence. Ces résultats indiqueraient donc l'existence d'un déficit du rafraîchissement attentionnel chez les PA dans des conditions particulières et difficiles.

De manière générale, les études concernant le déficit d'un rafraîchissement attentionnel chez les PA en rappel à court terme ne sont pas encore très claires. Par contre, les études semblent majoritairement s'accorder sur un déficit de l'impact du rafraîchissement attentionnel sur les performances à plus long terme chez les PA. Actuellement, seulement trois études se sont intéressées à l'interaction entre le CC et l'âge sur les performances de MDT uniquement. Notre objectif a été de tester à nouveau cette interaction et plus particulièrement nous avons voulu observer cet effet d'interaction sur les performances à long terme puisque Johnson et al. (2002,

---

1. Toutefois, nous avons connaissance d'une preuve en faveur d'un déficit potentiel de la récapitulation subvocale chez les PA (Ward & Maylor, 2005).

2004); Loaiza et McCabe (2013) ont montré que le rafraîchissement pouvait moduler les performances à long terme et que celui-ci semble être modulé avec l'âge. Pour cela nous avons fait passer l'expérience 2.3 présentée dans le chapitre précédent à une population âgée. Pour rappel, dans cette expérience nous avons manipulé orthogonalement le nombre de distracteurs (2 vs 8 lettres) et le CC de la tâche (fort ou faible).

Si le rafraîchissement est effectivement déficitaire dans le vieillissement normal, alors nous nous attendons à observer une interaction entre le CC et l'âge en rappel immédiat et en rappel différé. Notons toutefois que notre protocole ne permettant pas de bloquer totalement la boucle articulatoire, l'effet d'interaction entre l'âge et le CC pourrait être brouillé à court terme, d'où l'importance du rappel différé. En effet, Camos et Portrat (2015) ont montré que l'effet du CC était observé également sur des performances à long terme. Plus particulièrement, cet effet était uniquement dû au rafraîchissement attentionnel, la récapitulation subvocale n'ayant pas d'effet sur les performances à long terme. Ainsi, si l'interaction entre le CC et l'âge n'est pas observée à court terme à cause de l'utilisation de la boucle phonologique, celle-ci devrait cependant être observée à long terme.

Par ailleurs, si, comme observé par Loaiza et McCabe (2013), le déficit de la MDT dans le vieillissement normal est liée au *binding* entre l'information et son contexte d'encodage, alors on devrait observer un effet d'interaction entre la variation du nombre d'opportunités de rafraîchissement et l'âge concernant les performances en rappel différé et en rappel immédiat. En effet, Loaiza et McCabe (2012) ont montré que les opportunités de rafraîchissements permettaient de renforcer les liens *content-context* utiles à la récupération à long terme.

De plus, dans l'expérience 2.3 présentée dans le chapitre 4, nous avons supposé que le rappel immédiat dans une tâche d'empan complexe combinait des items provenant de la mémoire primaire et des items provenant de la mémoire secondaire (p.ex. Rose, Myerson, Roediger III, & Hale, 2010). Nous avons alors analysé les effet du CC et du nombre de distracteurs sur les items provenant uniquement de la MDT (*TF*) et sur les items provenant de la MLT au sein du rappel immédiat (*TT*). Globalement, nous avons observé un effet du nombre de distracteurs uniquement sur les items provenant de la MLT et un effet du CC sur les items provenant de la MDT et de la MLT. En complément des analyses sur les performances globales du rappel immédiat et du rappel différé, nous avons donc également analysé l'effet de nos variables *âge*, *nombre de lettres* et *CC* sur le pourcentage de *TF* et sur le pourcentage de *TT*. Nos hypothèses sur *TT*

### 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

sont similaires à celles sur les performances du rappel différé. Cependant, nos hypothèses sur les performances de *TF* sont les suivantes :

- nous nous attendons à observer un effet d'interaction entre le CC et l'âge car si les PA ont un déficit et/ou un ralentissement du processus de rafraîchissement attentionnel, comme observé par Johnson et al. (2002), alors les PA devraient moins bénéficier des séquences de rafraîchissement pendant les phases de temps libre.
- au contraire, nous faisons l'hypothèse qu'aucun effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et l'âge ne devrait être observé car seul le CC agit sur les performances de mémorisation à court terme.

#### 5.1.1 Méthode

**Participants.** Trente-neuf participants âgés (22 femmes) entre 60 et 81 ans (âge moyen = 70.2; SD = 5.5) ont participé à l'expérience volontairement. L'expérience s'est déroulée principalement dans les box expérimentaux du laboratoire comme pour les participants jeunes, excepté 16 participants âgés qui ont réalisé l'expérience à domicile dans des conditions similaires à celles du laboratoire (avec un minimum de distractions externes). Un participant n'a pas été pris en compte dans les analyses car il n'a pas fait la tâche de traitement qui consistait à lire des lettres à voix hautes.

**Procédure et matériel.** L'expérience est identique à l'expérience 2.3 présentée dans le chapitre 4. Le *Mini Mental State Exam* (MMSE) a été utilisé pour vérifier l'absence d'une démence dans le groupe de personnes âgées (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975). Toutes les PA ont atteint un score supérieur à 26 ( $m = 29.2$ ;  $max = 30$ ).

#### 5.1.2 Résultats

Nous avons analysé l'effet des variables intra (CC et Nombre de lettres) et inter (groupe d'âge) sur plusieurs VD : le pourcentage de rappel correct dans l'ordre en rappel immédiat (RI), le pourcentage de rappel correct en rappel différé (RD), le pourcentage de rappel correct uniquement à court terme (*TT*) et le pourcentage de rappel correct rappelé en RI et en RD (*TF*). Pour chaque analyse, nous avons utilisé les modèles linéaires généralisés à effets mixtes (GLMER)

ainsi que la comparaison par AICc, de la même manière que dans les expériences 2.1, 2.2 et 2.3. Voici les huit modèles GLMER d'intérêt permettant de répondre à nos questions, que nous avons créés à l'aide du logiciel R :

$$M_0 \leftarrow VD \sim (1|Sujet)$$

$$M_{Age} \leftarrow VD \sim Age + (1|Sujet)$$

$$M_{Age+CC} \leftarrow VD \sim Age + CC + (1|Sujet)$$

$$M_{Age*CC} \leftarrow VD \sim Age * CC + (1|Sujet)$$

$$M_{Age+NbL} \leftarrow VD \sim Age + NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{Age*NbL} \leftarrow VD \sim Age * NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{Age+NbL*CC} \leftarrow VD \sim Age + CC * NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

$$M_{Age*NbL*CC} \leftarrow VD \sim Age * CC * NombreDeLettres + (1|Sujet)$$

### **Pourcentage d'items correctement rappelés dans l'ordre sériel dans la tâche de rappel immédiat**

Pour rappel, les tableaux de résultats (ici, le tableau 5.1) donne les valeurs des AICc de chacun des modèles, les valeurs de différence d'AICc entre le modèle d'intérêt et le meilleur modèle et les valeurs des poids  $W$  des cinq modèles que l'on souhaite comparer. La figure 5.1 représente les performances chez les PA et chez les PJ en fonction des quatre conditions expérimentales.

Tout d'abord, nous observons que les performances des PA ( $m = 35\%$ ) sont plus faibles que celles des PJ ( $m = 60\%$ ;  $ER = ER_{M_{Age}/M_0} = 47\ 000$ ). Ensuite, les résultats montrent l'existence d'un effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et l'âge ( $ER = ER_{M_{Age*N}/M_{Age+N}} = 13$ ). En effet, les PA bénéficieraient moins du nombre de distracteurs que les PJ. La différence de performances de rappel à court terme entre les conditions avec 2 et 8 distracteurs chez les PJ est de 13% alors qu'elle est seulement de 8.3% chez les PA. En ce qui concerne l'interaction entre le CC et l'âge, les résultats ne permettent pas de conclure ( $ER = ER_{M_{Age+CC}/M_{Age*CC}} = 1.6$ ) et seraient plutôt en faveur d'une absence d'interaction.

### 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

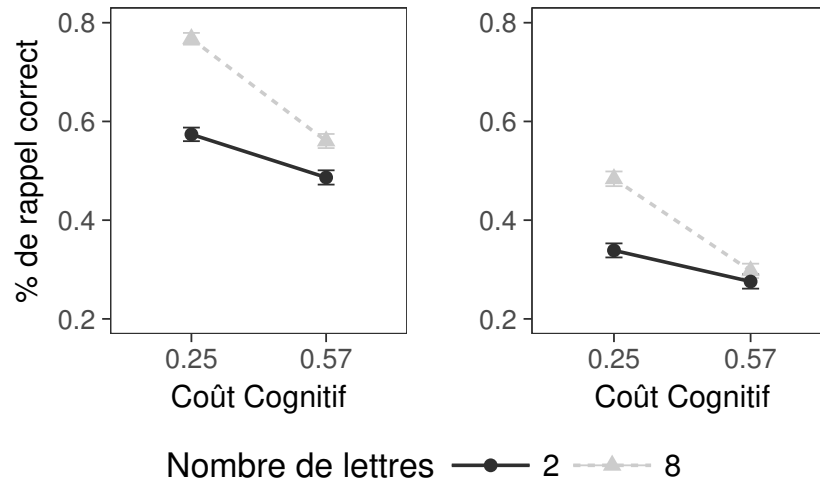


FIGURE 5.1 – Performances de rappel correct moyen dans l’ordre, en rappel immédiat, en fonction du CC et du nombre de distracteurs chez les PJ (à gauche) et chez les PA (à droite).

TABLE 5.1 – Tableau des AICc des huit modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages de rappel correct dans l’ordre en rappel immédiat.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{Age*NbL*CC}$	1817.8	0	0.972
$M_{Age+NbL*CC}$	1824.87	7.07	0.0283
$M_{Age+CC}$	2021.19	203.39	6.63e-45
$M_{Age*CC}$	2022.1	204.3	4.2e-45
$M_{Age*NbL}$	2097.85	280.05	1.49e-61
$M_{Age+NbL}$	2102.94	285.14	1.17e-62
$M_{Age}$	2250.74	432.95	9.43e-95
$M_0$	2272.24	454.44	2.02e-99



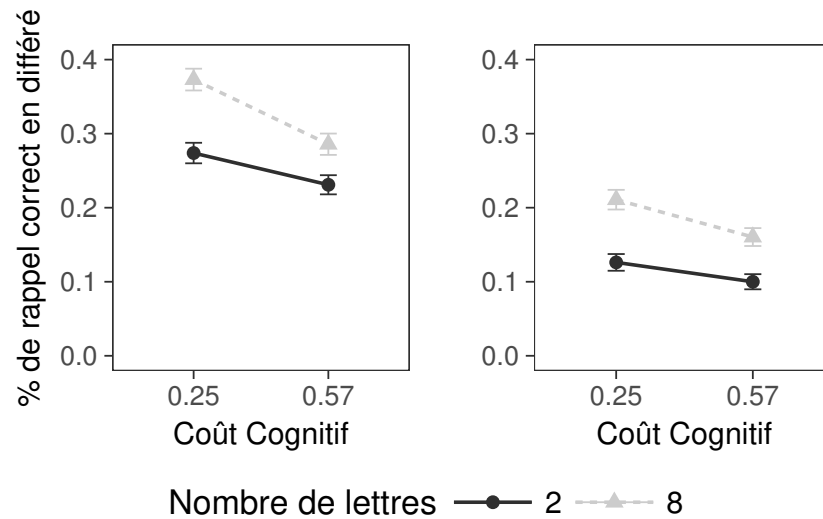


FIGURE 5.2 – Performances de rappel correct en rappel différé en fonction du CC et du nombre de distracteurs chez les PJ (panneau de gauche) et chez les PA (panneau de droite).

### Pourcentage d'items correctement rappelés dans la tâche de rappel différé.

Le tableau 5.2 présente les AICc des différents modèles et la figure 5.2 représente les performances dans la tâche de RD chez les PA et chez les PJ en fonction des quatre conditions expérimentales. Tout d'abord, nous observons que les performances des PA ( $m = 15\%$ ) sont plus faibles que celles des PJ ( $m = 29\%$ ;  $ER = ER_{M_{Age}/M_0} = 1.3e+08$ ). Ensuite, les résultats ne permettent pas de conclure concernant l'existence d'un effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et l'âge ( $ER = ER_{M_{Age*N}/M_{Age+N}} = 2.2$ ). Enfin, les résultats indiquent l'absence d'interaction entre le CC et l'âge ( $ER = ER_{M_{Age+CC}/M_{Age*CC}} = 2.8$ ), contrairement à nos prédictions.

**Pourcentage d'items correctement rappelés à la fois au moment du rappel immédiat et au moment du rappel différé ( $TT$ ).** Concernant les analyses sur les performances  $TT$ , les résultats sont très proches de ceux observés sur les performances de rappel différé (voir tableau 5.3 et figure 5.3). Tout d'abord, nous observons que les performances des PA ( $m = 14\%$ ) sont plus faibles que celle des PJ ( $m = 28\%$ ;  $ER = ER_{M_{Age}/M_0} = 1.8e+08$ )<sup>2</sup>. Ensuite, nous observons

2. Pour les deux groupes, la différences de performances  $TT$  par rapport aux performances en rappel différé est seulement de 1%. Les PA et PJ parviennent à rappeler 1% de mots qu'ils n'avaient pas rappelés lors de la tâche de RI.

### 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

TABLE 5.2 – Tableau des AICc des huit modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages de rappel correct sur le rappel différé.

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{Age+NbL*CC}$	1707.77	0	0.78
$M_{Age*NbL*CC}$	1710.31	2.54	0.22
$M_{Age*NbL}$	1745	37.23	6.43e-09
$M_{Age+NbL}$	1746.57	38.8	2.93e-09
$M_{Age+CC}$	1788.57	80.8	2.22e-18
$M_{Age*CC}$	1790.6	82.83	8.04e-19
$M_{Age}$	1827.02	119.25	9.92e-27
$M_0$	1864.43	156.66	7.47e-35

un effet d'interaction entre le nombre de distracteurs et l'âge ( $ER = ER_{M_{Age*N}/M_{Age+N}} = 2.8$ ). La différence entre 2 et 8 chez les PJ est de 8.1% alors qu'elle est de 7.3% chez les PA. En ce qui concerne l'interaction entre le CC et l'âge, les résultats indiquent l'absence d'interaction entre le CC et l'âge ( $ER = ER_{M_{Age+CC}/M_{Age*CC}} = 2.7$ ).

TABLE 5.3 – Tableau des AIC et des AICc des huit modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages de d'item correctement rappelés en immédiat et en différé (*IT*).

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{Age+NbL*CC}$	1712.55	0	0.703
$M_{Age*NbL*CC}$	1714.28	1.73	0.297
$M_{Age*NbL}$	1751.04	38.49	3.09e-09
$M_{Age+NbL}$	1753.08	40.53	1.11e-09
$M_{Age+CC}$	1803.95	91.39	1e-20
$M_{Age*CC}$	1805.9	93.34	3.78e-21
$M_{Age}$	1842.19	129.63	4.99e-29
$M_0$	1880.16	167.61	2.83e-37

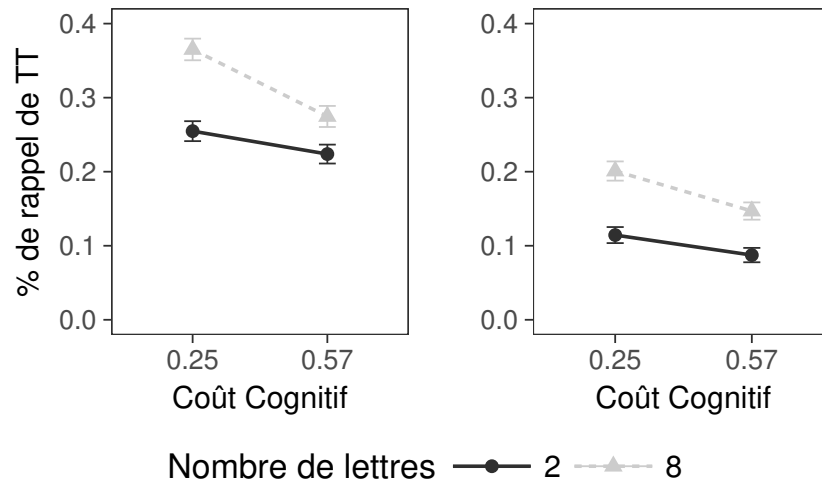


FIGURE 5.3 – Pourcentages d’items correctement rappelés en immédiat et en différé (*TT*) en fonction du CC et du nombre de distracteurs chez les PJ (à gauche) et chez les PA (à droite).

**Pourcentage d’items correctement rappelés uniquement au moment du rappel immédiat (*TF*).**

Le tableau 5.4 et la figure 5.4 résument les résultats obtenues sur les performances *TF*. Tout d’abord, nous observons que les performances des PA ( $m = 50\%$ ) sont égales à celles des PJ ( $m = 50\%$ ;  $ER = ER_{M_0/M_{Age}} = 2.5$ ). Bien que l’ER ne permette pas de conclure, le modèle qui ne prend pas en compte l’effet de l’âge est favorisé. Ensuite, les résultats sont également indécis sur l’existence d’un effet d’interaction entre le nombre de distracteurs et l’âge ( $ER = ER_{M_{Age*N}/M_{Age+N}} = 2.2$ ). La différence entre 2 et 8 chez les PJ est quasiment nulle (0.079%) alors qu’elle est négative chez les PA (-2.3%). En ce qui concerne l’interaction entre le CC et l’âge, les résultats seraient plutôt en faveur d’une absence d’interaction entre le CC et l’âge ( $ER_{M_{Age+CC}/M_{Age*CC}} = 2.4$ ) mais ici encore l’ER est indécis.

**Analyse à posteriori** La figure 5.4 montre que, contrairement au PJ, un effet d’interaction entre le CC et le nombre de lettre existe chez les PA ( $ER_{M_{N*CC}/M_{N+CC}} = 10.5$ ). En effet, les performances de rappel *TF* sont significativement plus faible à 8 lettres ( $m = 13.2\%$ ) qu’à 2 lettres ( $m = 15.1\%$ ) uniquement à CC élevé ( $ER_{M_N^{CC=0.57}/M_0^{CC=0.57}} = 27.8$ ). À CC faible, aucune différence significative est observée entre 2 lettres ( $m = 15.8\%$ ) et 8 lettres ( $m = 16.3\%$ ;

### 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

$$ER_{M_0^{CC=0.25}/M_N^{CC=0.25}} = 2.25).$$

TABLE 5.4 – Tableau des AIC et des AICc des huit modèles logistiques à effets mixtes sur les pourcentages d’items correctement rappelés en immédiat uniquement (*TF*).

Modèle	AICc	$\Delta$ AICc	w
$M_{Age+NbL*CC}$	1774.45	0	0.449
$M_{Age+CC}$	1775.54	1.08	0.261
$M_{Age*NbL*CC}$	1776.25	1.8	0.183
$M_{Age*CC}$	1777.31	2.86	0.107
$M_0$	1803.47	29.02	2.24e-07
$M_{Age}$	1805.34	30.89	8.81e-08
$M_{Age+NbL}$	1806.32	31.86	5.41e-08
$M_{Age*NbL}$	1806.96	32.51	3.91e-08

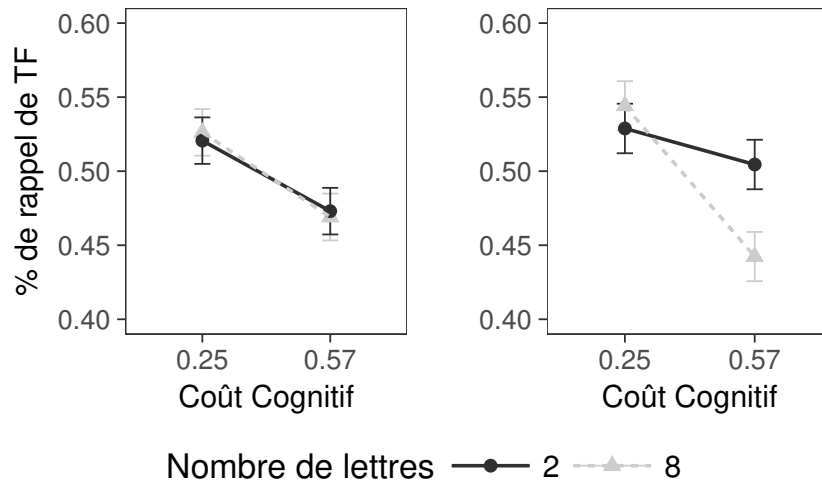


FIGURE 5.4 – Pourcentages d’items correctement rappelés en immédiat mais pas en différé (*TF*) en fonction du CC et du nombre de distracteurs chez les PJ (à gauche) et chez les PA (à droite).

