



HAL
open science

La relation entre mémoire de travail et cognition de haut niveau : une approche par les stratégies

Noemylle Thomassin

► **To cite this version:**

Noemylle Thomassin. La relation entre mémoire de travail et cognition de haut niveau : une approche par les stratégies. Psychologie. Université de Grenoble, 2014. Français. NNT : 2014GRENS028 . tel-01556499

HAL Id: tel-01556499

<https://theses.hal.science/tel-01556499>

Submitted on 5 Jul 2017

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.

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE



THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

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

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Noémie THOMASSIN

Thèse dirigée par **Jean-Luc ROULIN** et **Michel GUERRAZ**

préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition – CNRS, UMR 5105 – Université de Grenoble et Université de Savoie**

dans **l'École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement (EDISCE)**

La relation entre mémoire de travail et cognition de haut niveau : une approche par les stratégies

Thèse soutenue publiquement le **05 décembre 2014**,
devant le jury composé de :

- | | |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Pr. Anik de RIBAUPIERRE
Université de Genève | – Rapporteur |
| Pr. Daniel GAONAC'H
Université de Poitiers | – Rapporteur |
| Pr. Paulette ROZENCWAJG
Université Paris X - Nanterre | – Examineur |
| Pr. Michel Guerraz
Université de Savoie | – Directeur de thèse |
| Dr. Jean-Luc ROULIN
Université de Savoie | – Directeur de thèse |



Remerciements

J'ai vécu ces trois ans de thèse comme un accélérateur de vie, tout autant que comme une expérience intellectuelle intense. Et je suis heureuse d'avoir mené ce projet à son terme, pour continuer d'avancer vers d'autres belles expériences.

Je remercie en premier lieu mes directeurs, Jean-Luc Roulin et Michel Guerraz, pour m'avoir accompagnée, soutenue, conseillée tout au long de cette expérience. Merci à toi Jean-Luc pour ta disponibilité, et pour les échanges que nous avons eus depuis de nombreuses années, que ce soit au sujet de ma thèse au sujet de la préparation de macarons. Je n'ai pas encore totalement appris à argumenter avec toi, mais j'espère que j'ai fait quelques progrès, et que j'en ferai encore. En même temps c'est un exercice périlleux, puisque tu as toujours raison... Merci également pour ton soutien pendant ces quelques mois de rédaction, pour ta réactivité et pour tes précieux conseils. Michel, je te remercie également pour ton soutien et pour ta bienveillance, et pour les punaises. Tu as été là quand j'en ai eu besoin. Je garde aussi d'excellents souvenirs de Londres.

Je remercie les professeurs Anik de Ribaupierre et Daniel Gaonac'h pour avoir accepté d'évaluer ce travail, ainsi que la professeure Paulette Rozencwajg pour avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je tiens également à remercier l'Université de Savoie. Cet établissement m'a accueillie pendant toute la durée de mes études universitaires, a accepté de financer ce travail de recherche pendant trois ans, et m'a donné des conditions de travail idéales.

Je remercie mes collègues du LPNC et du LIP, et plus particulièrement l'équipe pédagogique du département LLSH, pour leur accueil et leur gentillesse, et pour m'avoir aussi bien intégrée lorsque je suis passée d'étudiante à collègue. Je remercie également les étudiants que j'ai eu la chance de suivre pendant leur M1, et qui m'ont été d'une grande aide quant à la collecte des données de certaines études. J'espère que je vous ai appris au moins autant que vous m'avez appris.

Parmi les rencontres qui ont orienté mon parcours, je tiens à citer Thierry Bollon, qui a été l'un des premiers à me pousser dans ce grand tourbillon qu'est la recherche. Merci Thierry d'avoir proposé ce sujet de stage, lorsque je n'étais qu'en L3, et merci pour cette année d'échanges. C'est aussi à ce moment que je t'ai rencontrée, ô toi l'architecte de ces années de folies. Je suppose que tu te reconnais très bien dans ces lignes, Virginie Bagneux, la pire contagion que j'aie jamais croisée. Je me suis fait viruser sans sommation, et embarquer dans cette grande galère. Tu as été un exemple, une amie, une confidente, et un soutien inébranlable pendant toutes les années qui ont suivi. Je te souhaite une excellente route dans ta grande galère, moi j'ai pris le radeau et je vais voguer sur d'autres eaux. Je remercie également Pascal Hot, pour son encadrement pendant mon M1, ainsi que Bernadette Naëgelé, pour le recul qu'elle m'a fait prendre sur la pratique clinique.

Je passe maintenant aux habitants du bureau 603 (passés et actuels), un microcosme où il se passe beaucoup de choses. Fanny, déjà, pour ton optimisme si bienvenu et ces discussions toujours passionnantes. Rafika, ensuite, pour nous avoir montré le chemin à tous.

Vera, ta zen-attitude est fantastique, et grâce à toi je suis toujours large. Je te souhaite d'être bientôt au bout, toi aussi. Merci pour ton soutien et ton écoute. Lucie, courage !!! Je te remercie pour avoir été là durant ces trois années, pendant mes hauts et mes nombreux bas, pour ta compréhension et les mots que tu as toujours eus pour me remonter le moral. Et je vous remercie pour cette culture de bactéries les filles, ça a été un moment de détente pendant un été vraiment trop long. Je vous remercie également pour l'équipe que nous avons formée cet été, pendant que tout le monde était en vacances. La crise du 8 août, je m'en souviendrai longtemps. Morgane, ta philosophie du jour le jour m'a beaucoup appris sur d'autres façons de voir la vie. Je ne suis pas encore prête à arrêter de planifier, mais j'ai vu que cela pouvait avoir du bon. Merci aussi pour ton écoute et ton soutien pendant toutes ces années. Les petits derniers, enfin (niark). Mathieu, tu es merveilleux et tes jambes sont fantastiques. Tu as rendu ma fin de thèse plus joyeuse, et plus enrichissante. Isabella, je suis heureuse d'avoir pu te croiser dans ce bureau. Ton humour fait du bien, et tu m'as beaucoup aidée à supporter cette fin de thèse difficile.

Je vous aime tous, et je vous laisse mes affaires avec plaisir. Il faut bien que ça serve.

Alban, tu as relu cette thèse, et je tiens à t'en remercier. J'espère que si je te remercie suffisamment – t'ai-je dit merci ? – et avec insistance – encore merci –, je n'en entendrai peut-être plus parler dans 30 ans. Je rêve ? Ok. En tout cas merci d'avoir lu cette thèse, et d'avoir été là depuis le début, et d'être encore là. Les psychokillers ; grâce à vous, Alban, Dal, Camille, Lucie, et Seb, j'ai vécu des années incroyables et des moments géniaux. Merci pour ces soirées de Noël du pauvre, pour les tartes volées (eh oui encore une fois !), pour les anniversaires et les retrouvailles, pour les soirées SingStar (SKANDAAAL), et pour tous ces excellents moments. Tout ça grâce à une multiprise. Merci d'être là, sans vous ma vie serait bien plus grise.

Merci à Christelle et Nico pour les litres de thés et les soirées jeux de plateau, et merci à Cricri pour m'avoir soutenue malgré tout ton scepticisme, et pour m'avoir nourrie quand j'étais seule et abandonnée.

Merci également à (je te laisse mettre ton nom ici, personne fantastique à laquelle mes remerciements sincères s'adressent bien que mon état de fatigue me fasse honteusement t'oublier).

Je remercie également ma famille, parce que sans vous je n'y serais pas arrivée. Merci à mes parents, qui m'ont toujours soutenue, et qui m'ont permis d'aller jusqu'à ce doctorat. Merci pour votre compréhension et votre amour, merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. Merci pour votre écoute et pour vos nombreux témoignages de soutien sans faille. Je vous aime. Merci aussi à ma sœur, qui est fantastique et que j'adore, et qui a toujours été là pour moi.

Enfin, une dernière personne à remercier. Tu es le meilleur équipier du monde, et je n'aurais pas pu survivre à ces dernières années sans toi. Tu es ma force, et tu es toujours là pour moi. Il y a du toi dans ce travail, dans ces idées, dans cette réalisation. Tu m'as insufflé la créativité nécessaire à l'aboutissement de ce projet. Je suis heureuse d'avoir vécu cette aventure avec toi. Je t'aime.

Résumé

Les différences interindividuelles en mémoire de travail (MDT) ont un lien stable et largement documenté avec la performance dans les tâches de cognition de haut niveau. Dans la mesure où l'utilisation de stratégies efficaces joue un rôle aussi bien dans les tâches de MDT que de cognition de haut niveau, on peut faire l'hypothèse que les stratégies médiatisent le lien entre ces deux construits. De fait, certaines données suggèrent que le comportement stratégique au sein de tâches de cognition de haut niveau pourrait être en lien avec la capacité de MDT. L'objectif de ce travail de thèse était d'évaluer ce lien de façon plus poussée. Cette approche nous a conduit à deux résultats particulièrement significatifs. Le premier concerne le développement et la formalisation du paradigme de *Hard Fall Effect* (HFE), défini comme étant la chute de performance plus importante en situation de double tâche pour les participants avec une forte capacité de MDT. L'hypothèse sous-jacente à cet effet est que ces participants utilisent des stratégies afin d'améliorer leurs performances en situation de simple tâche, et que la situation de double tâche perturbe l'utilisation de ces stratégies. Au cours de ce travail, le HFE a notamment été mis en évidence dans une tâche de mémoire visuospatiale, et a pu être attribué à l'utilisation de stratégies d'encodage plus efficaces par les participants avec une forte capacité de MDT au sein de tâches de mémoire complexes. Notre second résultat significatif correspond au test direct de l'hypothèse de médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau. Nous avons montré que lorsqu'on contrôle la variance associée à l'utilisation de stratégies efficaces dans la tâche des Matrices Avancées de Raven, la relation entre capacité de MDT et intelligence fluide diminue. Dans l'ensemble, ces deux résultats permettent de renforcer l'idée selon laquelle le comportement stratégique impliqué dans les tâches de cognition de haut niveau intervient dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

MOTS-CLEFS : stratégie, capacité de mémoire de travail, cognition de haut niveau, différences interindividuelles

Abstract

The relationship between individual differences in working memory capacity (WMC) and high-level cognition has been extensively documented. Since efficient strategy use plays an important role in the performance of both working memory and high-level cognitive tasks, it could be the case that strategies mediate the WM-high-level cognition relationship. Importantly, it has been observed that the use of efficient strategies in high-level cognitive tasks is related to individual differences in WMC. The goal of this research work was to investigate this association between WMC and the use of efficient strategies in more detail. Firstly, we formalized a paradigm termed the Hard Fall Effect (HFE), defined as a larger decrease of performance in dual task conditions for high WMC individuals. The underlying interpretation of this effect is that these individuals use efficient strategies under simple task conditions to improve their performance, and these strategies are disrupted by dual tasking. The present work evidenced the HFE in a visuospatial memory task, and attributed the effect to the higher tendency of high WMC individuals to use efficient encoding strategies in complex memory tasks. Secondly, we provided evidence that efficient strategy use in high-level cognitive tasks partly mediates the WMC-high-level cognition relationship. More precisely, when statistically controlling the use of efficient strategies in Raven's Advanced Progressive Matrices, the WMC-fluid intelligence relationship was significantly reduced. Overall, these two results provide evidence that the use of efficient strategies in high-level cognitive tasks is involved in the WMC-high-level cognition relationship.

KEYWORDS: strategy use, working memory capacity, high-level cognition, individual differences

Table des matières

Résumé.....	v
Abstract.....	vi
Avant-propos	10
Chapitre 1 : Mémoire de travail et cognition de haut niveau	13
A. Mémoire de travail et mémoire à court terme	13
B. La capacité de mémoire de travail.....	16
1. Empans simples et empans complexes.....	16
2. Diversité des empans complexes.....	17
3. Qualités psychométriques des empans complexes.....	19
C. Mémoire de travail : un prédicteur de la cognition de haut niveau.....	20
1. Travaux corrélacionnels.....	20
2. MDT et cognition de haut niveau : les explications théoriques de ce lien.....	21
Chapitre 2 : Les stratégies dans les empans complexes	28
A. Définition et méthodes d'étude des stratégies	29
1. Les reports verbaux	30
2. Analyse des temps d'observation	34
B. Influence des stratégies dans les empans complexes.....	34
1. Capacité de mémoire de travail et stratégies	35
a) Les stratégies mesurées par les reports verbaux	36
b) Les stratégies mesurées par l'analyse des temps d'observation	40
2. Synthèse	44
C. Les stratégies : un médiateur de la relation MDT – cognition de haut niveau	45
1. Etudes corrélacionnelles et expérimentales	45
2. Contrainte temporelle	48
3. L'hypothèse d'affordance des stratégies	49
Chapitre 3 : Mémoire de travail et stratégies dans les tâches cognitives	53
A. MDT et utilisation de stratégies efficaces	53

1. Les tâches de mémoire	54
a) Stratégies d'encodage	55
b) Stratégies de récupération.....	57
c) Contribution relative des stratégies d'encodage et de récupération	59
d) Synthèse sur les stratégies en mémoire	60
2. Les tâches de fluence verbale.....	61
3. La résolution de problème et le raisonnement	63
4. Synthèse	67
B. La relation MDT – cognition de haut niveau médiatisée par les stratégies.....	68
1. Contrôle statistique de la variance due à l'utilisation de stratégies.....	68
2. Perturbation expérimentale des stratégies	70
Problématique.....	75
Chapitre 4 : <i>Hard Fall Effet</i> et mémoire visuospatiale.....	79
Étude 1.....	79
Chapitre 5 : Origine du HFE dans la tâche de localisation spatiale de couleurs.....	92
A. Étude 2 : Stratégies d'encodage ou de récupération ?.....	92
B. Étude 3 : Processus élémentaires et HFE dans la tâche de localisation spatiale de couleurs	102
Conclusion du chapitre 5	113
Chapitre 6 : Généralisation du HFE à d'autres paradigmes expérimentaux	114
A. Étude 4 : « <i>Choking Under Pressure</i> » et HFE dans une tâche de raisonnement....	114
B. Étude 5 : Effet d'indilage d'une partie de liste et HFE dans une tâche de MLT verbale	124
1. Introduction Générale.....	124
a) Expérience 5A	126
b) Expérience 5B.....	133
c) Expérience 5C.....	136
2. Discussion générale de l'Étude 5	145
Conclusion du chapitre 6	147
Chapitre 7 : Une étude des stratégies allant au-delà du report verbal.....	149