### 5.1.3 Discussion

L'objectif de cette étude comportementale était de tester l'impact du rafraîchissement attentionnel sur les performances à court terme et à long terme chez les PA. Comme attendu, nous avons constaté que les PA avaient de moins bonnes performances que les PJ en tâche d'empan complexe sur le rappel immédiat et sur le rappel différé. Plus particulièrement, nous avons constaté que le déficit observé sur les performances en rappel immédiat provenait uniquement des items qui avaient pu être suffisamment consolidés pour permettre leur rappel à long terme (*TT*). En effet, aucune différence significative n'a été observée entre les PJ et les PA sur les performances de rappel d'items rappelés uniquement à court terme (*TF*). Ce résultat indique que le déficit des PA sur notre tâche de MDT proviendrait davantage d'un déficit à consolider les informations en mémoire à long terme, les performances de *TT* (c'est-à-dire les items rappelés en immédiat et en différés) uniquement étant plus faibles. Ou alors, la consolidation se fait aussi bien chez les PA que chez les PJ, mais c'est la récupération de ces informations en MLT qui est déficitaire.

En lien avec ces premiers résultats, nous avons observé une interaction entre le nombre de lettres et le groupe d'âge sur les performances à long terme. Ces résultats répliquent les effets déjà observés par Loaiza et McCabe (2013). En effet, la différence de performance de mémorisation à long terme entre les conditions avec 2 et 8 distracteurs chez les PA est significativement plus faible que chez les PJ<sup>3</sup>. Il semblerait qu'un déficit sur la mise en place ou sur le fonctionnement même d'un mécanisme de consolidation à long terme est observé chez les PA dans cette étude.

D'après McCabe et Loaiza (2012, 2013) les opportunités de rafraîchissement permettent de créer des liens entre le contexte et le contenu (*binding*), qui seront alors nécessaires au rappel à long terme. L'interaction entre le nombre d'opportunités et l'âge indiquerait donc que les PA auraient plus de difficultés que les PJ à créer des liens utiles à la récupération à long terme (ou à faire du *binding*). Ce déficit pourrait également impacter les performances des PA dans des tâches de MDT classiques. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, une tâche d'empan complexe peut nécessiter l'utilisation de la mémoire secondaire (MLT) en cas de surcharge de la mémoire primaire. Ainsi, la diminution des performances en MDT dans le vieillissement dans certaines études de la littérature pourrait s'expliquer, non pas par un déficit d'un mécanisme spécifique à la MDT, mais par un mécanisme permettant la conservation à long

---

3. Il est à noter que la différence de différences est de seulement 0.8%.

### 5.1 Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)

terme des informations, comme la création de liens *context-content* via le *covert retrieval*.

La création de liens peut se faire entre l'item à maintenir et sa position dans la liste. Mais ces liens peuvent également être faits entre les items eux-mêmes au sein d'une même liste. D'ailleurs, dans le papier de Loaiza et McCabe (2012), ils testent le *binding* en demandant lors du rappel différé : « CHAT vient avant le mot \_\_\_ ». Finalement, un item (*content*) peut être le *context* d'un autre item. Dans notre expérience, le relevé des stratégies (voir annexe 6) a d'ailleurs montré que les participants, jeunes et âgés, utilisaient des stratégies élaborées telles que la création d'histoires ou la création d'images reliant les items entre eux. Ainsi, ces stratégies élaborées suggèrent la création de liens entre les items eux-mêmes. Ces liens amélioreraient les performances à long terme (et par conséquent à court terme) car la récupération d'un seul item permettrait d'activer les autres items qui ont été liés à cet item. Ainsi, plus les items sont reliés entre eux, plus le rappel, et donc l'activation d'un seul item de la liste, permettrait de rappeler d'autres items de cette liste. Si tel est le cas, les items appartenant à la même liste devraient être parfois rappelés successivement lors du rappel différé. Ce rappel dit « groupé » devrait d'ailleurs être d'autant plus important que le *binding* aura été efficace. Afin de tester à posteriori cette hypothèse, nous avons relevé le nombre d'items ayant été rappelés de manière groupée vs. isolée lors du rappel différé. Un item peut soit être rappelé seul, soit deux items de la même liste sont rappelés successivement, soit 3 items de la même liste sont rappelés successivement, etc. Nous avons constaté que chez les PJ, 60% des mots rappelés étaient rappelés conjointement avec un, deux, trois, quatre ou cinq autres items de la même liste. Au contraire chez les PA, seulement 40% des mots étaient rappelés en groupe. Cette différence entre les PJ et les PA constitue un élément supplémentaire en faveur d'un déficit de *binding* chez les PA lors de la réalisation d'une tâche de MDT.

Nos résultats confirment certains résultats de la littérature concernant le déficit de *binding* dans le vieillissement. D'après Loaiza et Oberauer (2016) le *binding* serait une source potentielle forte d'un déclin de la MDT avec l'âge. Des études ont montré que les PA étaient plus largement impactées par une tâche de « recollection » nécessitant une phase de *binding* que par une tâche de familiarité (p.ex., Fandakova, Sander, Werkle-Bergner, & Shing, 2014).

Contrairement aux prédictions du modèle TBRS et contrairement à l'hypothèse d'un déficit du mécanisme de rafraîchissement attentionnel avec l'âge, nous n'avons pas observé d'effet d'interaction entre le CC et l'âge, ni à court terme, ni à long terme. Cette absence d'interaction

semble indiquer que le mécanisme de rafraîchissement, tel que décrit par TBRS, n'est peut être pas atteint dans le vieillissement normal.

Cependant, l'analyse à posteriori chez les PA concernant les performances sur les items rappelés uniquement à court terme (*TF*), a montré un effet délétère de la condition 8 distracteurs par rapport à la condition 2 distracteurs, à CC élevé uniquement. Cette observation est en accord avec les prédictions du modèle TBRS\* que l'on a étudié au départ (voir chapitre 4, section 1) qui postule que si le temps de rafraîchissement ne permet pas de contrecarrer totalement le déclin, alors l'ajout de distracteurs aura un effet délétère sur les performances de rappel. En effet, pour rappel, TBRS\* prédisait une interaction entre le CC et le nombre de distracteurs. Si le CC est suffisamment faible pour contrecarrer le déclin, alors les performances ne dépendent pas du nombre de distracteurs. C'est d'ailleurs le cas, dans la condition à CC faible, chez les PJ et chez les PA (pas de différence de performances entre 2 et 8 distracteurs). Si, au contraire, le CC est élevé, l'ajout de distracteurs aura un effet délétère sur les performances. Et c'est ce qu'on observe chez les PA uniquement : à CC élevé les performances avec 8 distracteurs sont plus faibles que les performances avec 2 distracteurs. Ces résultats observés a posteriori, et les prédictions du modèle TBRS\*, suggéreraient donc que les PA auraient plus de difficulté que les PJ à compenser le déclin des traces mnésiques et donc à rafraîchir les items en MDT. Actuellement, les résultats ne permettent pas de dire si la difficulté vient de la mise en place d'un mécanisme de rafraîchissement ou de l'efficacité de ce rafraîchissement une fois mis en place.

En conclusion, les résultats de notre expérience montrent principalement que le déficit des PA en tâche de MDT verbale semble provenir d'une moins bonne efficacité à *transférer* les informations en MLT ou à récupérer les informations depuis la MLT, réduisant ainsi les performances de rappel en MDT. Ce transfert en MLT pourrait se faire grâce au *binding*, via le *covert retrieval* ou le *refreshing*, qui serait alors déficitaire chez les PA. Soit la baisse d'efficacité du transfert des informations en MLT vient d'un ralentissement global des PA : ils auraient besoin de temps pour rafraîchir un item ou créer un lien entre deux items et donc le nombre de liens créés serait plus faible. Soit ils créeraient autant de liens que les PJ, mais ces liens seraient moins stables dans le temps et ils auraient plus de difficulté à utiliser ces liens lors du rappel et donc à récupérer les informations depuis la MLT. Soit ces deux hypothèses coexistent. Actuellement, nous ne pouvons pas distinguer ces deux hypothèses.

De nombreuses autres hypothèses concernant les causes d'un déficit chez les PA existent

### 5.1 *Le vieillissement impacte-t-il le rafraîchissement attentionnel ? (expérience 3.1)*

comme la possibilité d'un ralentissement général des fonctions exécutives (Salthouse, 1996), d'une difficulté à inhiber les informations non pertinentes (Hasher, Zacks, & May, 1999) ou encore d'une difficulté à *switcher* l'attention efficacement (Verhaeghen, 2011 ; Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008). Dans la section qui suit, nous allons présenter une étude qui avait pour objectif de tester les deux modèles TBRS\* et SOB-CS chez les PA dans le but de mieux comprendre les causes du déficit de la MDT des PA.



## **5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)**

L'objectif de la présente étude a été de confronter les modèles TBRS\* et SOB-CS à des données comportementales obtenues chez des PA. Nous avons adapté les modèles TBRS\* et SOB-CS à deux ensembles de données comportementales en ajustant les paramètres libres de ces modèles. L'ajustement des paramètres libres à une population de PA permet d'explorer leur capacité à simuler des performances plus faibles et des effets différents. La question que l'on s'est posée en faisant cette étude est la suivante : comment les modèles TBRS\* et SOB-CS peuvent-ils rendre compte des performances des PA ? Au vu des résultats de simulation et surtout de la nature des paramètres qu'il faudra ajuster pour rendre compte des performances des PA, nous pourrions ainsi discuter des causes possibles d'une baisse de performances chez les PA, selon les modèles TBRS\* et SOB-CS.

Pour cela, nous avons utilisé deux ensembles de données provenant de deux expériences de MDT différentes. La première expérience (appelée par la suite Expérience 3.2) est reprise de l'étude de Plancher et al. (2017) testant à la fois l'effet du CC et l'effet de similarité des distracteurs chez les PJ et chez les PA. Le premier facteur (le CC) permettait de tester les prédictions du modèle TBRS\* et d'explorer l'impact du vieillissement sur l'effet du CC. Le second facteur (la similarité des distracteurs entre eux) avait pour objectif de tester les prédictions du modèle SOB-CS et d'observer l'impact du vieillissement sur l'effet de similarité. L'encart 5.1 résume très brièvement l'expérience et les résultats obtenus. La seconde expérience est notre dernière expérience 3.1<sup>4</sup> présentée dans la section précédente manipulant le CC et le nombre de distracteurs. Les résultats de simulation de ces deux expériences seront présentés en parallèle. Avant d'analyser nos résultats, nous présentons l'approche générale utilisée pour simuler les modèles dans le vieillissement.

---

4. L'expérience 3.1 est la même expérience que l'expérience 2.3, à la différence que dans le chapitre 4 l'expérience nommée 2.3 concerne uniquement les personnes jeunes, alors que l'expérience nommée 3.1 concerne également les personnes âgées.

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

### Encadré 5.1 – Expérience 3.2 : manipulation du CC et de la nouveauté des distracteurs

#### Objectifs :

- 1) confronter les causes de l'oubli en MDT chez les PJ (déclin ou interférences ?)
- 2) explorer les causes du déclin de la MDT dans le vieillissement normal.

**Procédure et matériel.** Dans une tâche d'empan complexe, les participants devaient mémoriser des listes de cinq images. Le traitement entre deux images consistait à lire à haute voix trois mots. Chaque image était présentée pendant 1 500 ms. Dans le but d'étudier à la fois un effet d'interférence et un effet du temps, qui sont respectivement des marqueurs des modèles SOB-CS et TBRS\*, deux variables sont définies :

- la nouveauté des distracteurs qui était soit faible (e.g. « canard », « canard », « canard » ou « canard », « canard », « cheval »), soit élevée (e.g. « canard », « avion », « cheval »);
- le délai séparant deux distracteurs qui était soit long (un distracteur toute les 2 secondes), soit court (un distracteur toute les 1.2 secondes).

L'expérience comportait donc quatre conditions expérimentales provenant de la combinaison orthogonale de la condition de nouveauté (mots répétés vs différents) et de la condition de rythme (lent vs rapide). Chaque condition expérimentale comportait 5 essais différents donnant un total de 20 essais par participant. Dans la condition « mots répétés », les trois mots étaient généralement tous identiques (AAA), mais les auteurs ont également utilisé différents patterns dans lesquels deux mots étaient identiques et le troisième différent (AAB, ABA, ou BAA). Ainsi, les participants ne pouvaient pas anticiper les mots à traiter dans la condition « mots répétés » et ils devaient donc toujours porter leur attention sur chaque mot à lire.

**Participants** 20 participants jeunes (12 femmes ; âge moyen = 21.62 ; sd = 2.51) et 20 participants âgés (13 femmes ; âge moyen = 71.92 ; sd = 5.18) ont volontairement participé à cette expérience.

**Résultats** 1) les résultats montrent un effet du CC et une absence d'effet de similarité chez les PJ, en accord avec les résultats déjà observés par Plancher et Barrouillet (2012).

2) Comme attendu, les PA ont rappelé moins d'images que les participants jeunes (2.80 vs 3.78 sur 5). Ces résultats n'étaient pas dus à une différence de traitement des distracteurs entre les deux groupes car les PA ne passaient pas plus de temps à traiter les mots que les PJ (487 ms vs. 527 ms en moyenne, pour les PA et PJ respectivement). Aucune interaction entre le groupe d'âge et le CC n'a été observée. Cependant, une interaction double a montré que l'effet du CC chez les PA disparaissait dans la condition haute interférence (c'est-à-dire lorsque les distracteurs étaient différents).

### 5.2.1 Méthode générale

Les modèles TBRS\* et SOB-CS ont de nombreux paramètres libres qui peuvent être ajustés pour mieux s'adapter aux données comportementales (voir chapitre 2 pour la liste des différents paramètres libres). Pour chaque modèle, nous avons choisi des paramètres libres faisant référence à des mécanismes cognitifs concrets qui peuvent être reliés à des théories verbales. Par exemple, le paramètre  $D$  représente la force du déclin temporel. On pourrait faire l'hypothèse que cette force du déclin varie selon l'âge. Il s'agirait alors de supposer que les PA sont moins performantes dans des tâches de MDT car leur traces mnésiques déclinent plus vite en présence de distracteurs.

Pour TBRS\*, nous avons donc choisi d'explorer les effets du niveau de bruit  $\sigma$  qui contrôle le taux d'erreurs de récupération, la force du déclin  $D$ , la force d'encodage  $R$  et la durée nécessaire au rafraîchissement d'un item  $T_r$  dans le cycle de rafraîchissement. Pour SOB-CS, nous avons exploré l'effet de la force d'encodage  $R$ , la force d'effacement  $r$ , le niveau de bruit  $N_0$  lors de la récupération et le taux de discriminabilité  $c$  entre les candidats qui contrôlent le niveau de confusion entre les différents candidats lors du rappel.

Nous avons fait un *grid search* rudimentaire et nous avons calculé pour chaque point le RMSE (racine carrée de la moyenne des écarts au carrés) entre chaque score du modèle et les scores expérimentaux moyens. Un score peut correspondre à différentes mesures : le pourcentage moyen d'items rappelés toutes conditions confondues, le pourcentage d'items rappelés par condition ou encore le pourcentage d'items rappelés par position sérielle dans la liste et par condition expérimentale. En effet, les modèles TBRS\* et SOB-CS simulent le rappel par position et par condition. Dans l'expérience 3.1, nous avons donc utilisé le score moyen par position et par condition. Cependant, dans l'expérience 3.2 nous avons utilisé uniquement les scores par condition expérimentale car les scores par position n'avaient pas été collectés.

Ensuite, l'effet de chaque paramètre sur le RMSE, chez les PJ et chez les PA, a été observé. Notre question était la suivante : quelles sont les meilleures valeurs de chaque paramètre pour simuler les PJ d'une part et les PA d'autre part ? Comme nous l'avons vu, les PA et les PJ ont des performances de rappel qui diffèrent. Nous nous attendions donc à obtenir des profils de RMSE en fonction des valeurs de paramètres qui diffèrent selon le groupe d'âge. Ces différences peuvent apporter des informations sur les causes possibles d'une baisse de performances chez les PA.

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

Pour trouver les meilleures valeurs de paramètre pour chaque groupe d'âge, nous avons effectué une projection sur chaque paramètre afin d'observer plus globalement l'effet de ces paramètres sur le RMSE<sup>5</sup>. Pour expliquer la méthode de projection, présentons un exemple simplifié. Supposons que nous ayons trois paramètres A, B et C et que chaque paramètre est testé sur deux valeurs :  $a_1$  et  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$ ,  $c_1$  et  $c_2$ . Imaginons que nous voulions voir l'effet du paramètre A sur le RMSE. Pour cela, nous traçons le RMSE moyen obtenu pour chaque valeur de A. Nous devons donc calculer le RMSE moyen pour  $a_1$  et le RMSE moyen pour  $a_2$ . Le RMSE moyen pour  $a_1$  correspond à la moyenne de toutes les valeurs de RMSE des combinaisons de paramètres comprenant  $a_1$ , c'est-à-dire  $(a_1, b_1, c_1)$ ,  $(a_1, b_2, c_1)$ ,  $(a_1, b_2, c_2)$  et  $(a_1, b_1, c_2)$ . Nous procédons de la même manière pour le calcul du RMSE moyen de  $a_2$ . Ainsi, nous pouvons obtenir l'effet de chaque paramètre sur le RMSE moyen. Pour une meilleure précision, nous avons comparé, pour chaque paramètre, l'évolution de la médiane (et non de la moyenne) des RMSE entre les PJ et les PA. La médiane a l'avantage de ne pas être affectée par les données aberrantes. De plus, nous avons utilisé des graphiques de type « boîte à moustaches » afin de visualiser la distribution des RMSE selon leurs quartiles et d'avoir le maximum d'informations sur un même graphique. Les valeurs de paramètres sont choisies arbitrairement. Cependant, ces valeurs sont contraintes par des limites logiques. Par exemple, la valeur du paramètre  $D$  ne peut pas être négative car cela impliquerait que le déclin devienne équivalent à du rafraîchissement. En effet, l'activation de la trace mnésique d'intérêt augmenterait au lieu de diminuer. Cette contrainte s'applique à tous les paramètres libres analysés. De plus, les valeurs de paramètres doivent être du même ordre de grandeur que les valeurs par défaut. Par exemple, la valeur par défaut du paramètre  $T_r$  est 0.04 s et les valeurs de paramètres utilisés sont les suivantes : 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18, 0.2, 0.25.

Pour pouvoir comparer les données des participants aux données de simulation des modèles, ces derniers doivent être paramétrés pour passer les mêmes conditions que l'expérience que l'on souhaite simuler. En ce qui concerne l'expérience 3.1 (expérience 2.3 du chapitre 4), les paramètres d'entrée ne différaient pas entre les PJ et les PA (voir table 5.5). En effet, se basant sur un pré-test réalisé au sein de notre laboratoire (non publié), nous avons estimé que la lecture

---

5. Une autre option aurait été de chercher le meilleur modèle (c'est-à-dire celui pour lequel la combinaison de paramètres correspondait au RMSE minimal) pour chaque groupe d'âge. Cependant, la complexité des modèles fait que plusieurs combinaisons de paramètres peuvent aboutir au même résultat. Il n'était donc pas judicieux de s'intéresser uniquement au meilleur modèle.

TABLE 5.5 – Valeurs des paramètres d’entrée donnés aux modèles TBRS\* et SOB-CS pour l’expérience 3.1 chez les PA et chez les PJ.

Paramètres externes	Expérience 3.1	
	PJ	PA
Nombre de mémoranda	6 items à mémoriser par essai	
Nombre de distracteurs	[2, 8]	
Rythme des distracteurs	[0.875, 2] secondes	
Temps de présentation des mémorandas	2.5 secondes	
Temps de capture attentionnelle	0.5 secondes (estimation)	
Type de stimuli (utilisé uniquement pour SOB-CS)	Mots (mémoranda) et Lettres (distracteurs)	

d’une lettre prenait 500 ms en moyenne, peu importe la condition expérimentale et le groupe d’âge. Ainsi le paramètre de temps de capture attentionnelle de chaque distracteur était fixé à 0.5 seconde pour TBRS\* et pour SOB-CS.