A. Étude 6 : Stratégies et tâches visuospatiales : le cas de la réduction de l'espace de travail mental.....	149
a) Expérience 6A	149
b) Expérience 6B.....	158
2. Discussion générale de l'Étude 6	162
B. Étude 7 : Stratégies et tâches verbales : le cas de l'effet de concrétude.....	164
a) Expérience 7A	164
b) Expérience 7B.....	173
2. Discussion générale de l'Étude 7	177
Conclusion du chapitre 7	180
 Chapitre 8 : Médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau	182
Étude 8.....	182
 Chapitre 9 : Discussion.....	193
A. Résumé du contexte théorique de ce travail de recherche	193
B. Vue d'ensemble des résultats	194
C. Modélisations du comportement stratégique et de ses liens avec la cognition de haut niveau.....	197
D. Mise en perspective par rapport à la littérature	203
1. Utilisation de stratégies efficaces pour les participants avec une faible capacité de MDT	203
2. Modèles de MDT appliqués au comportement stratégique.....	205
3. L'empan complexe vu comme une double tâche	206
E. Limites.....	210
F. Directions pour de futures recherches.....	211
 Conclusion.....	214
 Références bibliographiques.....	215
 Annexes.....	236

Avant-propos

Depuis quatre décennies, la mémoire de travail a éveillé l'intérêt d'une large communauté de chercheurs. Elle représente aujourd'hui un construit central dans de nombreuses approches de la cognition, notamment à cause des liens qu'elle entretient avec la cognition de haut niveau. L'un des enjeux majeurs de ces dernières années dans le domaine de la recherche sur la mémoire de travail a été de comprendre les raisons de ce lien.

Ce travail de thèse s'inscrit dans la lignée de ces travaux, et aborde la question du lien entre mémoire de travail et cognition de haut niveau sous l'angle du comportement stratégique. Dans la mesure où les tâches de mémoire de travail comme les tâches de cognition de haut niveau impliquent la mise en place de stratégies pouvant influencer la performance, il semble en effet pertinent de s'intéresser au rôle de ces stratégies. Cette approche implique deux directions de recherche possibles : étudier l'influence des stratégies dans les tâches de mémoire de travail, mais aussi l'influence des stratégies dans les tâches de cognition de haut niveau.

La partie théorique de cette thèse présentera dans un premier temps le construit de mémoire de travail et les études portant sur son lien avec la cognition de haut niveau (**Chapitre 1**). Nous examinerons ensuite successivement les deux directions de recherche fondées sur la notion de comportement stratégique. Nous nous intéresserons d'abord au rôle des stratégies dans les tâches de mémoire de travail et à leur place dans la relation entre les mesures de mémoire de travail et de cognition de haut niveau (**Chapitre 2**). Nous étudierons ensuite l'influence des stratégies impliquées cette fois dans les tâches de cognition de haut niveau et le rôle médiateur qu'elles peuvent avoir dans la relation entre mémoire de travail et cognition de haut niveau (**Chapitre 3**). Notre problématique se situera à la frontière de ces deux directions de recherche. Au cours de ce travail de thèse, nous défendrons l'importance à accorder aux stratégies dans les tâches de cognition de haut niveau, en fonction de la capacité de mémoire de travail. Dans ce cadre, nous tenterons de mettre en évidence le rôle médiateur des stratégies dans la relation entre la mémoire de travail et la cognition de haut niveau.

La partie expérimentale se divisera en cinq chapitres. Dans le **Chapitre 4**, nous présenterons un nouveau paradigme, le *Hard Fall Effect*, permettant d'étudier et d'évaluer l'influence du comportement stratégique dans la relation entre la mémoire de travail et la mémoire visuospatiale (Étude 1). Dans le **Chapitre 5**, nous tenterons de mieux comprendre le

comportement stratégique impliqué dans des tâches de mémoire visuospatiale, en nous intéressant à la nature des stratégies affectées par le *Hard Fall Effect* (Étude 2), ainsi qu'aux conditions d'émergence de cet effet (Étude 3). Dans le **Chapitre 6**, nous allons tenter de généraliser la logique du *Hard Fall Effect* à d'autres paradigmes expérimentaux comme le Choking Under Pressure dans une tâche d'arithmétique modulaire (Étude 4) et l'indiciage d'une partie de liste dans une tâche de mémoire verbale (Étude 5). Dans le **Chapitre 7**, nous tenterons d'étudier les stratégies grâce à une autre méthode. Nous ferons deux hypothèses sur la nature des stratégies pouvant être impliquées dans les tâches de mémoire visuospatiale (Étude 6) ou verbale (Étude 7) en lien avec la mémoire de travail, et nous présenterons les paradigmes expérimentaux que nous avons utilisé afin de tester ces hypothèses. Dans le **Chapitre 8**, nous proposerons un protocole permettant de tester directement le rôle médiateur des stratégies en cognition de haut niveau dans le lien observé entre la mémoire de travail et la cognition de haut niveau (Étude 8).

Enfin, le **Chapitre 9** présentera une discussion générale autour de ces travaux et de façon plus large autour de l'approche par les stratégies, et se terminera par la **Conclusion** de ce travail de recherche.

Partie théorique

Chapitre 1 : Mémoire de travail et cognition de haut niveau

Dans ce chapitre, nous présenterons le construit de mémoire de travail dans une perspective différentielle. Nous aborderons ensuite les liens que ce construit entretient avec la cognition de haut niveau, et nous terminerons en introduisant l'idée que le comportement stratégique pourrait être l'un des médiateurs de ce lien.

A. Mémoire de travail et mémoire à court terme

La psychologie cognitive repose en partie sur une analogie entre l'esprit humain et les systèmes informatiques, et s'inscrit dans la logique des systèmes de traitement de l'information. Selon cette perspective, l'activité cognitive peut être envisagée comme l'ensemble des processus permettant de manipuler, transformer et utiliser l'information. La démarche cognitiviste consiste donc à préciser la nature et le fonctionnement des processus utilisés dans le fonctionnement mental et permettant de traiter l'information (voir par exemple les modèles proposés par Atkinson & Shiffrin, 1968 ; Broadbent, 1958). Or, pour manipuler des informations, il est nécessaire de les stocker et de les rendre disponibles afin qu'elles puissent être utilisées pour les opérations en cours de réalisation. Cela implique de définir structurellement un système de stockage de ces informations, qui permette de les maintenir dans un état d'accessibilité immédiate pour les opérations de traitement.

Le concept de mémoire à court terme (MCT) a été décrit pour répondre à ce besoin d'un système de stockage à court terme ; le terme de MCT est directement issu des modèles de traitement de l'information (Atkinson & Shiffrin, 1968 ; Broadbent, 1958). On peut définir la mémoire à court terme comme un système cognitif unitaire utilisé pour le maintien temporaire des informations dans un état de haute accessibilité (Cowan, 2008), de façon à rendre ces informations disponibles pour les opérations de traitement. Il s'agit avant tout d'un système de mémoire transitoire ne maintenant qu'une quantité d'informations limitée, cette limitation ayant lieu à la fois dans le temps – quelques secondes – et dans la quantité – quelques informations. Le concept de MCT est fondé sur la mémoire primaire de James (1890), mais les deux notions ne sont pas identiques. D'après Cowan (2008), la principale différence qui pourrait exister entre mémoire primaire et MCT repose sur le fait que la première est plus restrictive que la seconde. En effet, la mémoire primaire ne prend en compte

que les informations accessibles à la conscience, tandis que la MCT peut stocker des informations dans un état de haute accessibilité, de façon à rendre ces informations disponibles pour les processus de traitement, sans qu'elles soient nécessairement accessibles à la conscience.

Plusieurs travaux de recherche ont tenté de mettre en évidence le rôle clef de la MCT dans le traitement de l'information que lui attribuait la littérature. Cependant, ces travaux n'ont rencontré qu'un faible succès. Par exemple, il a été observé (Baddeley & Hitch, 1974) que la mémorisation à court terme d'une liste d'informations ne perturbait que faiblement la réalisation d'une tâche complexe de traitement de l'information telle qu'une tâche de résolution de problèmes. De même, des patients qui présentent une lésion cérébrale à l'origine d'un fort déficit en MCT ne présentent pas nécessairement de troubles sur des tâches cognitives complexes (Baddeley & Hitch, 1974). Cette observation a conduit les chercheurs à faire évoluer la notion de MCT en décrivant un système multicomponentiel qui ne pourrait être réduit uniquement au stockage à court terme (Baddeley & Hitch, 1974).

L'apparition du terme « *mémoire de travail* » (MDT) semble dater de 1960 (Miller, Galanter, & Pribram, 1960), bien que le concept lui-même soit apparu quelques années plus tôt (Johnson, 1955). La MDT représente une évolution directe des conceptions liées à la MCT. Elle est classiquement définie comme un système cognitif utilisé pour le maintien temporaire et la manipulation des informations (Baddeley & Hitch, 1974). La MDT se distingue donc de la MCT par la combinaison de la fonction de stockage avec une composante supplémentaire de traitement et de manipulation de l'information. D'une façon plus intégrée avec l'ensemble du fonctionnement cognitif, on peut définir la MDT comme un système cognitif de capacité limitée qui fonctionne comme une interface entre la perception, la mémoire à long terme (MLT) et l'action (Baddeley, 2003). On retrouve dans cette définition l'idée d'un système de maintien à court terme jouant un rôle fondamental dans les activités cognitives complexes.

Le système initialement proposé par Baddeley et Hitch (1974) a évolué pour former le modèle tripartite de la MDT (Baddeley, 1986). Depuis sa création, ce modèle a eu une influence considérable. Les modifications successives du modèle au fil des ans l'ont rendu peu falsifiable, mais son caractère heuristique reste indéniable. Dans la description initiale du modèle, Baddeley (1986) définit la MDT comme un système de maintien temporaire et de manipulation de l'information, nécessaire pour réaliser des activités cognitives complexes de traitement de l'information telles que la compréhension, l'apprentissage, le raisonnement. Comme son nom l'indique, le modèle tripartite originel est constitué de trois composantes : 1)

d'un administrateur central, conçu comme un système chargé de sélectionner, coordonner, contrôler les opérations de traitement; 2) de deux systèmes esclaves chargés de stocker les informations de manière spécifique en fonction de la nature du matériel (verbal ou visuospatial). La boucle phonologique est le système qui assure le maintien de l'information verbale, et le calepin visuospatial se charge de l'information visuospatiale.

Dans ce modèle, l'administrateur central constitue la spécificité du système de MDT. Les travaux de recherche portant sur l'administrateur central l'ont souvent comparé au système attentionnel superviseur proposé par Norman et Shallice (1986) ; cette approche insiste sur la dimension attentionnelle de cette composante (par opposition aux systèmes esclaves, de nature mnésique). De façon importante, la réalisation d'activités cognitives complexes de traitement de l'information peut se traduire par la réalisation et la coordination d'opérations de différentes natures, des fonctions de contrôle gérées par ce système. Quelques années après la naissance du modèle tripartite et après un grand nombre de travaux empiriques portant notamment sur les caractéristiques des systèmes esclaves, Baddeley a proposé une analyse plus détaillée des fonctions de l'administrateur central. Il lui attribue quatre fonctions (Baddeley, 1996) :

- la capacité à coordonner la performance dans deux tâches séparées ;
- la capacité à alterner entre des stratégies de récupération en MLT ;
- la capacité à porter de façon sélective son attention sur un stimulus tout en ignorant les autres ;
- la capacité à maintenir et à manipuler l'information en MLT.

Cette dernière fonction de lien entre MDT et MLT sera par la suite spécifiquement attribuée à une nouvelle composante du modèle (Baddeley, 2000) : le buffer épisodique Cette composante a été décrite comme étant un système de stockage temporaire à capacité limitée capable d'intégrer des informations venant de sources différentes. Cette modification du modèle laisse donc à l'administrateur central la charge des fonctions de régulation attentionnelle, de coordination de la performance et d'alternance entre des stratégies différentes.

La première théorisation du construit de MDT proposée par Baddeley et Hitch (1974) a représenté un travail de modélisation et de formalisation d'un certain nombre d'idées, insistant notamment sur l'aspect attentionnel de la MDT et sur son rôle dans le traitement de l'information. Ce travail a conduit à une augmentation très rapide du nombre de recherches visant à la décrire, sous l'angle à la fois structurel et fonctionnel. Cependant, le modèle tripartite n'est aujourd'hui plus le seul modèle de MDT, et de nombreuses conceptions

existent actuellement dans la littérature. Certaines de ces conceptions (voir par exemple Engle & Kane, 2004) se sont intéressées plus particulièrement aux différences interindividuelles qu'implique la place centrale de la MDT dans la cognition. En effet, si la MDT est un mécanisme central pour la cognition, alors des individus avec une forte capacité de MDT devraient obtenir une meilleure performance dans des tâches cognitives complexes que ceux avec une faible capacité de MDT.

B. La capacité de mémoire de travail

1. Empans simples et empans complexes

Les conceptions qui se sont intéressées à la MDT dans une perspective différentialiste ont développé différentes mesures de MDT. Une grande majorité de ces mesures implique de maintenir et de traiter simultanément de l'information, contrairement aux tâches mesurant la MCT qui impliquent uniquement du maintien d'information. Par exemple, on oppose souvent les empans complexes aux empans simples, les premiers évaluant la capacité de MDT tandis que les seconds évaluent la capacité de MCT. Dans les empans simples, les participants doivent généralement maintenir en mémoire une suite de symboles, d'éléments ou de localisations spatiales pendant une brève période de temps et après une seule présentation (Unsworth & Engle, 2007b). Les empans complexes ont été créés en ajoutant à des situations d'empans simples une tâche cognitive secondaire (Unsworth & Engle, 2007b), telle que la résolution d'opérations mathématiques (dans l'empan d'opérations) ou le jugement syntaxique d'une phrase (dans l'empan de lecture). Les empans complexes représentent donc une classe de tâches s'appuyant très fortement sur la définition générale de la MDT comme système assurant un stockage et un traitement simultané des informations.

Il a été suggéré qu'en moyenne, une personne peut retenir entre quatre (Cowan, 2001) et sept (Miller, 1956) informations en MDT, selon que l'on considère l'unité stockée comme une information élémentaire ou comme un regroupement d'informations (ou *chunk*). Cependant, il ne s'agit que d'une estimation moyenne. On sait en effet qu'il existe des différences interindividuelles de cette capacité de MDT, et que ces différences sont stables dans le temps (Ilkowska & Engle, 2010). Autrement dit, certaines personnes ont une capacité de MDT plus importante que d'autres, et peuvent donc maintenir un plus grand nombre d'informations en MDT. De nombreux facteurs ont été proposés dans la littérature pour

expliquer ces différences interindividuelles de capacité de MDT, chacun soutenu par de solides données expérimentales ; il n'existe toutefois pas de consensus sur l'importance relative de chacun de ces facteurs. Parmi les déterminants possibles des différences interindividuelles de capacité de MDT, on peut trouver l'idée d'une quantité de ressources limitées à partager entre le stockage temporaire et le traitement concurrent de l'information (Daily, Lovett, & Reder, 2001 ; Just & Carpenter, 1992), des fonctions attentionnelles comme l'aptitude à inhiber l'information de façon pertinente (Hasher, Zacks, & May, 1999) ou une aptitude générale de contrôle attentionnel (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999), sur laquelle nous reviendrons plus en détail dans la suite de ce chapitre.