Au contraire, dans l’expérience 3.2 (voir table 5.6) les données d’entrée du modèle TBRS\* différaient selon le groupe d’âge au niveau des temps de réaction de lecture des mots. En effet, dans l’expérience comportementale, les temps de réaction de lecture de mots ont été mesurés à posteriori en réalisant une expérience contrôle. Bien que ces temps de réactions ne soient pas significativement différents selon l’âge, nous avons simulé les PJ et les PA séparément en utilisant ces valeurs de temps de réaction. De plus, dans cette expérience 3.2, le modèle TBRS\* ne modélisant pas les interférences entre les distracteurs, nous ne pouvions pas directement simuler les différentes conditions de répétition des distracteurs. Cependant, nous avons simulé indirectement les différents *pattern* de répétition (AAA, AAB, ABA, BAA, et ABC) en reportant les temps de réaction pour chacun d’eux.

Au contraire, SOB-CS prend en compte le fait que les distracteurs sont répétés ou non. En effet, le modèle SOB-CS représente les items et les distracteurs par des vecteurs plus ou moins similaires voire identiques. Les différentes conditions de répétitions ont donc été prises en compte au sein de SOB-CS. De plus, dans le cadre de SOB-CS, nous avons dû décider de la nature des items à mémoriser. S’agissant d’images devant être dénommées lors de leur

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

TABLE 5.6 – Valeurs des paramètres d’entrée données aux modèles TBRS\* et SOB-CS pour les expériences 1 et 2.

Paramètres externes	Expérience 3.1	
	PJ	PA
Nombre de memoranda	6 items à mémoriser par essai	
Nombre de distracteurs	3	
Rythme des distracteurs	[1.2, 2] secondes	
Temps de présentation des memoranda	1.5 secondes	
Temps de capture attentionnelle	515ms (rapide/répété); 518ms (rapide/différent); 532ms (lent/répété); 543ms (lent/différent)	478ms (rapide/répété); 490ms (rapide/différent); 499ms (lent/répété); 505ms (lent/différent)
Type de stimuli (utilisé uniquement pour SOB-CS)	Mots (memoranda) et mots (distracteurs)	

présentation, nous avons supposé que les items à mémoriser étaient équivalents à des mots selon le modèle SOB-CS. Nous allons maintenant présenter l’effet de chacun des paramètres sur les RMSE, selon la méthode de projection présentée précédemment.

### 5.2.2 Effet de chaque paramètre sur le RMSE selon le groupe d’âge

#### Résultats pour le modèle TBRS\*

Les figures 5.5, 5.6, 5.7 et 5.8 représentent les boîtes à moustache des valeurs de RMSE pour l’expérience 3.2 (à gauche) et l’expérience 3.1 (à droite), à la fois chez les PJ et chez les PA, en fonction des paramètres  $\sigma$  (bruit à la récupération),  $T_r$  (temps de rafraîchissement d’un item),  $D$  (force de déclin) et  $R$  (force d’encodage), respectivement. Pour rappel, le meilleur modèle est celui pour lequel le RMSE est minimal.

Premièrement, sur la figure 5.5 nous observons que le modèle TBRS\* s’adapte mieux aux données des PA pour une valeur de  $\sigma$  plus élevée (environ 0.08) que pour celle des PJ, pour qui les meilleurs modèles sont obtenus avec une valeur de  $\sigma$  semblable ou inférieure à la valeur par

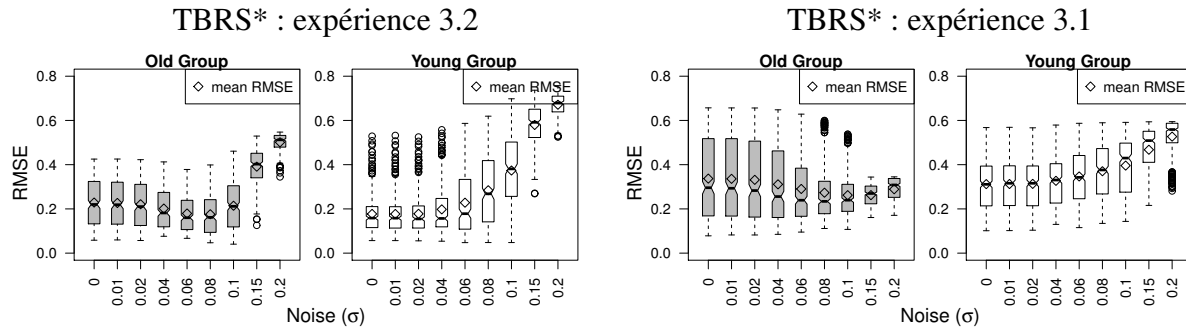


FIGURE 5.5 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRs\* et les données comportementales projetées selon le paramètre  $\sigma$ .

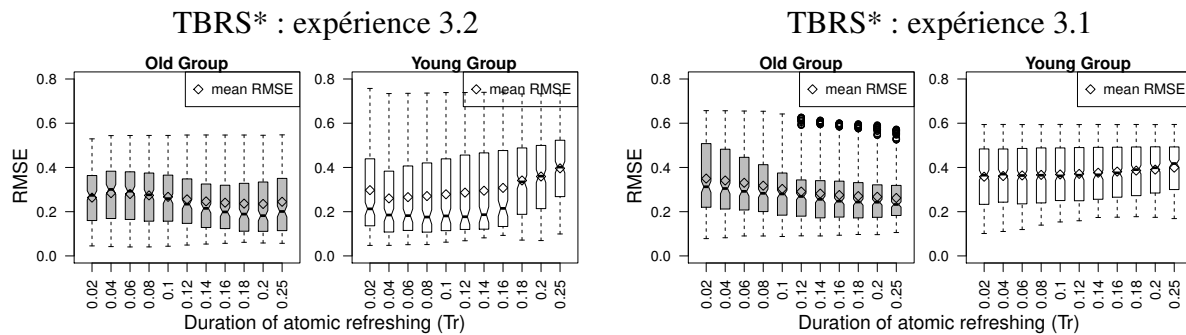


FIGURE 5.6 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRs\* et les données comportementales projetées selon le paramètre  $T_r$ .

défaut (0.02). Nous estimons ces valeurs en utilisant la valeur de la médiane. Plus le bruit est élevé, plus les erreurs lors de la récupération seront élevées. Ce premier résultat pourrait être le signe d'une plus grande sensibilité, chez les PA, aux interférences lors du rappel.

Deuxièmement, la durée de rafraîchissement d'un item  $T_r$  pendant la phase de temps libre doit être ajusté pour mieux reproduire les données des PA des expériences A et B. En effet, les PA sont mieux simulés avec une valeur de  $T_r$  d'environ 200 ms, ce qui est 2.5 fois plus lent que le temps de rafraîchissement du modèle original avec une valeur de  $T_r$  de 80 ms. Les PA mettraient donc plus de temps à rafraîchir les informations après chaque distracteur. La valeur par défaut de ce paramètre, qui est de 80 ms, fait partie de l'ensemble des valeurs optimales pour simuler les performances des PJ dans l'expérience 3.2. Dans l'expérience 3.1 cependant, la variation de la médiane et des boîtes à moustache selon la valeur de  $T_r$  n'est pas très marquée chez les PJ.

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

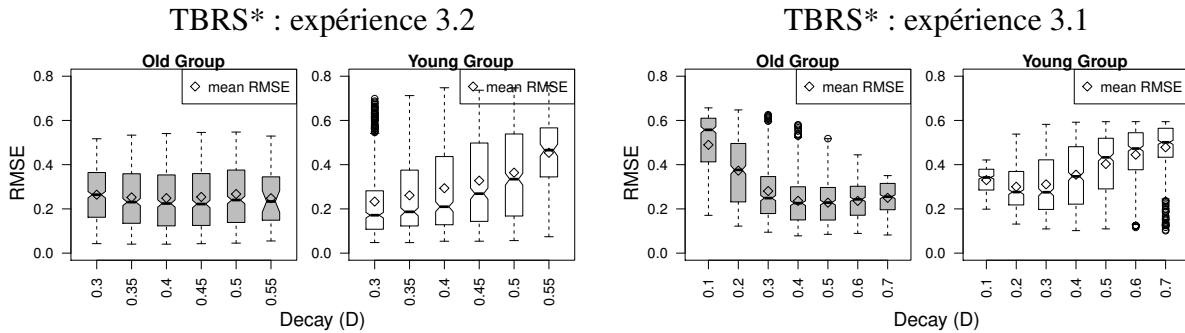


FIGURE 5.7 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRS\* et les données comportementales projetées selon le paramètre  $D$ .

Troisièmement, concernant la force du déclin  $D$ , aucune tendance pour une valeur optimale de  $D$  ne ressort chez les PA pour l'expérience 3.2. Dans l'expérience 3.1, nous avons simulé les données sur un plus large intervalle de valeurs de déclin  $D$  allant de 0.1 à 0.7 au lieu de 0.3 à 0.55 pour l'expérience 3.2. Nous avons alors constaté que les PA sont mieux simulés avec des valeurs de déclin  $D$  de 0.4 (ou 0.5 qui se trouve être la valeur par défaut du modèle) alors que, au contraire, les PJ sont mieux simulés avec des valeurs de déclin de 0.2 ou 0.3. La force du déclin temporel  $D$  semble donc plus importante chez les PA dans l'expérience 3.1, mais nous ne pouvons rien conclure sur ce paramètre dans l'expérience 3.2 car nous observons un plateau chez les PA. De fait, aucune conclusion ne peut réellement être tirée de ces résultats pour le moment.

Quatrièmement et dernièrement, on constate que, l'effet de la force d'encodage  $R$  (qui est à 6 par défaut) ne semble pas avoir d'effet substantiel sur la capacité du modèle à représenter les données des PA. Nous pouvons toutefois observer une très légère tendance à favoriser une valeur de 4 ou 5 chez les PA et une valeur de 6 ou plus chez les PJ. De même que pour le paramètre  $D$ , aucune conclusion ne peut être tirée de ces résultats pour le moment.

En résumé, d'après l'ensemble de ces résultats, TBRS\* suggère qu'un moyen efficace pour mieux adapter les prédictions du modèle aux données des PA, serait d'augmenter la valeur de  $T_r$  et d'augmenter la valeur de  $\sigma$ . Concernant les paramètres  $R$  et  $D$ , ceux-ci ne semblent pas avoir un impact aussi important que les deux autres paramètres, du moins chez les PA.



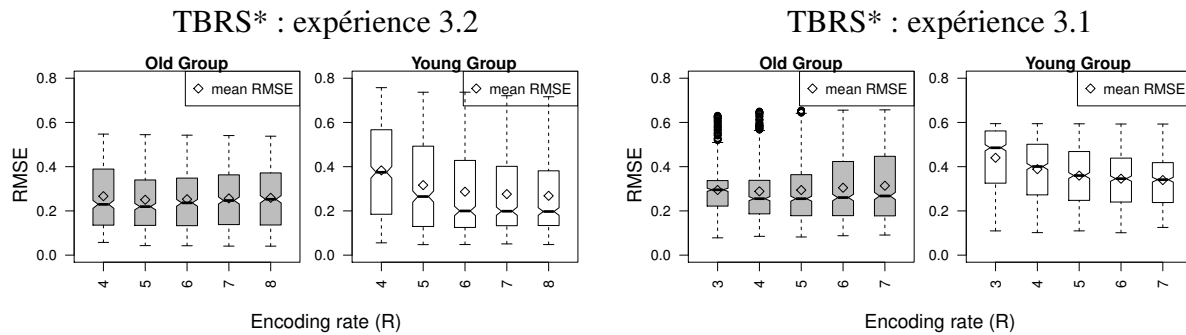


FIGURE 5.8 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRs\* et les données comportementales projetées selon le paramètre  $R$ .

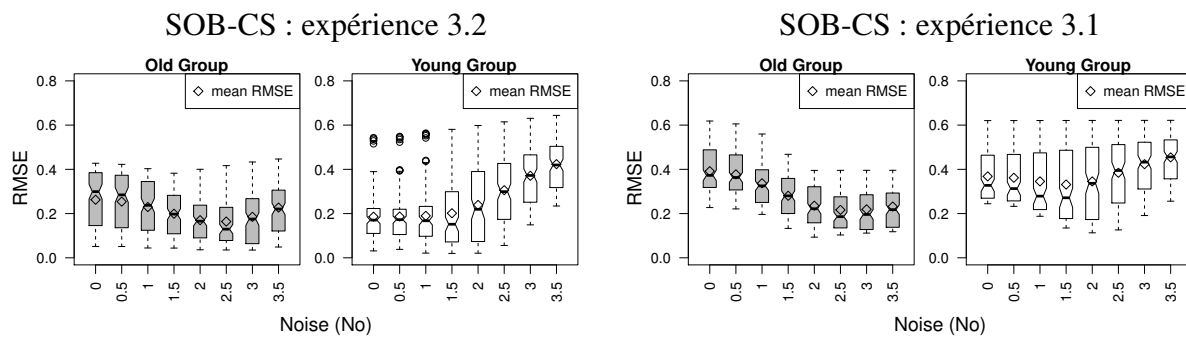


FIGURE 5.9 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre  $N_o$ .

### Résultats pour le modèle SOB-CS

Les figures 5.9, 5.10, 5.11 et 5.12 représentent les boîtes à moustache des valeurs de RMSE, à la fois chez les PJ et chez les PA, en fonction des paramètres étudiés  $N_o$  (bruit à la récupération),  $r$  (force de suppression des distracteurs),  $c$  (discriminabilité entre les candidats à la phase de récupération) et  $R$  (force d'encodage), respectivement.

Premièrement, le niveau de bruit  $N_o$  semble avoir un impact important sur les performances de rappel. Les PA seraient mieux simulés avec une valeur de  $N_o$  élevée (2.5) et supérieure à celle des PJ qui se trouve égale à la valeur par défaut (1.5). Les PA seraient donc plus sensibles aux interférences liées aux rappels.

Deuxièmement, la meilleure valeur de  $c^6$  pour les PA est de 1.3, ce qui est la valeur par défaut

6. Ce paramètre  $c$  de discriminabilité régule le taux de confusion entre les candidats lors de la phase de rappel. Plus cette valeur est élevée, plus les candidats sont distincts les uns des autres.

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

du modèle SOB-CS original. Par ailleurs, chez les PJ, la meilleure valeur est plus élevée que la valeur par défaut avec des valeurs de médiane à 2.4 et 2.3 pour l'expérience 3.1 et l'expérience 3.2, respectivement (voir figure 5.10).

Troisièmement, nous avons noté que le modèle simulant les PA a besoin de plus de temps pour effacer les distracteurs pendant le temps libre que les PJ (0.6 vs 1.5). En effet, une plus faible valeur de  $r$  implique que la force d'effacement est plus faible et ainsi le temps nécessaire pour effacer la totalité d'un distracteur est plus grande. Ces résultats suggèrent que les PA auraient des difficultés à effacer les informations non pertinentes de la MDT, ce qui est en accord avec les résultats observés par Oberauer (2001).

Quatrièmement et finalement, en accord avec ce qui a été observé avec TBRS\*, nous ne notons aucune différence entre les PJ et les PA concernant la valeur du paramètre d'encodage  $R$ . La figure 5.12 montre clairement que, quelle que soit la valeur de  $R$ , la médiane est stable chez les PJ et chez les PA.

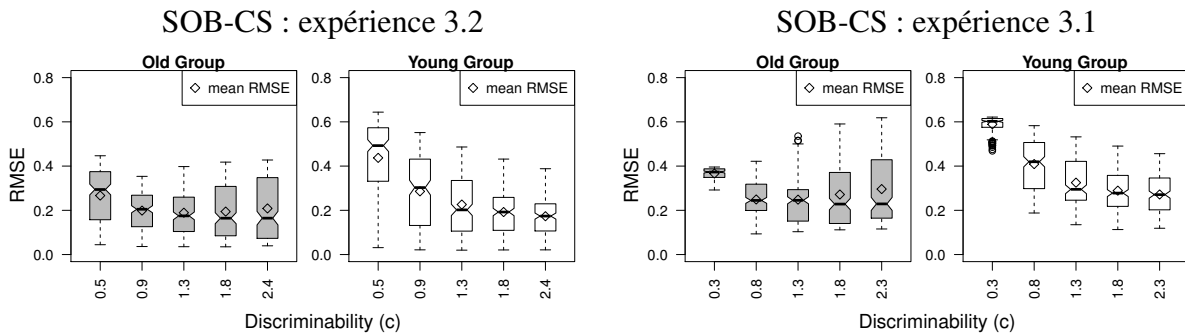


FIGURE 5.10 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre  $c$ .

### 5.2.3 Discussion

Le but de cette étude était de mieux comprendre les causes d'un déficit de la MDT chez les PA en comparant les données expérimentales de PJ et de PA (Plancher et al., 2017) avec des simulations de deux modèles computationnels récents de la MDT. Un résultat important concernant la simulation de ces deux modèles est que malgré une opposition forte entre TBRS\* et SOB-CS, des conclusions similaires concernant les PA semblent se dégager. La différence de

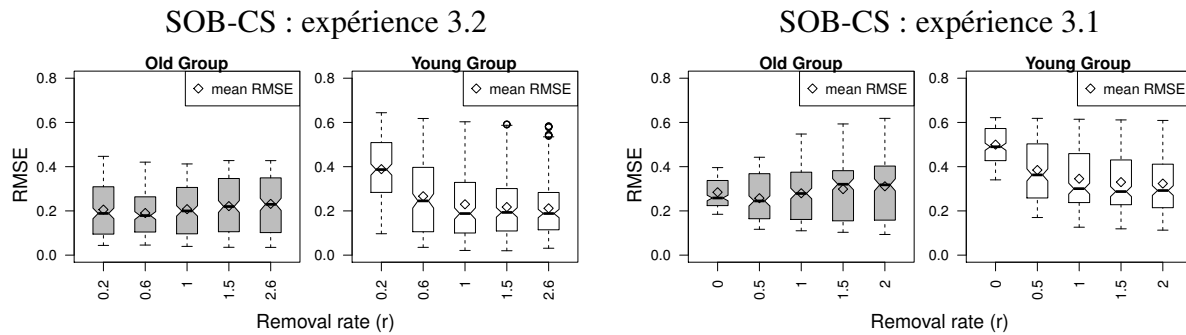


FIGURE 5.11 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre  $r$ .

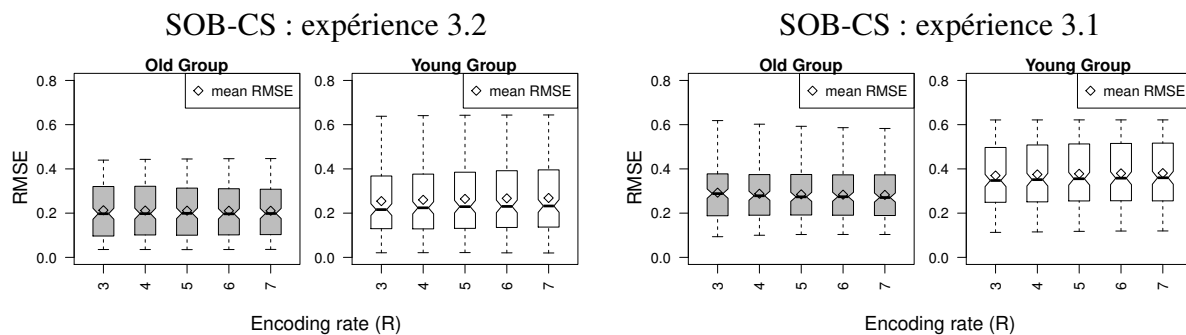


FIGURE 5.12 – Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre  $R$ .

performances de MDT entre les PJ et les PA pourrait être expliquée par deux types de paramètres, ceux contrôlant ce qui se passe pendant la phase de temps libre et ceux contrôlant ce qui se passe pendant la phase de rappel.

Les premiers paramètres ( $c$ ,  $N_o$  et  $\sigma$ ) contrôlent le taux d'erreurs possibles lors de la phase de récupération. La baisse de discriminabilité ( $c$ ) ou l'augmentation du bruit ( $N_o$  et  $\sigma$ ) serait en accord avec l'observation d'une augmentation des erreurs d'intrusion chez les PA (p. ex., Hedden & Park, 2001). De plus, ces résultats peuvent être reliés à la théorie d'un déficit d'inhibition des informations non pertinentes chez les PA (p.ex., Hasher et al., 1999; Oberauer, 2001). En effet, une des raisons d'un déficit de la MDT au cours du vieillissement serait une difficulté à inhiber les informations non pertinentes de la MDT. Si tel est le cas, nous nous attendons à observer un plus grand nombre d'erreur d'intrusion. Dans l'expérience 3.1<sup>7</sup>, nous avons effectivement

7. Pour l'expérience 3.2, nous n'avons pas accès aux taux d'erreurs d'intrusion chez les participants.

## 5.2 Simulation des modèles TBRS\* et SOB-CS dans le vieillissement (expériences 3.1 et 3.2)

constaté que les PA faisaient davantage d'erreurs d'intrusion (4%) que les PJ (1.5%;  $t = -3.8$ ,  $p < 0.001$ ).

Les seconds paramètres ( $T_r$  et  $r$ ) contrôlent ce qui se passe pendant la phase qui suit les distracteurs. Dans le cadre du modèle TBRS\*, les PA sont mieux modélisés en utilisant une valeur de  $T_r$  plus de deux fois plus élevée. Les PA pourraient donc avoir besoin de plus temps pour rafraîchir un item. Dans le cadre de SOB-CS, c'est également juste après le distracteur qu'un déficit semble survenir puisque c'est l'ajustement du paramètre  $r$ , régissant la force du *removal*, qui a permis de mieux rendre compte de leurs performances. Ainsi, d'après SOB-CS, les PA auraient des difficultés à effacer les informations non pertinentes.

Nous avons noté également que deux explications théoriques pouvaient corroborer ces deux observations concernant les paramètres  $T_r$  et  $r$ . Une première explication proposée dans la littérature est celle d'un ralentissement général du traitement des informations (Salthouse, 1996). En effet, les PA semblent plus lents que les PJ à effacer, dans le cadre de SOB-CS, et à rafraîchir, dans le cadre de TBRS\*. Une autre explication théorique qui pourrait expliquer nos résultats est le déficit d'alternance (*switching* en anglais) entre le maintien et le traitement (Verhaeghen, 2011). Les difficultés à effacer (SOB-CS) ou à rafraîchir (TBRS\*) pourraient être le symptôme d'un déficit de *switching*. En effet, il se pourrait que le temps passé à *switcher* l'attention entre les informations à traiter et celles à maintenir soit plus long et soit la cause même d'un  $T_r$  plus long ou d'un  $r$  plus faible chez les PA. Cette phase de *switching* n'étant pas modélisée par TBRS\* ni par SOB-CS, le temps nécessaire au rafraîchissement des items ou à l'effacement des distracteurs inclut également le temps de *switching* entre traitement et maintien. Cependant, les études concernant un déficit de *switching* chez les PA (p.ex., Vaughan et al., 2008) montrent que l'atteinte concerne uniquement la qualité de l'information ramenée au sein du focus attentionnel (appelé *availability* en anglais et la mesure est le pourcentage correct) mais pas la rapidité à laquelle l'information est ramenée dans le focus (appelé *accessibility* en anglais et la mesure est le temps de réaction). L'hypothèse proposée plus haut d'un déficit de *switching* dans le sens d'un ralentissement chez les PA à *switcher* car les valeurs de  $T_r$  et de  $r$  sont plus élevées, n'est finalement pas cohérente avec les résultats de la littérature (p.ex., Vaughan et al., 2008). D'après ces résultats, le déficit de *switching* suggère une moins bonne précision de la récupération de l'information au sein du focus lors d'un *switch* chez les PA. Les modèles TBRS\* et SOB-CS simulent ce déficit par l'augmentation du bruit à la phase de récupération ( $\sigma$ ,  $N_o$  et  $c$ ).

Concernant uniquement la diminution de la force d'effacement  $r$  chez les PA, la théorie d'un déficit d'inhibition des informations non pertinentes chez les PA est à nouveau pertinente et cohérente avec nos résultats (Hasher et al., 1999 ; Oberauer, 2001). Les PA auraient des difficultés à effacer les informations non pertinentes de la MDT et en conséquence l'accès aux informations pertinentes serait réduit.

Finalement, nous avons constaté que les résultats concernant la valeur idéale du paramètre de déclin  $D$  (TBR $S^*$ ) ne convergent pas vers une différence claire entre les deux groupes d'âge. Les PA semblent mieux simulés avec une force de déclin légèrement plus faible que celle des PJ dans l'expérience 3.1, alors que dans l'expérience 3.2 nous n'observons pas de différences. Mais il se pourrait que cet écart avec l'expérience 3.1 soit simplement dû à un intervalle de valeur de  $D$  trop restreint dans l'expérience 3.2. Si, comme le montre l'expérience 3.1, le déclin  $D$  doit être plus faible chez les PA que chez les PJ cela suggère que les PA auraient de moins bonnes performances en MDT à cause d'une force de déclin supérieure à celle des PJ. À notre connaissance, peu d'études se sont intéressées au changement du déclin temporel dans le vieillissement. Nous avons noté que Salthouse (1994) n'a pas observé de déclin plus important chez les PA que chez les PJ. Une piste d'exploration qui permettrait de tester un éventuel déficit du déclin temporel chez les PA serait de faire varier l'intervalle entre l'encodage et la récupération chez les PJ et chez les PA comme cela a été fait par Cowan et ses collaborateurs chez les enfants dans le but de voir s'il y avait des changements de la force du déclin temporel au cours du développement (Cowan, Nugent, Elliott, & Saults, 2000).

## 5.3 Conclusion

Dans notre expérience comportementale nous avons montré que les PA avaient de moins bonnes performances uniquement sur les performances de rappel  $TT$  (items rappelés en immédiat et en différé). Ces résultats peuvent être interprétés comme une plus grande difficulté des PA par rapport aux PJ à faire du *binding*. Ce déficit impacterait grandement les performances en MDT et en MLT. En lien avec ce résultat, notre étude computationnelle a montré que le temps de rafraîchissement  $T_r$  devait être plus long chez les PA que chez les PJ. Une cause probable des baisses de performances en MDT, et par conséquent en MLT, chez les PA est peut être dû à un déficit (peut-être dû à un ralentissement) du mécanisme de rafraîchissement attentionnel.

Cependant, la spécificité de ce déficit est encore floue et demande à être explorée. En effet, plusieurs raisons pourraient expliquer le déficit d'un rafraîchissement efficace. Soit le rafraîchissement est moins efficace car les PA sont plus lentes de manière générale. Dans ce cas, la cause première du déficit observé chez les PA serait le ralentissement général. Soit, c'est au moment de la récupération qu'un déficit existe. En effet, dans TBRS\* la réactivation d'un item en MDT suppose obligatoirement une phase de récupération de l'item via un contexte (la position dans ce modèle). C'est peut être cette phase de récupération qui est déficitaire. En ce sens, (Vaughan et al., 2008) ont montré que l'accessibilité (la récupération mesurée via le temps de réaction) ne semblait pas affectée chez les PA mais que c'est plutôt la précision de l'information récupérée (mesurée via la proportion de rappel correct) qui serait déficitaire. Ce serait donc, d'après leur travaux, lors de la deuxième phase de la récupération que les PA auraient un potentiel déficit. Si le rafraîchissement consiste simplement à récupérer une information au sein du focus attentionnel, alors les PA ne mettraient pas plus de temps mais ils seraient moins précis selon Vaughan et al. (2008). Finalement, se pose ici la question de ce qu'est le rafraîchissement ? Est-ce la réactivation uniquement ou la récupération, ou les deux ? Pour le moment, ces questions restent en suspens.

Un résultat important a été de constater que les performances des PA en MDT étaient déficientes uniquement sur les items rappelés à long terme dans l'expérience B. Nous pouvons rapprocher ce constat de l'hypothèse d'un déficit de *binding* ou de création de liens utiles à la récupération présentée par Loaiza et McCabe (2012, 2013). En effet, dans le cadre du modèle de McCabe, la variation des opportunités de rafraîchissement permet de faire varier le *covert*

*retrieval* qui est similaire à la récupération en mémoire indirecte (utilisation d'un contexte) tel qu'implémenté par TBRS\*. Nos résultats ont montré que seul le nombre de distracteurs interagissait avec l'âge. Le CC au contraire n'interagissait pas avec l'âge. La manipulation du CC fait varier les opportunités de rafraîchissement en MDT qui fait plutôt référence à une récupération directe selon le modèle TBRS (Barrouillet & Camos, 2015). Il se peut donc que les PA n'aient pas de déficit à récupérer directement un item lorsqu'il est encore actif mais des difficultés à récupérer indirectement les items moins actifs nécessitant l'utilisation d'un contexte. Une perspective de travail au vu des résultats de ce chapitre serait dans un premier temps, de permettre aux modèles TBRS\* et SOB-CS de faire du *binding* entre les items, et dans un second temps, de tester les modèles face aux données des PA sur les performances de *TF* (items rappelés uniquement en immédiat) et de *TT* (items rappelés en immédiat et en différé).

# Discussion générale et perspectives

L'ensemble de nos recherches a eu comme fil directeur les modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS. En effet, nous avons, tout au long de cette thèse, validé et invalidé différentes prédictions de ces modèles. Globalement, ces travaux de recherche en sciences cognitives ont montré que l'utilisation de modèles computationnels, tel que TBRS\* et SOB-CS, était pertinente pour aider à la compréhension de la MDT et, dans notre cas, pour étudier deux mécanismes de maintien en MDT qui s'opposent dans la littérature : le *removal* et le *refreshing*. Nous discuterons les implications de nos travaux selon deux grands axes. Une première partie concernera l'apport et les connaissances acquises sur l'utilisation des modèles computationnels. Et une seconde partie présentera les avancées sur la compréhension des mécanismes de maintien en MDT. Cette seconde partie permettra de proposer différentes perspectives pour les recherches futures.

## Apport de la modélisation computationnelle

Comme nous l'avons vu tout au long de ce document, un modèle computationnel permet de faire des prédictions plus précises qu'un modèle verbal. Par exemple, dans le chapitre 3, nous avons testé l'impact du mécanisme de *removal* de SOB-CS sur l'effet de similarité entre les items et les distracteurs, induit par le mécanisme de superposition. L'hypothèse verbale était : le temps libre ajouté devrait réduire l'effet de similarité entre les items et les distracteurs. Cependant, nous n'avons pas de précisions sur la taille de cet effet, sur les limites de cet effet ou encore sur les prédictions concernant les pourcentages d'erreurs. La simulation, par le modèle SOB-CS, a permis de montrer que ce modèle prédisait un effet d'interaction très marqué entre le temps libre et le niveau de similarité entre les distracteurs et les items. De plus, la simulation computationnelle a également permis de préciser les mécanismes à l'origine de cette interaction :



un effacement total des distracteurs. Pour finir, SOB-CS présente deux types d'interférences antagonistes (interférence par superposition et interférence par confusion) et l'hypothèse verbale peut difficilement prévoir la part de chacune de ces interférences sur les effets attendus. La simulation a permis de vérifier que SOB-CS prédisait bien un effet positif de la similarité, malgré les effets inverses produit par l'interférence par confusion. Ici, on comprend comment la simulation, par le modèle SOB-CS, a pu combler toutes les imprécisions d'une hypothèse verbale. Ainsi, les simulations, par le modèle SOB-CS, ont permis de tester la validité de notre hypothèse verbale. Elles ont donné lieu à des prédictions précises concernant l'importance de l'effet d'intérêt et ont généré de nouvelles prédictions sur les différents types d'erreurs, comme par exemple une quasi absence d'intrusion de distracteurs à rythme lent et modéré.

Deux autres exemples dans cette thèse illustrent l'apport des modèles computationnels en sciences cognitives pour la compréhension de la mémoire. D'une part, l'étude des prédictions de l'impact du nombre de distracteurs et d'autre part l'analyse des différents types d'erreurs ont permis d'avancer sur la spécification des modèles afin de viser leur amélioration et leur pouvoir prédictif (chapitre 4). C'est grâce à la précision des modèles computationnels TBRS\* et SOB-CS que nous avons pu tester leur capacité à reproduire ou non les différents patterns de résultats tels que les courbes de position sérielle des différents types d'erreurs. Ces prédictions précises augmentent les contraintes du modèle et, par conséquent, le rendent plus facilement falsifiable. Ainsi, nous pouvons mieux cibler les nouvelles limites du modèle. Par exemple, nous avons constaté que chacun des deux modèles, et en particulier TBRS\*, produisait un trop grand nombre d'erreurs de répétition par rapport aux participants. Cette limitation permettra d'orienter les recherches futures qui viseront à éliminer les erreurs de répétitions, tout en conservant la forme de la courbe des erreurs de transposition, l'effet du coût cognitif, l'effet du temps disponible et l'ensemble des *benchmarks* comportementaux que les modèles étaient déjà en mesure de produire. Nous avons également rencontré cette situation avec l'effet positif du nombre de distracteurs que les modèles ne parviennent pas à reproduire. L'ajustement des paramètres n'est pas suffisant et c'est la structure du modèle qu'il faudrait probablement modifier. Par exemple, dans le cadre de nos expériences, un module de mémoire à long terme semble nécessaire pour prédire le comportement des humains. On constate que la MDT ne peut pas être conçue de manière trop simpliste ou trop isolée des autres systèmes au risque de manquer des caractéristiques centrales. Cependant, il ne faut pas oublier qu'un modèle est toujours plus pauvre et restric-

tif que la réalité. En effet, le but d'un modèle n'est pas de représenter la réalité (qui est trop complexe) mais bien d'aider à la réflexion et d'avancer pas à pas sur la compréhension de cette réalité très complexe. Ainsi, un modèle est provisoire et en constante évolution et un des intérêts d'un modèle computationnel, par rapport à un modèle verbal, est de pouvoir préciser les limites d'une théorie pour la faire évoluer.

Un modèle computationnel permet également de faire de nouvelles prédictions pour de futures expériences comportementales. Par exemple, dans le chapitre 5, nous avons adapté les modèles à la population vieillissante. Nous avons constaté que, d'après les modèles, les PA avaient besoin d'un temps de rafraîchissement ou d'un temps de *removal* (selon le modèle) plus long que celui des jeunes adultes. Cette nouvelle prédiction pourrait alors être testée expérimentalement. En effet, le  $T_r$  et le  $r$  sont des paramètres dont les valeurs ont été observées expérimentalement à l'aide de protocoles bien particuliers (voir Vergauwe et al. (2014) pour  $T_r$ , Oberauer (2001) pour  $r$ ). Ainsi, ces mêmes protocoles pourraient être utilisés pour tester les PA (Fanuel, Plancher, Monsaingeon, Tillman, & Portrat, submitted), déterminer les valeurs appropriées de ces paramètres et les comparer aux valeurs prédites par les modèles.

Puisque notre objectif principal est d'avancer sur la compréhension de la MDT, les données de simulation des modèles computationnels sont toujours comparées aux données comportementales issues de l'expérimentation. Mais que signifie comparer nos données de simulations aux données d'observations dans le cadre des modèles TBRS\* et SOB-CS ?

Nous avons vu que la comparaison peut se faire au niveau des scores moyens de rappel correct ou, de manière plus précise, selon les courbes de positions sérielles. Nous avons également comparé les modèles et les données selon les différents types d'erreurs (scores moyens ou selon la courbe de position sérielle également). En effet, l'analyse sur les différents types d'erreurs faites par les participants peut également apporter des informations sur la façon dont les informations sont maintenues et/ou oubliées. Ainsi, dans une approche de modélisation computationnelle telle que celle que nous avons adoptée au cours de ces travaux de thèse, il convient de ne pas se contenter de mesures moyennes, qui parfois suffisent à une compréhension globale d'un phénomène psychologique mais qui, souvent, manquent de précision pour une analyse plus fine et spécifique d'un mécanisme particulier. À cet égard, Farrell et Lewandowsky (2011) proposent même de comparer les prédictions du modèle à chacun des participants individuellement, pour mieux appréhender la variabilité des paramètres du modèle qui reflètent alors la variabilité

naturelle des individus. Cependant, nous n'avons pas pu utiliser cette approche car, comme nous le verrons dans la suite, le temps de calcul pour ajuster le modèle à un seul participant peut durer plusieurs dizaines d'heures. Donc, l'ajustement sur chaque participant, n'était pas envisageable.

Au-delà des scores utilisés (moyenne, courbe de position sérielle, erreurs), la méthode de comparaison peut se faire de deux façons différentes : qualitativement ou quantitativement. Nous avons fait des comparaisons qualitatives (et descriptives) entre les données expérimentales et les simulations lorsque nous nous intéressions aux capacités des modèles à reproduire des effets ou des courbes de positions sérielles. Dans ce cas, nous utilisons un ensemble de paramètres libres fixés et, généralement, les valeurs choisies correspondaient aux valeurs par défaut des modèles. L'analyse descriptive des données de sortie du modèle comparativement aux données comportementales mesurées chez les humains à travers des graphiques était suffisante pour tester la validité des modèles. Par exemple, dans le cas où nous avons observé un effet positif du nombre de distracteurs chez les participants, il n'était pas nécessaire de calculer précisément la capacité des modèles à reproduire les données des participants sachant que ni TBRs\*, ni SOB-CS, ne permettaient de reproduire cet effet. Cependant, lorsque l'objectif était de trouver les meilleures valeurs de paramètres internes, pour que les prédictions des modèles s'ajustent au mieux aux données expérimentales observées, une méthode de comparaison quantitative (écart quadratique moyen ou vraisemblance, par exemple) entre les données et les participants était nécessaire. En effet, il est impossible pour le chercheur, de comparer graphiquement les performances du modèle avec celles des participants pour chaque combinaison de paramètres, sachant que dans notre étude nous avons près de 1 000 combinaisons de paramètres à comparer. Ainsi, la simulation par les modèles et le calcul des RMSE de chaque combinaison permet de trouver le ou les meilleur(s) modèle(s). Il est à noter que le meilleur modèle n'est pas forcément un bon modèle et il est donc important de vérifier graphiquement et qualitativement sa capacité à reproduire les patterns de résultats comportementaux. De plus, il faut juger de la différence entre les meilleurs modèles. En effet, les premiers meilleurs modèles peuvent être quasi similaires.

Comme mentionné plus haut, le temps nécessaire aux simulations dans le cadre d'une estimation de paramètres est parfois très long. Par exemple, si l'on a quatre paramètres et que l'on teste pour chacun de ces paramètres 5 valeurs différentes alors on aura un total de  $5^4 = 625$  combinaisons de paramètres possibles à tester. L'ajout d'une valeur pour chaque paramètre fait passer le nombre total à 1296 (la complexité algorithmique du calcul est de  $O(n^p)$  avec  $p$  le

nombre de paramètres et  $n$  le nombre de valeurs pour chaque paramètre). De plus, les modèles TBRS\* et SOB-CS sont des modèles stochastiques. En effet, chaque simulation des modèles représente un participant faisant un essai de tâche d'empan complexe. Il est donc important de prendre en compte la variabilité, en ajoutant du bruit gaussien lors de la phase d'encodage ou de rappel, afin de modéliser la variabilité des participants. Par opposition, un exemple de modèle non stochastique est le modèle SIMPLE qui donne directement la probabilité du score moyen en une seule simulation. Au contraire, pour obtenir un score moyen prédit par les modèles TBRS\* et SOB-CS, dans une condition expérimentale, celui-ci doit être simulé un nombre de fois élevé (2 000 ou 5 000 fois dans cette thèse). Cela signifie que le modèle passe 2 000 ou 5 000 fois la même condition expérimentale. Sachant que la simulation de 5 000 essais dans une condition expérimentale dure quelques minutes et qu'il faut ensuite multiplier le nombre de simulations nécessaires pour chaque combinaison par le nombre de combinaisons de paramètres, on arrive très rapidement à plus de 100 h de simulations même pour des « grid search » très grossiers. L'étude de ces modèles a permis d'avancer sur la compréhension de la mémoire de travail et c'est ce que nous allons discuter maintenant.