2. Diversité des empan complexes

Les premiers empan complexes ont été développés dans le cadre de travaux en psychologie développementale et en psychologie différentielle. Par exemple, Case (1978, 1985) a construit l'empan de comptage (*counting span*), qu'il a notamment utilisé chez les jeunes enfants (voir Case, Kurland, & Goldberg, 1982). Dans cette tâche, on présente aux enfants une suite de planches constituées de cercles de couleur rouge ou verte. Les enfants doivent compter le nombre de cercles d'une couleur (par exemple les cercles verts), et mémoriser le résultat pour un rappel ultérieur. Après la présentation de toutes les planches de la série, les enfants sont invités à rappeler dans l'ordre le nombre de cercles de chaque planche. Cette tâche requiert donc une activité de maintien de l'information conjointement réalisée avec une activité de traitement (compter les cercles sur une planche).

Daneman et Carpenter (1980) ont développé une autre tâche d'empan complexe largement similaire à l'empan de comptage, pour évaluer la capacité de MDT chez les adultes : l'empan de lecture (*reading span*). C'est d'ailleurs dans cet article que l'on voit apparaître la notion de capacité de MDT. L'empan de lecture consiste à faire lire à voix haute une suite de phrases, le participant étant informé qu'il doit retenir le dernier mot de chaque phrase pour un rappel ultérieur. La capacité de MDT d'un participant correspond alors au nombre maximum de mots qu'il peut rappeler dans l'ordre. Tout comme l'empan de comptage, l'empan de lecture nécessite une activité de maintien (se rappeler des mots) réalisée de façon conjointe avec une activité de traitement (lire les phrases à voix haute).

Les empan de comptage et de lecture sont deux tâches visant à mesurer la capacité de MDT, mais avec deux types de contenus différents. Dans un cas, il s'agit de retenir des chiffres, dans l'autre cas, des mots. Dans un article éponyme, Turner et Engle (1989) posent la

question suivante : « *la capacité de MDT est-elle dépendante de la tâche ?* ». Autrement dit, ils s'interrogent sur la possibilité que la mesure de la capacité de MDT soit spécifique à la tâche utilisée, c'est-à-dire qu'elle n'ait pas de réalité psychologique indépendamment du contexte expérimental. La capacité de MDT mesurée par l'empan de comptage serait dans ce cas indépendante de la capacité de MDT mesurée par l'empan de lecture. Dans le cadre de ce questionnaire, ils construisent un nouvel empan complexe : l'empan d'opérations (*operation span*). Dans la version originale de cette tâche, les participants doivent mémoriser des suites de mots. Entre chaque mot, on présente aux participants une équation mathématique simple de type « $10 / 2 + 7 = 5$ ». Pour chaque équation présentée, les participants doivent indiquer si le résultat est juste ou faux (dans l'équation ci-dessus, la bonne réponse est « *faux* »). À travers cette étude, les auteurs ont proposé un argument en faveur de l'existence d'une capacité de MDT générale qui pourrait être évaluée par différents type d'empans complexes.

Dix ans plus tard, cette question d'une amodalité de la capacité de MDT est explorée de façon plus systématique (Engle, Tuholski, et al., 1999). Les participants ont réalisé, entre autres, un empan de comptage, un empan de lecture et un empan d'opérations. En utilisant la méthode des équations structurelles, les auteurs démontrent que les trois tâches partagent une part de variance commune. Ces trois empans complexes semblent donc reposer, au moins en partie, sur un même système cognitif. On peut en conclure qu'un empan complexe mesure la capacité générale de MDT, qui stockerait un certain nombre de représentations, indépendamment des caractéristiques modales de la tâche. D'autres auteurs ont également mis en évidence le caractère amodal de la MDT à partir d'un large panel de tâches de MDT utilisées dans la littérature ; c'est le cas de Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, et Wittmann (2000), ou encore de Kane et al. (2004). En utilisant une analyse factorielle, ces derniers montrent que les empans complexes utilisant un matériel verbal (comme les empans de comptage, de lecture et d'opération) saturent le même facteur que les empans complexes utilisant un matériel spatial (empan de symétrie et empan de navigation).

Cette conception unitaire de la MDT a conduit à considérer que les participants pouvaient être classés sur une dimension unique se rapportant à l'importance de leur capacité de MDT, allant de faible à forte. Dans la suite de ce travail de recherche et afin de fluidifier la lecture, nous ferons donc référence aux participants ayant obtenu de bons scores dans des tâches d'empans complexes mesurant la capacité de MDT comme des participants avec une forte capacité de MDT. À l'inverse, nous désignerons les participants ayant obtenu de faibles scores dans ces mêmes mesures de capacité de MDT comme des participants avec une faible

capacité de MDT. Il est entendu que le rapport entre des bons scores et des faibles scores n'a de sens que lorsqu'on envisage la distribution de ces scores dans son ensemble pour un même échantillon de participants. Les participants avec une forte capacité de MDT représentent généralement ceux qui se classent dans le quart le plus élevé de la distribution des scores, et ceux avec une faible capacité de MDT représentent généralement ceux dans le quart inférieur de cette distribution.

3. Qualités psychométriques des empan complexes

Les empan de comptage, de lecture et d'opérations sont des mesures à la fois fidèles et valides (Conway et al., 2005). Leur fidélité adéquate est notamment établie par leur bonne consistance interne : les coefficients alphas sont typiquement compris entre .70 et .90 pour ce type de tâches (Conway et al., 2005). Par exemple, Kane et al. (2004) observent un alpha de .78 pour l'empan de lecture, de .80 pour l'empan d'opérations et de .77 pour l'empan de comptage. On retrouve des estimations de consistance interne satisfaisantes dans de nombreuses études avec des effectifs importants (Conway, Cowan, Bunting, Theriault, & Minkoff, 2002 ; Engle, Tuholski, et al., 1999 ; Hambrick & Engle, 2002 ; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001 ; Oberauer et al., 2000). Il existe par ailleurs une bonne fidélité test-retest : des corrélations comprises entre .70 et .80 ont été observées pour les empan d'opérations et de lecture entre deux administrations séparées de plusieurs semaines (Friedman & Miyake, 2004b ; Klein & Fiss, 1999), voire de plusieurs mois (Klein & Fiss, 1999). En ce qui concerne l'empan de lecture, les coefficients de fidélité sont légèrement inférieurs et compris entre .40 et .65 (MacDonald, Almor, Henderson, Kempler, & Andersen, 2001 ; Waters & Caplan, 1996).

Par ailleurs, les empan complexes présentent une très bonne validité convergente, ce qui se traduit par des corrélations stables entre ces mesures et une grande variété de tâches. La validité divergente est également satisfaisante puisque ces mesures ne prédisent pas les performances dans des tâches n'ayant aucune raison théorique d'impliquer la capacité de MDT, c'est-à-dire des tâches n'impliquant pas de traitement complexe de l'information (Cantor & Engle, 1993 ; Conway & Engle, 1994 ; Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001 ; Kane & Engle, 2000 ; Rosen & Engle, 1997 ; 1998).

Comme le soutiennent Conway et al. (2005), indépendamment de ce que les empan complexes sont supposés mesurer, les données suggèrent donc qu'ils mesurent bien ce qu'ils mesurent avec une précision raisonnable (p. 776).

C. Mémoire de travail : un prédicteur de la cognition de haut niveau

1. Travaux corrélationnels

Nous avons vu que dans le cadre d'une approche en termes de traitement de l'information, le rôle d'un système de stockage à court terme serait de maintenir l'information dans un état de haut accessibilité afin de la rendre utilisable dans les activités de traitement. Dans cette optique, l'aptitude à réaliser un traitement de l'information efficace devrait être liée à l'aptitude à réaliser un stockage à court terme efficace.