## Avancées dans la compréhension de la MDT

Nous nous sommes intéressés aux processus de maintien des informations dans une tâche d'empan complexe face à l'impact des distracteurs. Les modèles TBRS\* et SOB-CS spécifient précisément les mécanismes qui sont mis en jeu lors de la phase de traitement de distracteurs et lors des phases de temps libre qui suivent ces distracteurs dans une tâche d'empan complexe. Le maintien des informations se fait-il via un rafraîchissement attentionnel des informations afin de contrecarrer le déclin temporel de ces traces mnésiques ? Ou, le temps libre est-il surtout utilisé pour effacer les distracteurs qui déforment les items devant être maintenus ?

L'ensemble des résultats de cette thèse favorisent le mécanisme de *refreshing* face au mécanisme de *removal*. En effet, une première expérience (chapitre 3) a montré que le mécanisme de *removal*, tel qu'implémenté dans le modèle SOB-CS, ne permettait pas de reproduire nos données comportementales. En effet, contrairement aux prédictions du modèle SOB-CS, l'effet délétère d'une faible similarité entre les items et les distracteurs (appartenant au même domaine) n'était pas amoindri par l'ajout de temps libre. En d'autres termes, l'impact de la similarité

des distracteurs ne changeait pas avec l'ajout de temps libre suivant chaque distracteur. Ainsi, la simulation computationnelle, par SOB-CS, d'une expérience comportementale faisant varier de manière orthogonale la similarité entre les items et les distracteurs et le temps libre disponible après chaque distracteur a révélé que si le *removal* existe, sa durée est extrêmement faible (Hoareau et al., 2017).

De plus, nos expériences comportementales présentées dans le chapitre 4 ont montré que l'ajout de distracteurs avait un effet bénéfique sur les performances de mémorisation lors d'une tâche de rappel immédiat et différé. Ces résultats sont plus en faveur d'un mécanisme de *refreshing* que d'un mécanisme de *removal* car une accumulation du temps semble améliorer les performances de rappel à court terme et à long terme. En effet, comment le *removal*, ayant une action uniquement sur le distracteur venant d'être encodé, pourrait permettre d'améliorer les performances à mesure que le temps libre augmente? Même si le *removal* existe, et permet de réduire la charge mentale en MDT, un mécanisme supplémentaire, agissant sur les traces à maintenir et non sur les traces interférentes, semble nécessaire pour permettre un maintien à plus long terme.

En lien avec cette proposition, si l'on considère que la limitation en MDT est principalement due à une limitation en ressources d'énergie, comme dans le modèle de ACT-R (Anderson et al., 1996, 2004) ou le modèle de Davelaar, Goshen-Gottstein, Ashkenazi, Haarmann, et Usher (2005), alors le *removal* et le *refreshing* pourraient être vus comme deux faces d'une même pièce. En effet, si l'on considère que l'énergie dédiée à la charge en MDT est constante et distribuée sur les différents items à maintenir, alors lorsque l'attention se porte sur un item en particulier, son activation augmente, et, en conséquence, la réduction des ressources attribuées aux autres informations contenues en MDT leur ferait perdre de l'activation. Cette baisse d'activation pourrait être l'équivalent simple du *removal*. Cependant, de ce point de vue, ce *removal* est différent de celui décrit par le modèle SOB-CS (Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012), dans lequel le *removal* nécessite de l'attention. Or, selon une conception en termes de ressources d'énergie, le *removal* serait un phénomène passif et dépendant d'autres mécanismes actifs et attentionnellement coûteux tel que le rafraîchissement. Toutefois, si l'on se place dans une telle perspective, les expériences comportementales proposées ici ne permettent pas de préciser si l'attention est portée sur les items à maintenir ou sur les informations à effacer. On pourrait alors se demander si le *removal* est la conséquence d'un rafraîchissement ou si au contraire, le

rafraîchissement est la conséquence du *removal*. De futures recherches seraient nécessaires.

Cependant, même si le *refreshing* semble être favorisé en tant que mécanisme de maintien, les résultats des expériences du chapitre 4 ont montré que ce *refreshing* tel qu'implémenté dans TBRS\* n'est pas suffisant pour permettre un effet bénéfique du nombre de distracteurs dans une tâche d'empan complexe. Une avancée future et d'actualité serait de mettre en lien la MLT et la MDT au sein du modèle TBRS\*. La relation entre MDT et MLT va dans deux directions différentes : d'un côté, les connaissances en MLT (p.ex., Chase & Simon, 1973 ; Ericsson & Kintsch, 1995) et la réorganisation en chunks (p.ex., Cowan, 2001 ; Mathy & Feldman, 2012 ; Miller, 1956 ; Portrat et al., 2016) permettent de mieux réussir certaines tâches de MDT, et d'un autre côté, les processus de maintien mis en place au cours d'une tâche de MDT permettent d'ajouter des traces épisodiques en MLT (p.ex., Barrouillet & Camos, 2015 ; Camos & Portrat, 2015 ; Jarjat et al., submitted ; McCabe, 2008) et donc d'apprendre de nouvelles séquences ou de nouveaux chunks. Il est à noter que cette distinction est présentée explicitement par Guida, Gobet, et Nicolas (2013) en utilisant les termes suivant : *retrieval chunking* et *creation chunking*. Le *retrieval chunking* est le fait de récupérer un chunk déjà existant en mémoire à long terme afin d'alléger la mémoire de travail alors que le *creation chunking* représente l'action de créer un nouveau chunk en mémoire à long terme, via la mémoire de travail et via ce que l'on nomme souvent le *binding*. Au vu des résultats de nos études comportementales, il semblerait que lors du rappel de mots dans une tâche d'empan complexe, des processus de *binding* ou de *creation chunking* soit mis en oeuvre au cours de la tâche suggérant que la MLT, en plus de la MDT, est mise en jeu dans les tâches d'empan complexe. Ainsi, il est possible de supposer qu'un transfert rapide des informations en MLT via une compression rapide des informations en MDT (Chekaf, Cowan, & Mathy, 2016) a lieu au cours d'une tâche d'empan complexe. Pourtant, dans la littérature, la tâche d'empan complexe est souvent associée à la mesure de la capacité de la MDT qui est un système permettant de traiter et de maintenir, pendant une courte période, des informations à l'instant présent (p.ex., Barrouillet, Portrat, & Camos, 2011 ; Conway et al., 2005 ; Daneman & Carpenter, 1980 ; Oberauer, Lewandowsky, et al., 2012). Cependant, dans certaines conditions, la mesure même des performances dans une tâche d'empan complexe ne permet pas de connaître la capacité maximale des informations en MDT car certaines informations ne sont plus activement maintenues en MDT (p.ex., Unsworth & Engle, 2007).

Une piste de recherche future très prometteuse serait l'étude de l'apprentissage rapide de

nouveaux chunks (Chekaf et al., 2016) ou de nouvelles traces épisodiques via la tâche d'empan complexe. Actuellement, un mécanisme de *retrieval chunking* a déjà été implémenté au sein du modèle TBRS\* (Portrat et al., 2016), 2016, cependant il serait également intéressant d'implémenter un mécanisme de *creation chunking*. On pourrait envisager que les différences inter-individuelles en MDT s'expliquent en partie par une variabilité de vitesse de transfert des nouvelles informations en traces mnésiques plus durables dans le temps. Cette idée rejoint les travaux de Unsworth et Engle (2007) qui montrent que les différences inter-individuelles dépendent à la fois de la capacité de la mémoire primaire et de celle de la mémoire secondaire. De plus, Wilhelm, Hildebrandt, et Oberauer (2013) ont montré qu'une tâche associée à la mémoire secondaire était fortement relié à la tâche d'empan complexe et à l'intelligence fluide. D'ailleurs, l'étude chez les personnes âgées (chapitre 5) a montré que leurs plus faibles performances de mémorisation ne provenaient que des items rappelés à long terme. Aucune différence n'a été observée entre les personnes jeunes et les personnes âgées concernant leurs performances de rappel immédiat n'incluant pas les items rappelés également lors du rappel différé (les *TF*). Ce premier indice semble indiquer qu'un marqueur des baisses de performances de MDT chez les personnes âgées pourrait être leur difficulté à transférer de nouvelles informations dans un état plus stable. Ce transfert nécessiterait la mise en oeuvre d'un processus de *creation chunking* ou de *binding* entre les informations.

## **Limites et perspectives de recherches**

### **Perspectives de modélisation computationnelle**

Une limite importante des modèles TBRS\* et SOB-CS concerne l'absence de prise en compte du maintien à plus long terme qui semble pourtant important dans une tâche d'empan complexe. Une piste serait d'étendre ces modèles en leur ajoutant une composante à long terme. Cependant, à ce jour, bien que de nombreuses recherches se soient intéressées et s'intéressent actuellement au lien entre MDT et MLT, il n'existe pas encore de consensus. En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1 de cette thèse, la distinction même entre MDT et MLT est difficile à délimiter et encore très controversée. En effet, Baddeley et Barrouillet supposent que la MLT et la MDT sont distinctes. D'après le modèle TBRS, la MDT est, à chaque instant, l'activation d'épi-

sodes nouveaux, ces épisodes étant l'activation simultanée d'informations provenant en partie des buffers sensoriels et de la MLT. Au contraire, Cowan et McCabe supposent que la MDT est l'activation de la MLT faisant un lien direct entre ces deux systèmes (Cowan, 1999, 2001 ; McCabe, 2008). Également, le modèle de G. D. A. Brown et al. (2007) ne distingue pas ces deux systèmes et considère l'existence d'un unique système ayant des processus uniques pouvant expliquer principalement les effets de récence à court et à long terme. Une autre distinction que l'on retrouve parfois entre MDT et MLT est l'existence d'un processus de récupération différent. En MDT la récupération serait directe car les items sont fortement activés (Cowan, 1999 ; Oberauer, 2002) alors qu'en MLT, la récupération se ferait à l'aide de *context-cue* car l'activation de l'item à récupérer n'est plus assez élevée. Par exemple, le modèle computationnel de Davelaar et al. (2005) utilise à la fois un buffer à court terme où la récupération d'un item est directe et un buffer à long terme où la récupération se fait à l'aide du contexte. En ce qui concerne les modèles TBRS\* et SOB-CS, la récupération est toujours indirecte. Une amélioration pourrait consister en l'ajout d'une récupération directe.

Les modèles TBRS\* et SOB-CS comportent-ils aucun lien avec la MLT ? Et, si non, quels éléments de ces modèles pourraient être considérés comme de nouvelles traces épisodiques ? Selon la vision du modèle de Cowan, les positions et les items des modèles TBRS\* et SOB-CS pourraient représenter des éléments de la MLT. Lorsqu'un mot connu en MLT (« cyclone » par exemple) est présenté à l'écran en première position, alors les chunks « cyclone » et « position 1 », existants en MLT, sont activés. Selon cette première proposition, la MLT serait, en quelque sorte, déjà présente dans les modèles TBRS\* et SOB-CS : les couches d'items et de positions peuvent en effet représenter les informations de la MLT qui peuvent être activés via les informations externes. Seuls les liens entre les items et les positions seraient spécifiques à la MDT.

Ainsi, la création de nouveaux liens (via la loi de Hebb) entre différentes représentations (item et position dans un cas très simplifié) correspondrait à la création de nouvelles informations (nouveaux chunks) en MDT via la focalisation attentionnelle sur l'item et la position concernée. Donc, de ce point de vue, TBRS\* et SOB-CS supposent que le contenu de la MDT correspondrait aux nouveaux liens entre différents chunks (informations déjà existantes en MLT). Une extension, qui permettrait peut être de rendre compte de l'effet bénéfique du nombre de distracteurs, serait de rendre possible la création de liens entre différents items de la liste lors des phases



de rafraîchissement (en supposant que l'on ajoute du rafraîchissement au modèle SOB-CS). Si, comme le suppose Cowan, environ quatre informations peuvent être maintenues actives au sein du focus attentionnel, alors il est possible de créer un nouveau chunk reliant quatre informations déjà connues en MLT (Portrat et al., 2016). Actuellement, les modèles TBRS\* et SOB-CS supposent que les seuls liens possibles existants sont ceux qui associent un item à sa position dans la liste. Nous pourrions imaginer que d'autres types de liens peuvent s'accumuler : les liens entre différents items de la même liste ou encore des liens entre un item et des connaissances liés à cet item déjà existantes en MLT. Pour le modèle TBRS\*, la création de ces liens pourrait se faire à chaque rafraîchissement attentionnel puisque, comme le propose Lemaire et Portrat (2015) le rafraîchissement attentionnel peut se porter sur quatre items à la fois, comme stipulé par la théorie de Cowan (2001). Ce mécanisme pourrait représenter à la fois le rafraîchissement unique d'un lien entre un item et sa position ou alors, de manière plus élaborée, le rafraîchissement de plusieurs liens entre plusieurs items. Ce dernier processus pourrait sous-tendre l'utilisation de stratégies élaborées telles que la création d'histoires ou d'images mentales.

Le mécanisme de rafraîchissement attentionnel, tel qu'implémenté dans le modèle TBRS\*, se fait toujours en deux étapes : récupération puis réactivation. Ce modèle ne peut donc pas rafraîchir un item directement via le focus attentionnel, l'item doit, d'abord, être récupéré. Notons également que, d'après les modèles TBRS\* et SOB-CS, la récupération des items (pour être rafraîchis ou effacés) se fait toujours indirectement via un contexte (la position). En effet, avant chaque rafraîchissement attentionnel, le modèle TBRS\* suppose que l'item est d'abord récupéré grâce à la position d'intérêt et les liens existants entre l'item et cette position. C'est d'ailleurs ces liens, en cours de dégradation, qui sont réactivés. De même dans SOB-CS, l'information *i* devant être effacée est récupérée via la position. Finalement, la méthode de rafraîchissement du modèle TBRS\* est très semblable au mécanisme de *covert retrieval* défini par McCabe (2008). Ce mécanisme devrait donc plutôt être attribué à la MLT (voir Davelaar et al., 2005). Au contraire, le mécanisme de *refreshing* défini par Barrouillet et Camos (2015), se fait via une récupération directe d'un item au sein du focus attentionnel. D'après TBRS, le *refreshing* est possible si le seuil d'activation est suffisamment élevé. On constate à nouveau une incohérence théorique entre l'implémentation du *refreshing* et la vision de ce mécanisme selon les auteurs du modèle verbal TBRS. Pour illustrer ce qui vient d'être dit, la figure 5.13 représente schématiquement, en s'appuyant sur la représentation du modèle de Cowan, les deux possibilités de réactivation : directe

(MCT) ou indirecte (MLT). Cette méthode de réactivation dépendrait finalement de l'activation de l'item devant être rafraîchi. Devrions-nous ajouter au sein de TBRS\* une possibilité d'activation directe (*refreshing*) des items, selon leur seuil d'activation ? Et, garder également une possibilité de réactivation indirecte via la création de lien entre les items et les positions comme cela est déjà implémenté ? Ainsi, nous pourrions tester, computationnellement, les mécanismes de *refreshing* et de *covert retrieval* tel qu'ils sont décrits verbalement dans la littérature.

Mais, comment se ferait le maintien à plus long terme ? Comment ces nouveaux chunks pourraient perdurer dans le temps ? Dans le cadre de TBRS\*, le déclin temporel des liens entre les unités (item et position) est la cause principale de l'oubli. Une solution éventuelle serait de diminuer l'oubli à mesure qu'un chunk est rafraîchi. Cependant, il serait sûrement nécessaire d'implémenter des interférences, sinon le modèle risquerait d'être trop performant. En effet, si l'on réduit l'oubli à mesure qu'un item (ou un chunk) est rafraîchi, alors ce nouveau chunk n'aura plus aucune raison d'être oublié. Dans le cadre de SOB-CS, il n'y a pas d'oubli spécifique à la mémoire à court terme (le déclin temporel). Pourtant, ce modèle montre que la capacité de MDT est très limitée à cause des interférences par superposition. La distinction entre MDT et MLT dans ce modèle n'est pas évidente car la récupération est indirecte et le déclin temporel n'existe pas. Pourtant, un ou des mécanismes sont nécessaires pour permettre de distinguer un maintien à court terme et un maintien à long terme. Pour conclure, l'ajout d'une MLT dans ces modèles semblent être un travail complexe, mais il permettrait peut être de voir si les modèles TBRS\* et SOB-CS sont des théories compatibles avec les processus d'apprentissage qui semblent importants dans le cadre des tâches d'empan complexe (voir Gavens & Camos, 2006, pour une revue de la littérature).

## **Limites et perspectives empiriques**

Une importante limitation de nos travaux porte sur la variabilité des stratégies de mémorisation utilisées par les participants. En effet, dans les tâches d'empan complexe que nous avons utilisées, les items à mémoriser sont toujours des mots concrets. Le report verbal demandé aux participants à l'issue de certaines expériences nous ont permis de dégager plusieurs stratégies compatibles avec celles déjà répertoriées dans la littérature (Loaiza & McCabe, 2013). En effet, certains participants faisaient des histoires, d'autres des images mentales et d'autres encore ne faisaient que se répéter les mots dans leur tête. De plus, toutes ces différentes stratégies pou-

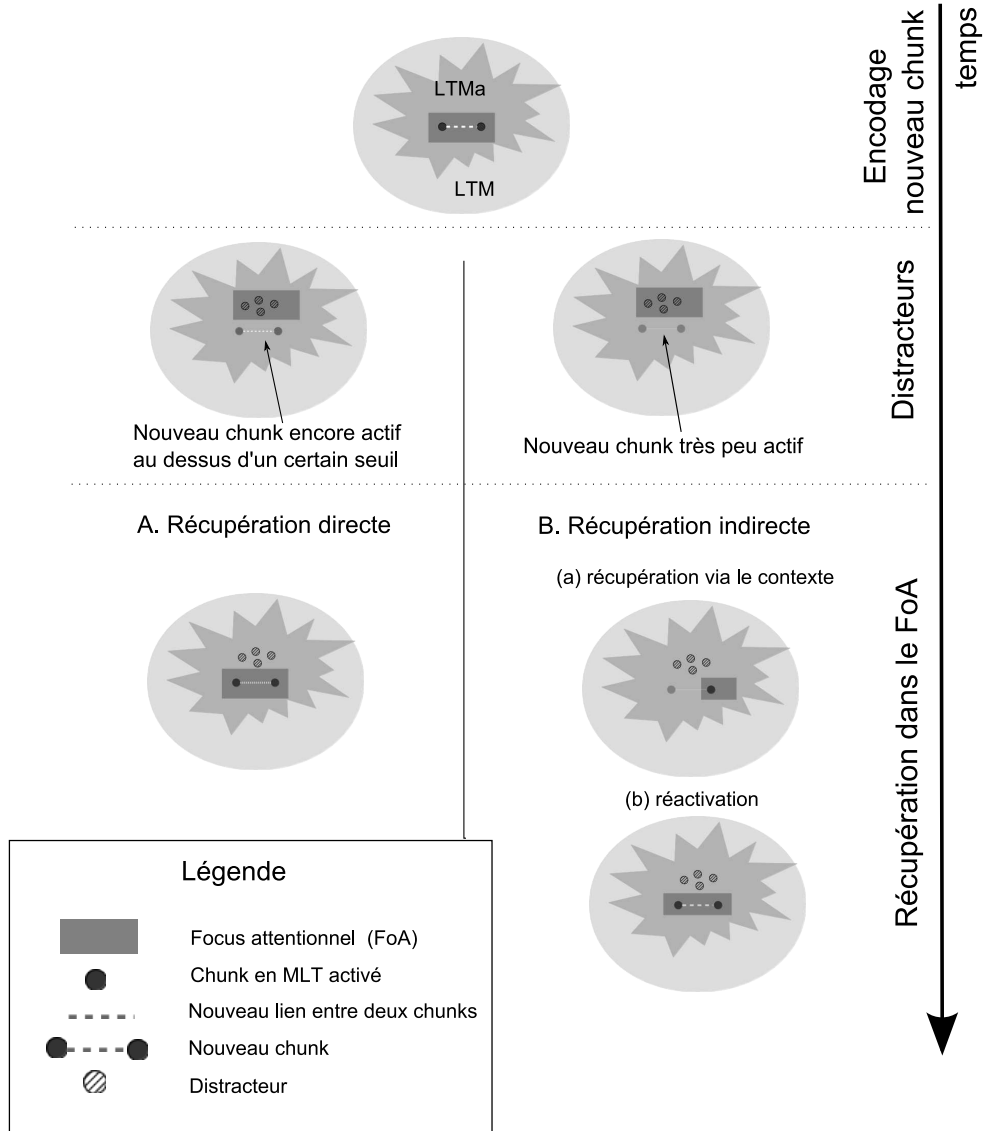


FIGURE 5.13 – Illustration via le modèle de Cowan (1999) des deux mécanismes de récupération de l’information au sein du focus attentionnel. Au départ (schéma du haut), les informations à maintenir (nouveau chunk) sont présentes au sein du focus attentionnel : elles sont donc très rapidement accessibles. Imaginons que des distracteurs soient traités et que le focus attentionnel soit donc déplacé sur ces distracteurs. Après le traitement de ces distracteurs, afin de maintenir les informations de départ, celles-ci vont être ramenées au sein du focus attentionnel. Deux possibilités de récupération sont possibles, selon l’état d’activation des informations. (A) Soit la récupération est directe, car les informations sont encore suffisamment actives. (B) Soit les informations sont trop peu actives et la récupération se fait en deux étapes via l’utilisation d’un contexte, de manière similaire à la récupération à long terme : (a) le focus attentionnel est porté sur le contexte et (b) l’activation du contexte va réactiver le contenu, via le lien entre le contenu et le contexte, pour se trouver au sein du focus attentionnel.

vaient être utilisées par un même participant au cours de l'expérience. Ainsi, il reste une question fondamentale à laquelle de futurs travaux vont devoir répondre : les stratégies consciemment rapportées par les participants correspondent-elles à une composante observable du mécanisme de rafraîchissement attentionnel ? Si tel n'était pas le cas et puisque les participants rapportent par exemple qu'ils « font des histoires avec les mots », alors mesurons-nous réellement le rafraîchissement attentionnel tel que décrit par le modèle TBRS ou celui-ci est-il parasité par de telles stratégies ?

Pour dépasser cette limite, nous proposons deux pistes envisageables. D'une part, nous pourrions tester et contrôler différentes stratégies à suivre durant le temps libre, au sein d'une tâche d'empan complexe, que nous imposerions à différents groupes de participants (facteur inter-groupe) ou à différentes phases de l'expérience pour chaque participant (facteur intra-groupe). Par exemple, une première stratégie serait de faire uniquement de la récapitulation subvocale pendant les phases de temps libre. Cette stratégie pourrait même être subdivisée en différentes stratégies. En effet, nous pouvons récapituler toujours dans l'ordre cumulatif en commençant par le premier item, ou alors par groupe de trois (items 1-2-3 puis 3-4-5), ou seulement le dernier item. Une deuxième stratégie serait de demander aux participants de visualiser les mots en une image (dans ce cas, il serait sûrement nécessaire de bloquer la boucle phonologique). Une troisième stratégie serait de penser au sens des mots et de créer des histoires. Les effets du CC et du nombre de distracteurs pourraient ainsi être analysés en fonction des stratégies de mémorisation utilisées. Est-ce que le CC est sensible à toutes ces stratégies de manière identique ? Et qu'en est-il de l'effet du nombre de distracteurs ? Nous n'avons pas réellement d'hypothèses à ce jour, mais l'étude des stratégies semble une piste intéressante pour mieux comprendre comment nous maintenons les informations (Loaiza & McCabe, 2013 ; Rose et al., 2014 ; Souza et al., 2014).

D'autre part, une autre piste qui permettrait de contrôler les différentes stratégies de mémorisation, serait de comparer les effets de nos variables en utilisant des mots concrets (« ballon ») et des mots abstraits (« vérité »). Les mots abstraits, contrairement aux mots concrets, ne peuvent pas être imagés et la création d'histoires entre des mots abstraits serait bien plus difficile. Cette deuxième solution semble peut être plus adaptée car nous n'avons pas besoin d'imposer de stratégies à des participants, ce qui semble très contraignant.

Notons que l'ajout de contraintes telles que forcer à faire une stratégie ou mémoriser des listes de mots abstraits ou même les tâches d'empan complexes employées dans cette thèse

ne sont pas écologiques. Souvent, en psychologie, un reproche peut être fait sur l'aspect non écologique des tâches et donc la difficulté à relier les résultats expérimentaux à des situations réelles. Il existe déjà des tests écologiques mais ceux-ci ne sont pas adaptés à l'étude précise de mécanismes aussi fins que le *refreshing* nécessitant un contrôle strict du déroulement des tâches et de ce fait un contrôle des processus cognitifs impliqués dans les différentes sous-composantes de la tâche. Ainsi, il serait plus adapté de rendre écologique une tâche d'empan complexe plutôt que de rendre plus contrôlée une tâche écologique. La recherche de tâches plus écologiques serait un axe futur intéressant à développer afin d'entraîner et d'aider les personnes ayant des difficultés de MDT (Portrat, Monfort, Jurcova, Carabellos, & Lemaire, 2017).

Au-delà des stratégies utilisées, il serait également intéressant d'élargir la recherche des liens entre MDT et MLT au sein d'une tâche d'empan complexe avec différents types de stimuli (visuel, auditif, tactile) provenant de différents domaines. Dans cette thèse, nous avons focalisé les recherches sur le domaine verbal et plus spécifiquement sur des mots très fortement reliés à la mémoire à long terme. Qu'en est-il des mécanismes de *covert retrieval* et de *refreshing* sur des stimuli non verbalisables ? Est-ce que ces mécanismes ne seraient pas spécifiques aux informations verbalisables (p.ex. Ricker & Cowan, 2010) ? Des études ont déjà montré que le *refreshing* était applicable au domaine visuel. Cependant, ces mécanismes n'ont pas encore été testés, à ma connaissance, sur des stimuli auditif ou tactile au sein de tâches d'empan complexe. L'étude du mécanisme de *refreshing* et/ou du *covert retrieval* chez les personnes âgées sur différents types de stimuli permettrait également d'étudier la capacité de ces personnes, par rapport aux personnes jeunes, à profiter du temps libre pour transférer des nouvelles informations en mémoire à plus long terme. Cependant, si les items verbaux sont largement plus étudiés dans la littérature c'est bien qu'il y a une raison. En effet, ces stimuli peuvent être rapportés par les participants librement lors de la phase de rappel. Par contre, rapporter le son que l'on a entendu, ou un symbole complexe qui n'a pas de sens, ou la sensation d'un toucher est bien plus complexe. Dans de tels cas, une solution est d'utiliser une tâche de reconnaissance et non de rappel libre. Soit, un item est présenté et le participant doit décider si oui ou non il a vu cet item précédemment (familiarité), soit un ensemble d'items sont présentés à l'écran et le participant doit reproduire, au mieux, les items qu'il a vu dans l'ordre (recollection). Ces différents modes de « rappel » engagent des processus différents dont il faudrait tenir compte si l'on devait comparer entre elles les performances de mémorisation mesurées via ces différentes méthodes.

Pour finir, nous nous interrogeons sur la nécessité de forcer les participants à rappeler les items dans l'ordre, sachant que nous nous intéressons au mécanisme de maintien en MDT et pas spécialement au maintien de l'ordre en mémoire de travail. Cependant, pour pouvoir comparer nos données à celles des modèles nous devons demander aux participants de rappeler les items dans l'ordre car les modèles TBRS\* et SOB-CS ont été conçus pour produire des rappels ordonnés. Les modèles TBRS\* et SOB-CS ne pourraient-ils pas être étendus afin de permettre un choix entre deux types de rappel : libre ou sériel ? Et ne serait-il pas intéressant également de ne pas contraindre les participants à rappeler dans l'ordre en privilégiant donc une tâche de rappel libre ?

## Conclusion

La tâche d'empan complexe est reconnue comme une des mesures phare de la MDT. Cependant, un des résultats de cette thèse montre que, lors du rappel dans une tâche d'empan complexe, les items mémorisés proviendraient à la fois de la MCT et de la MLT. Mais alors, lorsque l'on mesure les performances de rappel dans une tâche d'empan, que mesurons-nous réellement ? Selon mon point de vue actuel, il semblerait que ce qui est mesuré est le résultat d'un travail, via la MDT, ayant permis de transférer le maximum d'information en MLT, afin d'alléger la MCT, qui est limitée. Ainsi, plus le transfert d'éléments en mémoire à long terme est important, plus le nombre d'informations total pouvant être rappelées serait important. La MDT ne serait donc pas une mémoire mais un ensemble de processus traitant les informations, soit celles devant être mémorisées, soit celles devant être traitées. Dans ce cas, le terme mémoire de travail - littéralement mémoire qui travaille pour *working memory*- ne serait pas vraiment adapté. Il serait peut être plus approprié de l'appeler « travail sur les mémoires ». En effet, de mon point de vue, ce système n'est pas une mémoire telle que la MCT et la MLT mais plutôt un ensemble de mécanismes travaillant sur les informations en MCT et permettant la jonction entre MCT et MLT.

*Discussion générale et perspectives*

## Références

- Akaike, H. (1973). *Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle*. (Akademiai éd.; B. N. Petrov & F. Csaki, Eds.). Budapest : Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory.
- Altmann, E. M., & Schunn, C. D. (2012). Decay Versus Interference : A New Look at an Old Interaction. *Psychological Science*, 23(11), 1435–1437.
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An Integrated Theory of the Mind. *Psychological Review*, 111(4), 1036–1060.
- Anderson, J. R., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1996). Working memory : activation limitations on retrieval. *Cognitive psychology*, 30(3), 221–256.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory : A Proposed System and its Control Processes. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, 2(C), 89–195.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The Control Process of Short-Term Memory. *Scientific American*, 225, 82–90.
- Baddeley, A. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), 362-365. (PMID : 5956080)
- Baddeley, A. (1986). Working memory. *Oxford : Clarendon Press*.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer : A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A., Buchanan, M., & Thomson, N. (1975). Word Length and the Structure of Short-Term Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 14(6), 575–589.
- Baddeley, A., Eysenck, M., & Anderson, M. (2015). *Memory*. Taylor & Francis.



- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation : Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47–89). New York : Academic Press.
- Baddeley, A., & Scott, D. (1971). Short term forgetting in the absence of proactive interference. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23(3), 275-283.
- Baddeley, A., & Warrington, E. (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Learning Behavior*, 9, 176–189.
- 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.
- 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.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007). *The time-based resource-sharing model of working memory* (Vol. 455) (N° 1995). Oxford University Press.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2012). As Time Goes By : Temporal Constraints in Working Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 21(6), 413–419.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2014). On the proper reading of the TBRS model : reply to Oberauer and Lewandowsky (2014). *Frontiers in Psychology*, 5(November 2014), 1–3.
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2015). *Working Memory : Loss and Reconstruction*. Psychology Press.
- 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.
- Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the Law Relating Processing to Storage in Working Memory. *Psychological Review*, 118(2), 175–192.
- Barrouillet, P., Portrat, S., Vergauwe, E., Diependaele, K., & Camos, V. (2011). Further Evidence for Temporal Decay in Working Memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, 37(5), 1302–1317.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48.

## Références

- Baumans, C., Adam, S., & Seron, X. (2012, jan). Effect of cognitive load on working memory forgetting in aging. *Experimental Psychology*, 59(6), 311–321.
- Bayliss, D. M., Bogdanovs, J., & Jarrold, C. (2015, may). Consolidating working memory : Distinguishing the effects of consolidation, rehearsal and attentional refreshing in a working memory span task. *Journal of Memory and Language*, 81, 34–50.
- Bjork, R., & Whitten, W. (1974). Recency-Sensitive Retrieval Processes in Long-Term Free Recall. *Cognitive Psychology*, 6, 173–189.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span : A meta-analysis. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 60(5), P223–P233.
- Brown, G. D. A., Hulme, C., & Preece, T. (2000). Oscillator-based memory for serial order. *Psychological Review*, 107, 127–181.
- Brown, G. D. A., Neath, I., & Chater, N. (2007). A Temporal Ratio Model of Memory Gordon. *Psychological review*, 114(3), 539–576.
- Brown, J. (1958). Some tests of the decay theory of immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 10(1), 12-21.
- Burgess, N., & Hitch, G. J. (1999). Memory for serial order : A network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, 106(3), 551–581.
- Burnham, K., & Anderson, D. (2002). Model selection and multi-model inference : A practical information-theoretic approach springer new york google scholar.
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2011, may). Developmental change in working memory strategies : from passive maintenance to active refreshing. *Developmental psychology*, 47(3), 898–904.
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2014, jan). Attentional and non-attentional systems in the maintenance of verbal information in working memory : the executive and phonological loops. *Frontiers in human neuroscience*, 8(November), 900.
- Camos, V., Lagner, P., & Barrouillet, P. (2009). Two maintenance mechanisms of verbal information in working memory. *Journal of Memory and Language*, 61, 457–469.
- Camos, V., Mora, G., & Oberauer, K. (2011, feb). Adaptive choice between articulatory rehearsal and attentional refreshing in verbal working memory. *Memory & cognition*, 39(2), 231–44.
- Camos, V., & Portrat, S. (2015). The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychonomic*

*Bulletin & Review*, 22(4), 1029–1034.

Cantor, J., & Engle, R. W. (1993). Working-Memory Capacity as Long-Term Memory Activation : An Individual-Differences Approach General Capacity Model. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1101–1314.

Case, R. (1974). Structures and strictures : Some functional limitations on the course of cognitive growth. *Cognitive Psychology*, 6(4), 544–574.

Case, R., Kurland, D., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 386–404.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4(1), 55–81.

Chekaf, M. (2017). *Capacité de la mémoire de travail et son optimisation par la compression de l'information* (Thèse de doctorat non publiée). Université de Franche-Comté.

Chekaf, M., Cowan, N., & Mathy, F. (2016). Chunk formation in immediate memory and how it relates to data compression. *Cognition*, 155, 96–107.

Cocchini, G., Logie, R. H., Sala, S. D., MacPherson, S. E., & Baddeley, A. D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks : Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory & Cognition*, 30(7), 1086–1095.

Conrad, R. (1960). Serial Order Intrusions in Immediate Memory. *British Journal of Psychology*, 51(1), 45–48.

Conrad, R. (1964). Acoustic Confusions in Immediate Memory. *British Journal of Psychology*, 55(1), 75–84.

Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks : A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769–786.

Cowan, N. (1992). Verbal memory span and the timing of spoken recall. *Journal of Memory and Language*, 31(5), 668–684.

Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory : Mechanisms of active maintenance and executive control* (p. 62–101). Cambridge University Press.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory : A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.

Cowan, N. (2010). *The Magical Mystery Four : How is Working Memory Capacity Limited,*

## Références

- and Why? *Curr Dir Psychol Sci*, 19(1), 51–57.
- Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic bulletin & review*, 24(4), 1158–1170.
- Cowan, N., Nugent, L. D., Elliott, E. M., & Saults, J. S. (2000). Persistence of memory for ignored lists of digits : areas of developmental constancy and change. *Journal of experimental child psychology*, 76(2), 151–72.
- Craik, F. I. M. (1970). The fate of primary memory items in free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9(2), 143–148.
- Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). *Aging and cognitive deficits : The role of attentional resources* (Aging and éd. ; F. I. M. Craik & S. E. Trehub, Eds.). New York : Plenum Press.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of Processing : A Framework for Memory Research 1. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671–684.
- Da Costa Pinto, A., & Baddeley, A. D. (1991). *Where Did You Park Your Car ? Analysis of a Naturalistic Long-term Recency Effect* (Vol. 3) (N° 3).
- Dagry, I., Vergauwe, E., & Barrouillet, P. (2017). Cleaning working memory : The fate of distractors. *Journal of Memory and Language*, 92, 327–342.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory during reading. *Journal Of Verbal Learning And Verbal Behavior*, 19(4), 450–466.
- Davelaar, E. J., Goshen-Gottstein, Y., Ashkenazi, A., Haarmann, H. J., & Usher, M. (2005). The Demise of Short-Term Memory Revisited : Empirical and Computational Investigations of Recency Effects. *Psychological Review*, 112(1), 3–42.
- De Schrijver, S., & Barrouillet, P. (2017). Consolidation and restoration of memory traces in working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1–7.
- Ebbinghaus, H., Ruger, H. A., & Bussenius, C. E. (1913). Memory : A contribution to experimental psychology. , 20(4), 155–156.
- Ecker, U., Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2014, 1). Working memory updating involves item-specific removal. *Journal of Memory and Language*, 74, 1–15.
- 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. *Models of working memory : Mechanisms of active maintenance and executive control.*, 102–134.

- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102(2), 211–245.
- Fandakova, Y., Sander, M. C., Werkle-Bergner, M., & Shing, Y. L. (2014). Age differences in short-term memory binding are related to working memory performance across the lifespan. *Psychology and Aging*, 29(1), 140–149.
- Fanuel, L., Plancher, G., Monsaingeon, N., Tillman, B., & Portrat, S. (submitted). *Temporal dynamics of maintenance in young and old adults*.
- Farrell, S. (2006). Mixed-list phonological similarity effects in delayed serial recall. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 587–600.
- Farrell, S., & Lewandowsky, S. (2002). An endogenous distributed model of ordering in serial recall. *Psychonomic bulletin & review*, 9(1), 59–79.
- Farrell, S., & Lewandowsky, S. (2011). *Computational modeling in cognition*. Sage Publications Thousand Oaks, Calif.
- Farrell, S., Oberauer, K., Greaves, M., Pasiiecznik, K., Lewandowsky, S., & Jarrold, C. (2016). A test of interference versus decay in working memory : Varying distraction within lists in a complex span task. *Journal of Memory and Language*, 90, 66–87.
- Finke, R. A., & Slayton, K. (1988). Explorations of creative visual synthesis in mental imagery. *Memory & cognition*, 16(3), 252–257.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children : Is there a causal connection? *Journal of Memory and Language*, 29(3), 336–360.
- Gauvrit, N., & Mathy, F. (2016). Mathematical transcription of the ‘time-based resource sharing’ theory of working memory. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, n/a–n/a.
- Gavens, N., & Camos, V. (2006). La mémoire de travail : une place centrale dans les apprentissages scolaires fondamentaux. *Apprentissages et enseignement : Sciences cognitives et éducation*(January), 91–106.
- Glanzer, M. (1972). Storage mechanisms in recall. *Psychology of learning and motivation*, 5,

## Références

- 129–193.
- Glanzer, M., & Cunitz, A. R. (1966). Two storage mechanisms in free recall. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 5(4), 351–360.
- Guida, A., Gobet, F., & Nicolas, S. (2013). Functional cerebral reorganization : a signature of expertise ? Reexamining Guida, Gobet, Tardieu, and Nicolas' (2012) two-stage framework. *Frontiers in human neuroscience*, 7.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). *Inhibitory control, circadian arousal, and age*. The MIT Press.
- Hatano, G., & Osawa, K. (1983). Digit memory of grand experts in abacus-derived mental calculation. *Cognition*, 15(1-3), 95–110.
- Hedden, T., & Park, D. (2001). Aging and interference in verbal working memory. *Psychology and Aging*, 16(4), 666–681.
- Henson, R. N. A. (1998). Short-term memory for serial order : The start-end model. *Cognitive psychology*, 36(2), 73–137.
- Henson, R. N. A. (1999, 01 Sep). Positional information in short-term memory : Relative or absolute ? *Memory & Cognition*, 27(5), 915–927.
- Hoareau, V., Lemaire, B., Portrat, S., & Plancher, G. (2015). Reconciling two computational models of working memory in aging. , 130–135.
- Hoareau, V., Portrat, S., Oberauer, K., Lemaire, B., Plancher, G., & Lewandowsky, S. (2017). *Computational and behavioral investigations of the sob-cs removal mechanism in working memory*. In Proceedings of the 39th Annual Meeting of the Cognitive Science Society.
- Hudjetz, A., & Oberauer, K. (2007). The effects of processing time and processing rate on forgetting in working memory : Testing four models of the complex span paradigm. *Memory & Cognition*, 35(7), 1675–1684.
- Hull, A. (1973). A letter-digit matrix of auditory confusions. *British Journal of Psychology*, 64(4), 579–585.
- Hulme, C., Roodenrys, S., Schweickert, R., Brown, G. D. A., Martin, M., & Stuart, G. (1997). Word-frequency effects on short-term memory tasks : evidence for a reintegration process in immediate serial recall. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 23(5), 1217–1232.
- Hurlstone, M. J., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2014). Memory for serial order across

- domains : An overview of the literature and directions for future research. *Psychological bulletin*, 140(2), 339–73.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York, NY, US : Holt.
- Jarjat, G., Hoareau, V., Plancher, G., Hot, P., Lemaire, B., & Portrat, S. (submitted). *What makes working memory traces stable over time ? evidence from distractors and cognitive load effects*.
- Johnson, M. K. (1992). *MEM : Mechanisms of Recollection* (Vol. 4) (N° 3).
- Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Raye, C. L., & Greene, E. J. (2004). An age-related deficit in prefrontal cortical function associated with refreshing information. *Psychological science*, 15(2), 127–32.
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Mitchell, K. J., Greene, E. J., Cunningham, W. A., & Sanislow, C. A. (2005). Using fMRI to investigate a component process of reflection : Prefrontal correlates of refreshing a just-activated representation. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5(3), 339–361.
- 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.
- Jolicoeur, P., & Dell’Acqua, R. (1998, jul). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive psychology*, 36(2), 138–202.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The Generality of Working Memory Capacity : A Latent-Variable Approach to Verbal and Visuospatial Memory Span and Reasoning. *Journal of Experimental Psychology : General*, 133(2), 189–217.
- Keppel, G., & Underwood, B. J. (1962). Proactive inhibition in short-term retention of single items. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1(3), 153–161.
- Landauer, T. (1962). Rate of implicit speech. *Perceptual and motor skills*.
- Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2017). What is the time course of working memory attentional refreshing ? *Psychonomic Bulletin & Review*.
- Lewandowsky, S., Duncan, M., & Brown, G. D. A. (2004). Time does not cause forgetting in short-term serial recall. *Psychonomic bulletin & review*, 11(5), 771–790.
- Lewandowsky, S., & Farrell, S. (2008). Short-term memory : New data and a model. *The psychology of learning and motivation*, 49, 1–48.