De façon opérationnelle, l'aptitude à réaliser un stockage à court terme peut être mesurée à travers la capacité du système à maintenir un nombre d'informations élevé de façon fiable ; cette aptitude devait donc être reflétée par la capacité de MCT ou de MDT. Quant à l'aptitude à réaliser un traitement de l'information efficace, de nombreux travaux ont opérationnalisé cette notion en mesurant la performance dans des tâches dites de cognition de haut niveau. La cognition de haut niveau est un terme générique qui comprend un très large éventail de tâches cognitives complexes (voir König, Kühnberger, & Kietzmann, 2013). On ne trouve pas de classification définie de la cognition de haut niveau, en grande partie car les tâches correspondant à cette définition sont particulièrement redondantes. En pratique, les tâches de cognition de haut niveau excluent les tâches ne faisant appel qu'à une unique fonction cognitive élémentaire, comme par exemple la perception visuelle, la mémoire à court terme, ou l'attention soutenue. En revanche, les tâches de cognition de haut niveau incluent les tâches mesurant le raisonnement et l'intelligence, la créativité, le langage, le suivi et la coordination de la performance, la prise de décision, et plus généralement toute tâche impliquant une combinaison de fonctions cognitives (König et al., 2013). Dans ce cadre, il est possible de considérer certaines tâches de mémoire complexes comme étant des tâches de cognition de haut niveau. En effet, ces tâches peuvent impliquer une combinaison de facteurs comme des compétences verbales, la prise de décision dans le cadre de paradigmes de reconnaissance, ou encore l'attention soutenue nécessaire pour réaliser l'encodage en mémoire d'un nombre de stimuli importants.

Comme l'avaient suggéré les résultats de Baddeley et Hitch (1974), les mesures de la capacité de MCT comme les empans simples corrèlent peu avec les mesures de cognition de haut niveau (Engle, Tuholski, et al., 1999 ; Kane et al., 2004 ; Perfetti & Goldman, 1976), bien que certains travaux aient remis en cause cette conclusion (voir par exemple Colom, Rebollo, Abad, & Shih, 2006 ; Unsworth & Engle, 2007b). En revanche, les différences

interindividuelles de capacité de MDT, telles que mesurées par les empan complexes, représentent un prédicteur stable et largement documenté de la cognition de haut niveau (voir par exemple Feldman-Barrett, Tugade, & Engle, 2004). Autrement dit, les individus avec une forte capacité de MDT sont également ceux qui obtiennent les meilleures performances dans des tâches de cognition de haut niveau, comparativement aux individus avec une faible capacité de MDT. Cette relation a été mise en évidence un très grand nombre de fois ; elle est si souvent observée que les tâches de cognition de haut niveau sont parfois utilisées comme indicateurs de validité concurrente lors de la validation de tâches de MDT (voir par exemple Conway et al., 2005 ; Redick et al., 2012 ; Unsworth, Heitz, Schrock, & Engle, 2005).

On observe par exemple que la performance dans des tâches de MDT corrèle avec la performance dans des situations de compréhension écrite et orale (Daneman & Carpenter, 1983 ; Daneman & Merikle, 1996), de compréhension du langage (King & Just, 1991), de poursuite de directions orales et spatiales (Engle, Carullo, & Collins, 1991), d'apprentissage de vocabulaire (Daneman & Green, 1986), de prise de note en classe (Kiewra & Benton, 1988), d'écriture (Benton, Kraft, Glover, & Plake, 1984), de génération d'hypothèses (Dougherty & Hunter, 2003), d'apprentissage dans des tâches complexes (Kyllonen & Stephens, 1990). D'une façon générale, on peut dire que la capacité de MDT est une variable à l'origine d'importantes différences interindividuelles et qu'elle rend compte d'une part importante de la variabilité associée aux aptitudes intellectuelles générales (Conway et al., 2002 ; Conway, Kane, & Engle, 2003 ; Engle, Tuholski, et al., 1999 ; Kane et al., 2004 ; Kyllonen & Christal, 1990 ; Süss, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, & Schulze, 2002).

2. MDT et cognition de haut niveau : les explications théoriques de ce lien

Face à l'ensemble de ces résultats expérimentaux, la question qui se pose est la suivante : pourquoi certaines tâches mesurant la capacité de MDT comme les empan complexes représentent-elles l'un des meilleurs prédicteurs de la cognition de haut niveau, tandis que d'autres tâches mesurant la capacité de MCT n'en sont pas de bons prédicteurs (Cowan, 2008) ? L'une des solutions pour expliquer cette différence consiste à inclure une troisième variable dans l'équation. On supposera alors que cette troisième variable représentera une aptitude engagée à la fois dans les tâches mesurant la MDT et dans les tâches mesurant la cognition de haut niveau, mais pas dans la MCT. Plus les individus auront un niveau élevé sur cette aptitude, meilleurs ils seront dans les tâches mesurant la MDT ainsi que dans les tâches mesurant la cognition de haut niveau. D'après certains auteurs, cette aptitude

correspondrait au contrôle attentionnel (Engle, Tuholski, et al., 1999), défini de façon générale comme l'aptitude à maintenir en mémoire le but de la tâche en cours ainsi qu'à bloquer et inhiber les représentations non pertinentes (Unsworth, Fukuda, Awh, & Vogel, 2014).

Dans cette perspective, on peut considérer que les empans complexes impliquent l'aptitude de contrôle attentionnel de façon plus importante que les empans simples. En effet, les informations en MDT doivent être maintenues en mémoire malgré les déplacements de l'attention vers et depuis les stimuli impliqués dans l'activité de traitement (Engle & Kane, 2004). On peut également considérer que l'aptitude de contrôle attentionnel est impliquée dans la cognition de haut niveau, notamment parce que les tâches mesurant la cognition de haut niveau nécessitent de maintenir ou de récupérer l'accès aux représentations liées aux buts (Kane, Poole, Tuholski, & Engle, 2006). Conséquemment, on peut considérer que les différences interindividuelles dans l'aptitude de contrôle attentionnel se reflètent d'une part dans les empans complexes et, d'autre part, dans les tâches de cognition de haut niveau (Engle & Kane, 2004).

Selon cette conception, les différences de corrélations observées entre la MCT et la cognition de haut niveau d'une part, et la MDT et la cognition de haut niveau d'autre part, reposeraient principalement sur la plus grande implication du contrôle attentionnel dans les tâches mesurant la MDT. Ce type d'approche est tout-à-fait cohérent avec les conceptions de la MDT dans lesquelles les fonctions attentionnelles ont un rôle prépondérant, comme l'administrateur central de Baddeley (Baddeley, 1986) ou le focus attentionnel développé par Cowan et ses collaborateurs (Cowan et al., 2005). Un certain nombre de données empiriques sont venues appuyer cette approche, de façon macro et micro-analytique. Les études macro-analytiques se sont appuyées sur l'équation suivante : $MDT = MCT + \text{contrôle attentionnel}$ (Engle & Kane, 2004) et ont mis à l'épreuve cette conception de la relation entre MCT et MDT en utilisant la technique statistique des équations structurelles. Ces études ont montré que lorsque la variance commune aux tâches de MDT et de MCT est retirée des modèles statistiques, ce qui correspond à la variance due à la MCT, on observe que la variance résiduelle explique la corrélation entre MDT et cognition de haut niveau (Conway et al., 2002 ; Engle, Kane, & Tuholski, 1999 ; Kane et al., 2004). Selon les auteurs, la variance résiduelle pourrait être considérée comme la variance due au contrôle attentionnel. Ces études suggèrent donc que le contrôle attentionnel correspond à l'aptitude responsable de la corrélation entre MDT et cognition de haut niveau. D'autres études ont ensuite corroboré ces résultats en

incluant dans les modèles d'équations structurelles des mesures directes du contrôle attentionnel (McVay & Kane, 2012 ; Unsworth & Spillers, 2010b).