## Références

- Lewandowsky, S., & Murdock, B. B. (1989). Memory for serial order. *Psychological Review*, 96(1), 25–57.
- Lewandowsky, S., & Oberauer, K. (2015). Rehearsal in Serial Recall : An Unworkable Solution to the Nonexistent Problem of Decay. *Psychological Review*, 122(4), 674–699.
- Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Brown, G. D. A. (2009a). No temporal decay in verbal short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*.
- Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Brown, G. D. A. (2009b). *Response to Altmann : Adaptive forgetting by decay or removal of STM contents ?* (Vol. 13) (N° 7).
- Loaiza, V. M., Duperreault, K. A., Rhodes, M. G., & McCabe, D. P. (2014). Long-term semantic representations moderate the effect of attentional refreshing on episodic memory. *Psychonomic bulletin & review*.
- 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.
- 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.
- Loaiza, V. M., McCabe, D. P., Youngblood, J. L., Rose, N. S., & Myerson, J. (2011). The influence of levels of processing on recall from working memory and delayed recall tasks. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 37(5), 1258–1263.
- Loaiza, V. M., & Oberauer, K. (2016). *Working Memory in Older Age*. Springer.
- Logie, R. H., & Morris, R. G. (Eds.). (2015). *Working memory and ageing*. Psychology Press.
- Lovett, M. C., Daily, L. Z., & Reder, L. M. (2000). A source activation theory of working memory : cross-task prediction of performance in ACT-R. *Cognitive Systems Research*, 1(2), 99–118.
- Luo, L., & Craik, F. I. (2008). Aging and Memory : A Cognitive Approach. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 53(6), 346–353.
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature neuroscience*, 17(3), 347–56.
- Mathy, F., & Feldman, J. (2012). What’s magic about magic numbers? Chunking and data compression in short-term memory. *Cognition*, 122(3), 346–362.



- Mazerolle, M. J. (2017). Aiccmoavg : Model selection and multimodel inference based on (q)aic(c) [Manuel de logiciel]. (R package version 2.1-1)
- 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.
- Mcgeoch, J. A. (1932). Forgetting and the law of disuse. *Psychological Review*, 39(4), 352–370.
- McKeown, D., & Mercer, T. (2012). Short-term forgetting without interference. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 38(4), 1057–1068.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two : some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81–97. Consulté sur papers3://publication/uuid/9D829293-04E4-4BB7-8B3B-1E868E1EC915
- Miller, G., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). Plans and the structure of behavior. *Journal of the Operational Research Society*, 19(3), 338–340.
- Mora, G., & Camos, V. (2013). Two Systems of Maintenance in Verbal Working Memory : Evidence from the Word Length Effect. *PLoS ONE*, 8(7).
- Morey, R. D. (2008). Confidence intervals from normalized data : A correction to Cousineau (2005). *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4, 61-64.
- Mueller, S. T., Seymour, T. L., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2003). Theoretical Implications of Articulatory Duration, Phonological Similarity, and Phonological Complexity in Verbal Working Memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 29(6), 1353–1380.
- Murdock, B. B. (1962). The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 64(5), 482–488.
- Nairne, J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory and Cognition*, 18(3), 251–269.
- Nairne, J. S. (2002). Remembering Over the Short-Term : The Case Against the Standard Model. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 53–81.
- Naveh-Benjamin, M., & Jonides, J. (1984). Maintenance rehearsal : A two-component analysis. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 10(3), 369–385.
- Neath, I., & Brown, G. D. A. (2012). Arguments against memory trace decay : A SIMPLE account of Baddeley and Scott. *Frontiers in Psychology*, 3(FEB), 2–4.
- Nee, D. E., Berman, M. G., Moore, K. S., & Jonides, J. (2008). Neuroscientific Evidence About

## Références

- the Distinction Between Short- and Long-Term Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 102–106.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet : Lexique<sup>TM</sup>//a lexical database for contemporary french : Lexique<sup>TM</sup>. *L'année psychologique*, 101(3), 447–462.
- Newell, A., & Simon, H. (1956). The Logic Theory Machine : A Complex Information Processing System. *IRE Transactions on Information Theory*, 2(3), 61–79.
- Norman, D., & Shallice, T. (1980). *Attention to action : willed and automatic control of behaviour* (R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro, Eds.). Plenum Press, New York.
- Oberauer, K. (2001). Removing irrelevant information from working memory : a cognitive aging study with the modified Sternberg task. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 27(4), 948–957.
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory : exploring the focus of attention. *Journal of experimental psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 411–421.
- Oberauer, K. (2009). Interference between storage and processing in working memory : Feature overwriting, not similarity-based competition. *Memory & cognition*, 37(3), 346–357.
- Oberauer, K., Farrell, S., Jarrold, C., & Lewandowsky, S. (2016). What limits working memory capacity? *Psychological Bulletin*, 142(7), 758–799.
- Oberauer, K., Farrell, S., Jarrold, C., Pasicznik, K., & Greaves, M. (2012). Interference between maintenance and processing in working memory : The effect of item–distractor similarity in complex span. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 38(3), 665–685.
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 601–626.
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2008, jul). Forgetting in immediate serial recall : decay, temporal distinctiveness, or interference? *Psychological review*, 115(3), 544–76.
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2011). Modeling working memory : a computational implementation of the Time-Based Resource-Sharing theory. *Psychonomic bulletin & review*, 18(1), 10–45.
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2014, may). Further evidence against decay in working

- memory. *Journal of Memory and Language*, 73(1), 15–30.
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012, oct). Modeling working memory : an interference model of complex span. *Psychonomic bulletin & review*, 19(5), 779–819.
- Page, M. P. A., & Norris, D. (1998). The Primacy Model : A New Model of Immediate Serial Recall. *Psychological Review*, 105(4), 761–81.
- Pashler, H. (1998). *Attention*. Psychology Press.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics : Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437–442.
- Peterson, L., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58(3), 193–198.
- Plancher, G., & Barrouillet, P. (2012). Forgetting From Working Memory : Does Novelty Encoding Matter? *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 39(1), 110–125.
- Plancher, G., Boyer, H., Lemaire, B., & Portrat, S. (2017). Under Which Conditions Can Older Participants Maintain Information In Working Memory? *Experimental Aging Research*, 0, 1–21.
- Portrat, S. (2008). *Mémoire de Travail et Fonctions Exécutives : l'Apport du Modèle de Partage Temporel des Ressources* (Thèse de doctorat non publiée).
- Portrat, S., Barrouillet, P., & Camos, V. (2008). Time-related decay or interference-based forgetting in working memory? *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 34(6), 1561–1564.
- Portrat, S., Guida, A., Phénix, T., & Lemaire, B. (2016). Promoting the experimental dialogue between working memory and chunking : Behavioral data and simulation. *Memory & Cognition*, 44, 420–434.
- Portrat, S., & Lemaire, B. (2015). Is Attentional Refreshing in Working Memory Sequential? A Computational Modeling Approach. *Cognitive Computation*, 7(3), 333–345.
- Portrat, S., Monfort, E., Jurcova, M., Carabellos, E., & Lemaire, B. (2017). Des outils adaptés et contextualisés pour l'entraînement de la mémoire de travail des seniors..
- Pratt, C. C. (1936). The law of disuse. *Psychological Review*, 43(1), 83–93.
- Ranganath, C., & Blumenfeld, R. S. (2005). Doubts about double dissociations between short-

## Références

- and long-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(8), 374–380.
- Rastle, K., Harrington, J., & Coltheart, M. (2002). 358,534 nonwords : The ARC Nonword Database. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55(A), 1339–1362.
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Reeder, J. A., & Greene, E. J. (2002). Neuroimaging a Single Thought : Dorsolateral PFC Activity Associated with Refreshing Just-Activated Information. *NeuroImage*, 15(2), 447–453.
- Ricker, T. J. (2015). The Role of Short-term Consolidation in Memory Persistence. *AIMS Neuroscience*, 2(4), 259–279.
- 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.
- Ricker, T. J., & Cowan, N. (2014). Differences between presentation methods in working memory procedures : a matter of working memory consolidation. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 40(2), 417–28.
- Ricker, T. J., Vergauwe, E., & Cowan, N. (2014, may). Decay theory of immediate memory : From Brown (1958) to today (2014). *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(September), 37–41.
- Rose, N. S., Buchsbaum, 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, 689–700.
- 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.
- Rose, N. S., LaRocque, J., Riggall, A., Gosseries, O., Starrett, M., E. Meyering, E., & Postle, B. (2016, 12). Reactivation of latent working memories with transcranial magnetic stimulation. , 354.
- Rose, N. S., Myerson, J., Roediger III, H. L., & Hale, S. (2010). Similarities and Differences Between Working Memory and Long - Term Memory : Evidence From the Levels - of - Processing Span Task. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 36(2), 471–483.
- Salthouse, T. A. (1994). The Aging of Working Memory. *Neuropsychology*, 8(4), 535–543.

- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*(3), 403–428.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2012). E-prime user's guide.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing : an individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology : General*, *125*(1), 4–27.
- 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.
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures : Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology : Human Learning & Memory*, *6*(2), 174–215.
- Souza, A. S., & Oberauer, K. (2017). Time to process information in working memory improves episodic memory. *Journal of Memory and Language*, *96*, 155–167.
- Souza, A. S., Rerko, L., & Oberauer, K. (2014). Unloading and Reloading Working Memory : Attending to One Item Frees Capacity. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception & Performance*, *40*(3), 1237–1256.
- 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.
- Sternberg, S. (1969). *Memory-scanning : mental processes revealed by reaction-time experiments*. (Vol. 57) (N° 4).
- Sun, R. (2008). *The Cambridge handbook of computational psychology* (Vol. 54; R. Sun, Ed.) (N° 2). Cambridge University Press.
- Süß, H. M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability - And a little bit more. *Intelligence*, *30*(3), 261–288.
- Tan, L., & Ward, G. (2008). Rehearsal in immediate serial recall. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*(3), 535–542.
- Team, R. C. (2012). *Ra language and environment for statistical computing (version version*

## Références

- 0.97. 316). vienna, austria : R foundation for statistical computing.
- Thorndike, E. (1913). *Educational Psychology*. Teachers College, Columbia University.
- Towse, J. N., & Hitch, G. J. (1995). Is there a Relationship between Task Demand and Storage Space in Tests of Working Memory Capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 48(1), 108–124.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2000). On the interpretation of working memory span in adults. *Memory & cognition*, 28(3), 341–348.
- Tzeng, O. J. L. (1973). Positive recency effect in a delayed free recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12(4), 436–439.
- Uittenhove, K., & Barrouillet, P. (2016). Reconstruction in working memory. In *Ewoms (european working memory symposium)*. Liège (Belgium), September 16.
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity : Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114, 104–132.
- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention : Dissociations of availability and accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15(6), 703–724.
- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological science : a journal of the American Psychological Society / APS*, 21(3), 384–390.
- 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.
- 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.
- Vergauwe, E., & Langerock, N. (2017). Attentional refreshing of information in working memory : Increased immediate accessibility of just-refreshed representations. *Journal of Memory and Language*, 96, 23–35.
- Verhaeghen, P. (2011, may). Aging and Executive Control : Reports of a Demise Greatly Exaggerated. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 174–180.

- Ward, G., & Maylor, E. A. (2005). Age-related deficits in free recall : The role of rehearsal. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A : Human Experimental Psychology*, 58(1), 98–119.
- Wilhelm, O., Hildebrandt, A., & Oberauer, K. (2013). What is working memory capacity, and how can we measure it? *Frontiers in Psychology*, 4.
- Wixted, J. T. (2005). A theory about why we forget what we once knew. *Current Directions in Psychological Science*, 14(1), 6–9.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2009). Sudden death and gradual decay in visual working memory. *Psychological science*, 20(4), 423–8.







# Table des figures

1.1	Murdock (1962) . . . . .	16
1.2	Atkinson et Shiffrin (1971) . . . . .	20
1.3	Cowan (2017) . . . . .	22
1.4	Baddeley (2000) . . . . .	27
1.5	Illustration de la tâche d'empan complexe . . . . .	30
1.6	Barrouillet, Portrat, Vergauwe, et al. (2011) . . . . .	36
1.7	Barrouillet, Portrat et Camos (2011) . . . . .	36
1.8	Oberauer et al. (2016) . . . . .	39
1.9	Analogie de l'imprimante pour illustrer l'interférence par superposition . . . . .	42
1.10	Présentation des différents mécanismes de maintien . . . . .	46
1.11	Vergauwe et al. (2014) . . . . .	52
1.12	Vergauwe et al. (2014) . . . . .	53
1.13	Loaiza (2017, Ovronnaz, Suisse) . . . . .	62
1.14	De Schrijver et Barrouillet (2017) . . . . .	63
2.1	Le modèle passe la même expérience que les participants . . . . .	70
2.2	Illustration des différences entre les modèles de Case, de Towse et Hitch et de Barrouillet et Camos . . . . .	75
2.3	Barrouillet et Camos (2015) . . . . .	77
2.4	Représentation schématique de l'architecture du modèle TBRS* . . . . .	82
2.5	Croissance exponentielle de l'activation des liens $\eta$ en fonction du temps dans TBRS* . . . . .	84
3.1	Oberauer, Farrell, et al. (2012) . . . . .	114

*TABLE DES FIGURES*

3.2	Illustration de l'interaction entre l'effet de similarité et l'effet du temps libre . . .	115
3.3	Proportion de réponses correctes . . . . .	119
3.4	Proportion d'intrusions de distracteur . . . . .	120
3.5	Pourcentage d'intrusions de distracteur selon la position relative (SOB-CS) . . .	121
3.6	Proportion d'intrusions de NPL . . . . .	122
3.7	Proportion d'erreurs de transposition . . . . .	123
3.8	Pourcentage d'intrusions de distracteur selon la position relative (participants) .	127
3.9	RMSE en fonction des valeurs de $r$ . . . . .	130
3.10	Pourcentage d'intrusions de distracteur selon la position relative (SOB-CS avec $r = 0.1$ ) . . . . .	131
4.1	Oberauer et Lewandowsky (2011) . . . . .	139
4.2	Oberauer et Lewandowsky (2011) et de Oberauer, Lewandowsky et al. (2012) .	141
4.3	Pourcentage moyen de réponses correctes en fonction du rythme (à gauche) et en fonction du nombre de lettres (à droite) pour les données simulées par les modèles SOB-CS, TBRs* et TBRs* <sub>laf</sub> . . . . .	144
4.4	Pourcentage moyen de réponses correctes prédit par les modèles . . . . .	145
4.5	Pourcentage moyen de réponses correctes prédit par SOB-CS . . . . .	146
4.6	Design expérimental . . . . .	148
4.7	Cheat sheet de Felix Schönbrodt . . . . .	152
4.8	Résultats expérience 1 . . . . .	153
4.9	Résultats expérience 2 . . . . .	155
4.10	Rappel différé de l'expérience 3 . . . . .	167
4.11	Rappel immédiat de l'expérience 3 . . . . .	169
4.12	Proportion des réponses $TT$ , $TF$ , $FT$ et $TF$ . . . . .	172
4.13	Rappel $TT$ selon le temps libre cumulé . . . . .	173
4.14	Effet du nombre de distracteurs (PE pour <i>processing episodes</i> sur le graphique) dans une tâche d'empan complexe selon le type de stimuli à mémoriser. Schéma repris de Uittenhove et Barrouillet (2016). . . . .	178
4.15	Rappel correct ordonnée selon la position sérielle(participants) . . . . .	183
4.16	Rappel correct non ordonnée selon la position sérielle(participants) . . . . .	183
4.17	Omission selon la position sérielle(participants) . . . . .	184

TABLE DES FIGURES

4.18	Transposition selon la position sérielle(participants) . . . . .	184
4.19	Rappel (correct, omission, transposition) selon la position sérielle (SOB-CS) . .	186
4.20	Rappel (correct, omission, transposition) selon la position sérielle (TBRS*) . .	188
4.21	Rappel (correct, omission, transposition) selon la position sérielle (TBRS* <sub>laf</sub> ) .	190
5.1	Rappel immédiat de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	203
5.2	Rappel différé de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	204
5.3	Rappel <i>TT</i> de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	206
5.4	Rappel <i>TF</i> de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	207
5.5	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRS* et les données comportementales projetées selon le paramètre $\sigma$ . . . . .	218
5.6	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRS* et les données comportementales projetées selon le paramètre $T_r$ . . . . .	218
5.7	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRS* et les données comportementales projetées selon le paramètre $D$ . . . . .	219
5.8	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle TBRS* et les données comportementales projetées selon le paramètre $R$ . . . . .	220
5.9	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre $No$ . . . . .	220
5.10	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre $c$ . . . . .	221
5.11	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre $r$ . . . . .	222
5.12	Boîtes à moustache de tous les RMSE entre le modèle SOB-CS et les données comportementales projetées selon le paramètre $R$ . . . . .	222
5.13	Illustration des deux mécanismes de récupération de l'information au sein du focus attentionnel . . . . .	238

*TABLE DES FIGURES*



*TABLE DES FIGURES*

# Liste des tableaux

2.1	Récapitulatif des différentes fonctions du modèle TBRS*	83
2.2	Récapitulatif des différentes fonctions du modèle SOB-CS	93
2.3	Récapitulatif des similarités et des différences entre TBRS* et SOB-CS	100
3.1	Schémas et exemples d'une séquence de liste en condition similaire et en condition dissimilaire	118
4.1	Valeurs des paramètres libres du modèle TBRS*	143
4.2	Valeurs des paramètres libres du modèle SOB-CS	143
4.3	Valeurs des paramètres d'entrée données aux modèles TBRS* et SOB-CS pour les expériences 1 et 2.	144
4.4	Résultats expérience 1	154
4.5	Résultats expérience 2	154
4.6	Récapitulatif des prédictions des modèles TBRS*, SOB-CS et TBRS	156
4.7	Revue de la littérature	160
4.8	Rappel différé de l'expérience 3	168
4.9	Rappel immédiat de l'expérience 3	168
4.10	Les quatre types de classes de rappel créés	170
4.11	Rappel <i>TF</i>	171
4.12	Rappel <i>TT</i>	171
4.13	<i>TT</i> selon le temps libre cumulé	173
5.1	Rappel immédiat de l'expérience 3 (PA et PJ)	203
5.2	Rappel différé de l'expérience 3 (PA et PJ)	205



*LISTE DES TABLEAUX*

5.3	Rappel <i>TT</i> de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	205
5.4	Rappel <i>TF</i> de l'expérience 3 chez les PJ et les PA . . . . .	207
5.5	Valeurs des paramètres d'entrée donnés aux modèles TBRS* et SOB-CS pour l'expérience 3.1 chez les PA et chez les PJ. . . . .	216
5.6	Valeurs des paramètres d'entrée données aux modèles TBRS* et SOB-CS pour les expériences 1 et 2. . . . .	217