Ces études corrélationnelles semblent donc confirmer que les différences interindividuelles dans l'aptitude de contrôle attentionnel pourraient correspondre à la troisième variable en lien à la fois avec la MDT et la cognition de haut niveau. Si tel est le cas, alors on devrait également observer une corrélation entre capacité de MDT et performance sur des tâches évaluant directement le contrôle attentionnel. Il s'agit de l'approche développée par les études micro-analytiques, qui ont permis de préciser l'implication du contrôle attentionnel d'une part dans la résolution de l'interférence et de la compétition entre les réponses, et d'autre part dans l'aptitude à orienter son comportement vers un but (Engle & Kane, 2004). Plusieurs études ont testé le lien entre ces deux fonctions et la capacité de MDT.

En ce qui concerne la résolution de l'interférence et de la compétition entre les réponses, il a été montré que les participants avec une forte capacité de MDT étaient moins sensibles à l'interférence proactive (Kane & Engle, 2000), moins vulnérables aux distracteurs saillants dans une tâche d'écoute dichotique (Conway, Cowan, & Bunting, 2001) et plus efficaces dans la réalisation d'une tâche d'antisaccades qui nécessite de résister à la tendance automatique de regarder dans la direction d'un indice lumineux (Kane et al., 2001). En ce qui concerne l'aptitude de contrôle exercée sur le comportement orienté vers un but, il a par exemple été montré que les participants avec une forte capacité de MDT étaient plus efficaces dans le maintien du but « nommer la couleur dans laquelle est écrit le mot » dans une tâche de Stroop (Kane & Engle, 2003) ; ils étaient également plus efficace dans le maintien du but « *ne pas répondre lorsque un certain type de stimulus était présenté* » dans une tâche de go/no-go (Redick, Calvo, Gay, & Engle, 2011). Ces participants obtenaient également une meilleure performance dans la tâche des tours de Hanoi (Zook, Davalos, DeLosh, & Davis, 2004), qui implique une composante de maintien du but (Carpenter, Just, & Shell, 1990), et reportaient plus fréquemment être concentrés sur la tâche qu'ils étaient en train de réaliser (Kane et al., 2007).

Ces études établissent l'existence d'un lien entre capacité de MDT et contrôle attentionnel, mais les auteurs ne se sont pas contentés de mettre en évidence ce lien. Il a également été proposé que les différences interindividuelles de capacité de MDT émergent du fonctionnement des processus attentionnels ; autrement dit, c'est l'efficacité des processus attentionnels qui contraindrait la performance dans les tâches d'empans complexes. Lorsque

Engle et Kane (2004) parlent des différences interindividuelles de capacité de MDT, ils font donc référence aux différences interindividuelles de contrôle attentionnel.

On peut cependant aborder la question de la corrélation entre la MDT et la cognition de haut niveau sous un angle différent : celui des aptitudes mnésiques. Si l'on considère l'équation « $MDT = MCT + \text{contrôle attentionnel}$ » (Engle & Kane, 2004), alors le contrôle attentionnel et la MCT sont tous deux susceptibles de médiatiser le lien entre MDT et cognition de haut niveau. Nous venons de voir qu'il existait des arguments en faveur d'une médiation par le contrôle attentionnel, notamment le fait que la variance résiduelle de la capacité de MDT après avoir contrôlé pour la MCT corrèle avec la cognition de haut niveau. Cependant, il existe également dans la littérature des arguments en faveur d'une médiation par la MCT. En effet, bien que certains auteurs aient initialement montré que les empan simples corrélaient peu avec les mesures de cognition de haut niveau (Engle, Tuholski, et al., 1999 ; Kane et al., 2004 ; Perfetti & Goldman, 1976), certaines études ont au contraire montré un lien entre la MCT et la cognition de haut niveau (Colom, Abad, Quiroga, Shih, & Flores-Mendoza, 2008 ; Colom, Abad, Rebollo, & Shih, 2005 ; Colom, Flores-Mendoza, Quiroga, & Privado, 2005). De plus, la modification des méthodes de cotation ou la modification des procédures d'analyse peuvent affecter la significativité de la relation entre MCT et cognition de haut niveau (Colom et al., 2006). L'approche par les aptitudes mnésique défend donc l'idée que les différences interindividuelle de capacité de MDT sont expliquées par des différences d'aptitudes mnésiques comme l'aptitude à récupérer des informations stockées en MLT.

Récemment, ces deux approches ont été unifiées en un seul et même modèle fonctionnel de la MDT, qui suppose que l'aptitude de contrôle attentionnel ainsi que les aptitudes mnésiques sont tous deux d'importants déterminants de la capacité de MDT et que le pouvoir prédictif de la MDT repose sur la combinaison de ces deux aptitudes (Unsworth & Engle, 2007a). Selon ce modèle, le contrôle attentionnel intervient dans le maintien en mémoire primaire (que les auteurs considèrent comme équivalente à la MCT) d'un petit nombre de représentations dans un état de haute accessibilité, afin qu'elles soient disponibles pour les traitements en cours. Ces représentations incluent par exemple des plans d'action, des buts pertinents pour la tâche en cours, ou des informations dans le cas de tâches de mémoire. Ces représentations sont activement maintenues en mémoire primaire aussi longtemps que de l'attention leur est allouée. Dans la situation où l'attention est déplacée des informations en mémoire primaire vers une autre tâche, ou si elle est attirée par des distracteurs internes ou externes, alors les représentations maintenues en mémoire primaire sont déplacées en mémoire secondaire. La mémoire secondaire (James, 1890) correspond à la MLT, définie

comme un système de stockage à très grande capacité et qui stocke les informations sur une grande période de temps (Atkinson & Shiffrin, 1968). Dans le cas où les informations seraient déplacées en mémoire secondaire, la récupération de ces informations reposerait notamment sur un mécanisme de recherche dépendant de la génération d'indices de récupération (Raaijmakers & Shiffrin, 1981).

À partir de ce modèle, Unsworth et Engle (2007a) développent l'idée selon laquelle il existe des différences interindividuelles non seulement dans l'aptitude de contrôle attentionnel, impliquée dans le maintien actif des représentations en mémoire primaire, mais aussi dans l'aptitude à récupérer les représentations en mémoire secondaire, notamment à travers l'utilisation d'indices pour contraindre l'étendue de la recherche. Plus précisément, les auteurs supposent que les participants avec une faible capacité de MDT sont moins efficaces dans l'utilisation d'indices liés à la source ou au contexte lorsqu'il s'agit de récupérer des informations en mémoire secondaire, par rapport aux participants avec une forte capacité de MDT. Cela implique que ces participants utilisent des indices de source ou de contexte plus bruités lors de la récupération, donc que leur ensemble de recherche mnésique contient moins d'informations pertinentes et plus d'informations non pertinentes. Un certain nombre de résultats, obtenus à partir de la technique des équations structurelles, permettent aujourd'hui d'appuyer cette approche (Shipstead, Lindsey, Marshall, & Engle, 2014 ; Unsworth et al., 2014 ; Unsworth & Spillers, 2010b), bien que certains auteurs tendent à encourager la prise en compte d'un grand nombre d'autres facettes dans la compréhension de la MDT (Unsworth et al., 2014).