# **Annexes**



# Annexe 1

## Les 4 essais d'entraînement avant de commencer l'expérience

1	noab	poab	zoab	neej	peej	reej
	cung	jung	nung	pujn	rurn	surj
	woke	tess	rowt	nuip		
2	gowl	fuij	juip	vuck	kowt	mowt
	garp	cess	pejj	haib	loke	noke
	powl	nuck	jarp	daib		
3	wuck	zuck	huck	parl	tarl	warl
	holl	joll	woll	fent	yent	zent
	tair	rump	bwel	hoth		
4	sipe	coth	foth	juff	pewl	dwel
	ganx	cump	lump	jisc	gair	nair
	zipe	zuff	panx	pisc		

**30 groupes (pour les 30 essais) composés de 8 groupes de 3 non-mots qui rhyment permettant de générer aléatoirement des listes selon la condition de similarité**

1	nood	pood	zood	leck	meck	veck
	doit	joit	moit	dizz	gizz	rizz
	goam	poam	yoam	dall	jall	nall
	bune	cune	nune	derb	ferb	jerb
2	fock	gock	vock	cabe	dabe	jabe
	ceeb	feeb	neeb	kirp	mirp	lirp
	cume	hume	jume	sawl	vawl	zawl
	blyd	clyd	flyd	hegg	wegg	yegg
3	barp	farp	marp	blit	klit	plit
	boul	goul	toul	murd	rurd	zurd
	pame	wame	bame	cuik	luik	muik
	heaf	seaf	teaf	klex	plex	slex
4	pode	vode	yode	kank	vank	zank
	chab	clab	snab	pawm	lawm	yawm
	koun	moun	voun	reeg	teeg	veeg
	dyss	nyss	vyss	rozz	lozz	mozz
5	klud	plud	slud	nimb	pimb	zimb
	laum	saum	vaum	jang	nang	vang
	heek	jeek	neek	beff	heff	leff
	celc	felc	gelc	bynx	hynx	nynx
6	vunt	yunt	zunt	hawf	dawf	pawf
	blee	klee	slee	xave	zave	jave
	demb	lemb	memb	voom	joom	goom
	pice	wice	zice	tegg	fegg	jegg
7	jofe	nofe	pofe	gubb	lubb	yubb
	zild	nild	yild	mave	tave	yave
	krec	brec	drec	kwea	swea	rwea
	jeej	keej	leej	weng	deng	peng

<b>8</b>	jook	mook	pook	klib	slib	plib
	beve	geve	yeve	beng	geng	seng
	hoyt	joyt	loyt	ruzz	cuzz	guzz
	kess	sess	zess	larf	darf	garf
<b>9</b>	koof	noof	voof	lonc	monc	ponc
	pive	yive	zive	mawl	xawl	yawl
	jebb	mebb	pebb	dupt	jupt	wupt
	cazz	dazz	pazz	cimp	dimp	vimp
<b>10</b>	poob	moob	roob	tran	dran	pran
	foyt	poyt	toyt	nive	wive	kive
	zaff	jaff	maff	ronk	tonk	zonk
	kule	nule	sule	degg	negg	zegg
<b>11</b>	soob	toob	yoob	guel	kuel	luel
	suzz	vuzz	yuzz	tove	vove	zove
	clym	flym	glym	lurt	nurt	vurt
	vike	wike	zike	daip	faip	maip
<b>12</b>	veaf	yeaf	zeaf	dosc	hosc	tosc
	gupt	rupt	tupt	kong	vong	zong
	fieb	lieb	vieb	geej	heej	meej
	myze	nyze	zyze	saip	yaip	zaip
<b>13</b>	darb	farb	narb	cout	fout	vout
	gomp	nomp	yomp	bece	dece	hece
	wuzz	huzz	juzz	cofe	dofe	gofe
	juth	nuth	yuth	jing	ning	hing
<b>14</b>	boab	coab	goab	fyme	hyme	nyme
	cile	hile	zile	voze	zoze	goze
	furt	yurt	zurt	bamp	namp	mamp
	gewc	sewc	tewc	delm	felm	selm
<b>15</b>	noyt	royt	zoyt	hean	nean	yean
	yemp	vemp	zemp	huve	juve	puve
	carc	rarc	sarc	dobe	fobe	kobe
	jece	kece	vece	cong	jong	mong
<b>16</b>	perb	terb	zerb	veej	weej	zeej
	woyt	yoyt	goyt	coge	moge	hoge
	fung	wung	zung	pake	vake	yake
	cewl	hewl	sewl	duip	muip	tuip
<b>17</b>	dape	fape	hape	cimb	mimb	fimb
	cagg	vagg	yagg	poff	roff	moff
	hurk	zurk	yurk	beel	yeel	jeel
	lond	jond	gond	baim	paim	waim
<b>18</b>	jeik	peik	zeik	paff	raff	vaff
	neen	veen	peen	celb	felb	yelb
	flod	glod	blod	vull	yull	wull
	tuid	zuid	duid	zane	yane	gane
<b>19</b>	nurb	surb	yurb	bome	gome	yome
	cipe	fipe	vipe	hynk	bynk	jynk
	peff	teff	veff	foat	joat	poat
	nawl	jawl	lawl	ronc	tonc	zonc

<b>20</b>	baff	daff	haff	cebe	febe	jebe
	boyt	doyt	xoyt	yoov	noov	toov
	beej	deej	feej	goss	hoss	joss
	vurn	zurn	turn	fuic	huic	muic
<b>21</b>	boun	woun	poun	bebb	cebb	hebb
	hauf	mauf	cauf	vark	wark	jark
	roid	toid	woid	dool	mool	nool
	bimp	fimp	mimp	bult	gult	mult
<b>22</b>	muzz	luzz	duzz	jidd	nidd	widd
	vowt	zowt	jowt	gope	vope	zope
	mieb	pieb	rieb	leam	veam	jeam
	helc	selc	telc	gaun	jaun	raun
<b>23</b>	dusp	husp	rusp	laab	jaab	maab
	zame	rame	vame	dilc	kilc	wilc
	zoke	voke	roke	nurl	surl	turl
	kesh	tesh	resh	sowt	wowt	yowt
<b>24</b>	pobb	wobb	zobb	huig	wuig	tuig
	nuch	zuch	fuch	droy	froy	groy
	fint	cint	rint	panc	ganc	vanc
	foap	voap	joap	belm	telm	welm
<b>25</b>	jewc	mewc	kewc	durn	gurn	hurn
	foop	moop	voop	duig	fuig	muig
	foge	joge	soge	fidd	tidd	pidd
	jush	nush	yush	dreb	treb	preb
<b>26</b>	noin	roin	toin	beab	feab	geab
	buce	face	nuce	narp	sarp	yarp
	herk	nerk	zerk	giss	riss	tiss
	cose	vose	mose	fraw	praw	draw
<b>27</b>	hiln	miln	siln	crob	drob	trob
	fube	wube	yube	mawk	sawk	nawk
	graz	praz	traz	feme	jeme	neme
	ciff	fiff	ziff	trux	brux	prux
<b>28</b>	fozz	gozz	kozz	buke	cuke	fuke
	laul	vaul	zaul	yunx	kunx	nunx
	tate	vate	zate	cibe	hibe	mibe
	bown	fown	pown	ceef	deef	neef
<b>29</b>	wock	zock	yock	laib	taib	vaib
	sint	nint	gint	hawp	rawp	fawp
	cuch	vuch	guch	vell	zell	nell
	fuiz	puiz	vuiz	hace	vace	tace
<b>30</b>	moyt	voyt	soyt	nuzz	tuzz	puzz
	fyng	gyng	hyng	goxe	voxe	doxe
	heab	jeab	keab	bafe	rafe	lafe
	cike	fike	jike	muge	ruge	tuge

## Annexe 2

### 27 listes de mots et d'images pour l'expérience 1 du chapitre 4

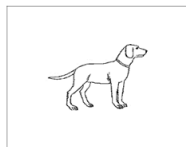
armoire	savon	rose	assiette	tambour	évier	croissant
fil	casque	montre	hibou	culotte	short	lapin
télé	banane	kangourou	carotte	nuage	bonbon	bébé
avion	louche	camion	femme	chaise	tulipe	neige
échelle	piano	cartes	bouton	bougie	scie	fusée
tente	collier	frigo	pomme	lion	vélo	oeil

pinceau	noix	fraise	genou	nez	ballon	guitare
buffet	cahier	pull	pluie	oeuf	table	robot
gant	bras	bassine	ceinture	boite	bague	banc
maison	chemise	perroquet	grille-pain	voiture	âne	canapé
fourmi	ampoule	bureau	girafe	raisin	ananas	botte
lac	souris	jambe	poire	coccinelle	chapeau	daim

vis	feutre	bouée	ciseaux	dentifrice	beurre	doigt
bus	escargot	planche	chien	moufle	trompette	roue
bonnet	bol	plat	poubelle	cuillère	igloo	sapin
commode	palmier	aquarium	tee-shirt	hache	singe	pyjama
canard	main	nid	train	cygne	chaussure	tarte
usine	orange	ours	yaourt	garçon	soleil	tampon

orteils	cabane	stylo	lit	lèvres	os
pantalon	perceuse	fauteuil	coq	marionnette	tracteur
vache	moto	baignoire	fougère	tondeuse	dé
skis	étoile	route	marteau	fromage	grand-père
citron	niche	pied	poupée	homme	crayon
peigne	tasse	autruche	voilier	clou	noisette

#### Exemples d'images



## Annexe 3

### 36 listes de mots et d'images pour l'expérience 2 du chapitre 4

armoire	savon	rose	assiette	tambour	évier	croissant
filles	casque	montre	hibou	culotte	poule	lapin
télé	banane	kangourou	carotte	nuage	bonbon	bébé
avion	louche	camion	femme	chaise	tulipe	neige
échelle	piano	cartes	bouton	bougie	scie	fusée
tente	collier	frigo	pomme	lion	vélo	oeil

pinceau	lunettes	éléphant	verre	noix	fraise	genou
pingouin	pain	fleur	pince	cahier	pull	pluie
gant	légo	lampe	biberon	bûches	bassine	ceinture
maison	vase	batteur	livre	chemise	perroquet	grille-pain
fourmi	renard	serviette	robe	ampoule	bureau	girafe
lac	rôti	luge	ananas	souris	jambe	poire

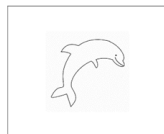
nez	ballon	guitare	short	feutre	bouée	fenêtre
oeuf	table	robot	bus	escargot	planche	mouton
boite	bague	poêle	bonnet	bol	plat	bras
voiture	âne	canapé	commode	palmier	aquarium	marelle
raisin	saucisson	botte	canard	main	nid	jupe
coccinelle	chapeau	daim	usine	orange	ours	horloge

blouson	basket	ciseaux	lèvres	dentifrice	beurre	doigt
serpent	zèbre	chien	marionnette	moufle	trompette	roue
pêche	miroir	poubelle	tondeuse	cuillère	igloo	sapin
but	porte	tee-shirt	fromage	feuille	singe	pyjama
salade	laine	train	homme	cygne	chaussure	tarte
dauphin	cheminée	yaourt	clou	garçon	soleil	tampon

os	orteils	bavette	stylo	lit	loup	cabane
tracteur	pantalon	perceuse	fauteuil	coq	gateau	panier
mouche	vache	moto	baignoire	fougère	téléphone	skate
grand-père	skis	étoile	route	marteau	fourchette	balai
crayon	citron	niche	ped	poupée	clé	prise
noisette	peigne	tasse	autruche	voilier	banc	oiseau

confiture
écharpe
cadeau
arbre
plume
cintre

#### Exemples d'images





## Annexe 4

### 20 listes de mots pour l'expérience 3 du chapitre 4

ampoule	chapeau	pingouin	argile	parfum
bonnet	maison	poupée	stylo	flocon
carotte	panier	anneau	félin	manoir
fougère	piano	bambou	harpon	légume
cigare	armure	cheveu	laitue	totem
genou	banane	façade	nuage	yéti

arche	sofa	piston	compas	momie
fauteuil	balai	hibou	gésier	saumon
cerise	cheval	chemin	palace	nougat
hélice	glaçon	miroir	podium	girafe
lingot	melon	orteil	tomate	cousin
tendon	toupie	têtard	violon	vipère

rose	homard	cognac	sorbet	râteau
savon	pinçon	damier	pépite	alcool
cigale	acier	gâteau	bagage	bâton
cumin	cactus	jaguar	algue	cadeau
donjon	gélule	jasmin	jambon	jeton
dindon	raisin	prison	rasoir	sonar

patate	persil	fusil	bison	chaton
baril	skieur	duvet	hublot	poteau
dragon	bébé	pilon	pichet	sésame
hamac	camion	caviar	garage	citron
poumon	trésor	sirop	volcan	fromage
vélo	zébu	tunnel	dauphin	sapin



# Annexe 5

## QUESTIONNAIRE RENSEIGNEMENTS



Sexe : F  H

Langue(s) maternelle(s) :

Date de naissance :

Jusqu'à quel âge avez-vous été scolarisé ?

Quel est votre dernier diplôme obtenu ?

Quel est (ou était) votre profession ?

1) **Vision** :                      bonne                      corrigée                      non corrigée

2) **Comment évalueriez-vous votre forme d'aujourd'hui ? Bonne ? Fatigue ? Stress ? Autre ?**

.....

.....

.....

.....

3) **Prenez vous actuellement un traitement médicamenteux ? Si oui, veuillez préciser lequel et la (les) cause(s) :**

.....

.....

.....

.....

4) **Avez-vous déjà été hospitalisé ? Si oui, veuillez préciser la date et la raison de l'hospitalisation**

.....

.....

.....

.....

## QUESTIONNAIRE RENSEIGNEMENTS



Sexe : F  H   
Langue(s) maternelle(s) :  
Date de naissance :  
Jusqu'à quel âge avez-vous été scolarisé ?  
Quel est votre dernier diplôme obtenu ?  
Quel est (ou était) votre profession ?

1) **Vision :**                      bonne                      corrigée                      non corrigée

2) **Comment évalueriez-vous votre forme d'aujourd'hui ? Bonne ? Fatigue ? Stress ? Autre ?**

.....  
.....  
.....  
.....

3) **Prenez vous actuellement un traitement médicamenteux ? Si oui, veuillez préciser lequel et la (les) cause(s) :**

.....  
.....  
.....  
.....

4) **Avez-vous déjà été hospitalisé ? Si oui, veuillez préciser la date et la raison de l'hospitalisation**

.....  
.....  
.....  
.....

## Annexe 6

Nous avons relevé les stratégies à la toute fin de l'expérience. Pour cela nous avons pris note des retours des participants concernant leurs stratégies sur l'ensemble de l'expérience. Globalement, les participants avaient employé différentes stratégies. J'ai tenté de classer le rapport de chaque participant dans 6 groupes différents : aucune stratégie, récapitulation subvocale, image globale (visualisation des objets), histoire, groupe (récapituler ou visualiser ou associer par 2 ou 3), et autres. La catégorie Autres regroupent différentes stratégies assez rares telles que relier les mots à des gestes ou associer les mots à des souvenirs. Ces différentes classes ont été choisies en s'inspirant de l'article de Loaiza et McCabe (2013).

Le tableau ci-dessous donne une idée grossière des stratégies employées selon le groupe d'âge. Cependant, nous ne pouvons pas trop nous appuyer sur ces résultats car le report de stratégie n'est pas contrôlé. Une suite serait de suivre la procédure de Loaiza et McCabe (2013) afin de faire un report selon les conditions expérimentales mieux contrôlé pour voir si les PA n'auraient pas, effectivement, de plus grandes difficultés à mettre en place des stratégies élaborées telles que la création d'histoires ou d'images mentales.

	Aucune stratégie	Récapitulation subvocale	Image globale	Histoire	Groupe	Autres
Jeunes	0.06	0.31	0.31	0.11	0.10	0.11
Âgées	0.08	0.46	0.16	0.09	0.09	0.13



**Résumé :**

La mémoire de travail est un système cognitif essentiel à notre vie quotidienne. Elle nous permet de conserver momentanément des informations dans le but de réaliser une tâche cognitive. Une des caractéristiques principales de ce type de mémoire est d'être limitée en capacité. Les raisons de cette limitation sont largement débattues dans la littérature. Certains modèles considèrent qu'une cause principale de l'oubli en mémoire de travail est l'existence d'un déclin temporel passif de l'activation des représentations mnésiques alors que d'autres modèles supposent que les interférences entre les informations suffisent à expliquer la capacité limitée de cette mémoire. Deux modèles computationnels ont été proposés récemment (TBRS\* et SOB-CS) et illustrent parfaitement ce débat. En effet, ils décrivent de manière très différente ce qui se passe au cours d'une tâche de mémoire de travail impliquant à la fois la mémorisation et le traitement d'informations. En plus de s'opposer sur les causes de l'oubli, ils proposent des processus de maintien en mémoire de travail distincts : le rafraîchissement des informations pertinentes selon TBRS\* versus la suppression des informations non pertinentes selon SOB-CS. Les travaux de cette thèse se sont organisés autour de deux objectifs principaux. Premièrement, cette thèse a porté sur l'étude de ces deux modèles et leur mécanisme de maintien. Pour cela, nous avons réalisé des expériences comportementales utilisant la tâche d'empan complexe afin de tester des hypothèses précises de ces modèles. Deuxièmement, nous avons étudié, à l'aide des modèles computationnels, les causes des déficits de mémoire de travail observés chez les personnes âgées, dans le but, à long terme, de créer ou d'améliorer les outils de remédiation. Concernant le premier objectif, les différents résultats d'études ont montré une discordance entre le comportement humain et les simulations. En effet, TBRS\* et SOB-CS ne permettent pas de reproduire un effet positif du nombre de distracteurs contrairement à ce qui a été observé expérimentalement. Nous proposons que cet effet positif, non prédit par les modèles, est relié à la mémorisation à long terme non prise en compte dans ces deux modèles. Concernant le deuxième objectif, les résultats comportementaux suggèrent que les personnes âgées auraient principalement des difficultés à rafraîchir les traces mnésiques et à stabiliser les informations à long terme au cours d'une tâche d'empan complexe. Dans l'ensemble, les résultats de cette thèse suggèrent d'approfondir les recherches concernant les liens entre les mécanismes de maintien en mémoire de travail et la mémorisation à long terme, par exemple en proposant un nouveau modèle computationnel permettant de rendre compte de nos résultats. Au-delà des avancées concernant la compréhension du fonctionnement de la mémoire de travail, cette thèse montre également que l'utilisation de modèles computationnels revêt un caractère particulièrement pertinent pour l'étude d'une théorie ainsi que pour la comparaison de différentes populations.

**Abstract :**

Working memory is a cognitive system essential to our daily life. It allows us to temporarily store information in order to perform a cognitive task. One of the main features of this type of memory is to be limited in capacity. The reasons for this limitation are widely debated in the literature. Some models consider that a main cause of forgetting in working memory is the existence of a passive temporal decay in the activation of memory representations whereas other models assume that interference between information are sufficient to explain the limited capacity of this memory. Two computational models have recently been proposed (TBRS\* and SOB-CS) and they perfectly illustrate this debate. Indeed, they both describe differently what happens during a working memory task involving both storage and information processing. In addition to opposing the causes of forgetting, they propose separate maintenance processes: refreshing relevant information according to TBRS\* versus removing irrelevant information according to SOB-CS. This thesis was organized around two main objectives. First, we focused on the study of these two models and their maintenance mechanisms. To do so, we performed behavioral experiments using the complex span task to test specific hypotheses of these models. Second, using computational models, we investigated the causes of working memory deficits observed in the elderly, with the aim, in the long term, of creating or improving remediation tools. Regarding the first objective, results showed a discrepancy between human behavior and simulations. Indeed, TBRS\* and SOB-CS did not reproduce a positive effect of the number of distractors contrary to what has been observed experimentally. We propose that this positive effect, not predicted by the models, is related to the long-term storage not taken into account in these two models. Regarding the second objective, the behavioral results suggest that older people would have difficulty mainly in refreshing memory traces and in stabilizing information in the long term during a complex task. Overall, the results of this thesis suggest to deepen the research on the links between the maintenance mechanisms and the long-term storage, for example by proposing a new computational model accounting for our results. Beyond advances in understanding the functioning of working memory, this thesis also shows that the use of computational models is of particular relevance for the study of a theory as well as for the comparison of different populations.