Selon ce modèle, le lien entre MDT et cognition de haut niveau reposerait donc sur des différences interindividuelles d'efficacité du contrôle attentionnel, de la mémoire primaire, et de la mémoire secondaire. Certains auteurs considèrent même que la performance en mémoire explique exclusivement la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau (Mogle, Lovett, Stawski, & Sliwinski, 2008). Cependant, il est important de noter que la performance en mémoire ne repose pas uniquement sur la capacité en mémoire. L'efficacité de la récupération des informations en mémoire dépend avant tout de l'ensemble des facteurs et des capacités affectant l'encodage (Unsworth & Spillers, 2010b), qui déterminent le succès avec lequel les informations seront encodées (Shipstead et al., 2014).

D'après Craik et Brown (2000), cette efficacité dans l'encodage des informations en mémoire repose sur le fait de réaliser un encodage profond et élaboré (notion d'élaboration), sur l'accentuation des caractéristiques distinctives (notion de distinctivité), mais aussi sur une bonne insertion dans des structures de connaissances déjà connues (notion d'organisation).

- L'élaboration correspond à la richesse d'encodage d'une information : il s'agit de la différence entre simplement jeter un œil par la fenêtre ou s'attarder sur l'ensemble de la scène, le nombre de voitures rouges, l'arbre coupé au second plan... ;
- la distinctivité correspond à la situation où une information à encoder ressort de façon saillante de son contexte, comme la voiture rouge au milieu des voitures grises ou l'arbre coupé au milieu de la rangée de hêtres feuillus ;
- l'organisation correspond au fait de créer un lien entre les informations individuelles afin de former des unités plus larges, le plus souvent sur la base de leur signification (Craik & Brown, 2000).

L'approche en termes de niveaux de traitement est une parfaite illustration de la notion d'élaboration et de son influence sur l'encodage (Craik & Lockhart, 1972) ; elle s'appuie sur l'importance cruciale des processus d'encodage dans le fonctionnement de la mémoire. Cette approche suggère que les informations entrantes sont traitées à différents niveaux ou profondeurs, depuis les niveaux sensoriels superficiels jusqu'aux niveaux profonds impliquant la sémantique. Plus le traitement est profond (ce qui est déterminé par une plus grande attention et un plus grand effort ou par des informations hautement sémantiques), meilleure sera la récupération ultérieure.

Par conséquent et en considérant l'ensemble de ces facteurs d'encodage, un participant qui élabore par un niveau d'encodage profond, qui prend en compte ou recherche le caractère distinctif, ou encore qui organise les informations qu'il doit mémoriser améliorera le succès avec lequel ces informations seront encodées et donc subséquemment récupérées. L'approche avec laquelle le participant abordera la tâche sera donc déterminante dans le succès de son encodage. Autrement dit, le succès de l'encodage va dépendre des stratégies mises en place par le participant, c'est-à-dire l'approche de la tâche qu'adoptent les participants (Rogers, Hertzog, & Fisk, 2000).

Résumé du Chapitre 1 :

- MCT et MDT sont deux systèmes de stockage à court terme.
- Il existe des différences interindividuelles dans la capacité de MDT.
- MDT et cognition de haut niveau sont fortement liées.
- Le contrôle attentionnel et les aptitudes mnésiques sont deux déterminants importants de la capacité de MDT.
- Les aptitudes mnésiques dépendent de facteurs affectant l'encodage, tels que le fait de réaliser un encodage profond.

Chapitre 2 : Les stratégies dans les empan complexes

Dans ce chapitre, nous allons présenter le concept de stratégie, puis nous allons montrer que les stratégies représentent une source de différences interindividuelles impliquée dans les empan complexes. Enfin, nous présenterons les études qui se sont intéressées à l'influence de ces différences dans la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau ; nous verrons que ces études concluent que les différences interindividuelles de comportement stratégique dans les empan complexes n'interviennent pas dans la relation existant entre MDT et cognition de haut niveau.

L'étude des différences interindividuelles dans la performance cognitive est traditionnellement dominée par deux approches (Schunn et Reder, 1998). La première approche, dite paramétrique, part du principe selon lequel les individus diffèrent dans leurs performances à cause de quelques paramètres ou aptitudes fondamentales de l'architecture cognitive. Cette approche inclut les approches psychométriques et les approches en termes de traitement de l'information. Dans le cadre de cette approche, les méthodes de recherche consistent à mettre au point un paradigme ultérieurement utilisé dans des conditions de laboratoire. Chaque champ de recherche dispose de ses propres paradigmes, comme par exemple le rappel de listes ou les tâches de reconnaissance utilisées pour étudier la mémoire, ou les tâches de décision lexicale pour étudier le langage. Le postulat sous-jacent à ce type de méthode d'étude est que la performance d'un participant réalisant une tâche issue d'un paradigme refléterait la mise en œuvre du ou des paramètres cibles. Dans ce cadre, on suppose que tous les participants utilisent la même procédure, et que les différences interindividuelles de performance reflètent des différences d'efficacité du ou des paramètre(s) sous tendant la performance. Comme le font remarquer Schunn et Reder (1998), la capacité de MDT est un paramètre particulièrement populaire.

La seconde approche est l'approche par les stratégies, qui part du principe qu'une tâche peut être traitée de multiples façons et que les individus diffèrent par les stratégies qu'ils utilisent. De ce cadre, la réalisation d'une tâche implique la sélection et la mise en œuvre de stratégies dans le but de créer des solutions (Gigerenzer, 2008 ; Marewski & Schooler, 2011 ; Rieskamp & Otto, 2006). Pour illustrer cette approche, on peut citer des travaux qui considèrent que les enfants plus âgés utilisent des stratégies différentes par rapport aux jeunes enfants, et cela dans un grand nombre de domaines (Siegler, 1983) ; c'est également le cas pour les personnes âgées par rapport aux plus jeunes (Dunlosky & Connor, 1997), ou encore les experts par rapport aux novices (Larkin, McDermott, Simon, & Simon, 1980). Il est à

noter que l'approche par les styles cognitifs est une variante de l'approche par les stratégies, dans laquelle les individus peuvent différer de par leur style, c'est-à-dire leur mode typique de traitement de l'information (voir Sternberg & Grigorenko, 1997).

Kyllonen, Lohman, et Woltz (1984) décrivent trois cas possibles d'interaction entre l'approche par les stratégies et l'approche paramétrique. Dans le premier cas, les stratégies sont limitées par les aptitudes et l'utilisation d'une stratégie nécessite un niveau particulier dans l'aptitude impliquée (un participant ne peut donc pas utiliser n'importe quelle stratégie). Dans le second cas, les stratégies ne sont pas limitées par les aptitudes, mais la réalisation efficace de la stratégie dépend des aptitudes impliquées par cette stratégie (un participant peut donc utiliser n'importe quelle stratégie, mais l'efficacité de cette stratégie pourra varier en fonction du niveau de l'aptitude sous-jacente). Dans le troisième cas, les aptitudes limitent à la fois le choix dans les stratégies utilisées et l'efficacité avec laquelle ces stratégies sont utilisées. Notre travail de recherche s'appuiera essentiellement sur le premier cas, et parfois sur le second.

A. Définition et méthodes d'étude des stratégies

Le terme « *stratégie* » est utilisé dans des contextes variés et, en tant que tel, de nombreuses connotations lui sont attribuées. Globalement, une stratégie correspond à l'approche de la tâche qu'aura un individu donné (Rogers et al., 2000), et la mise en place d'une stratégie implique un certain effort mental (Dunning & Holmes, 2014). D'une façon générale, une stratégie peut être envisagée soit comme une méthode consciente utilisée pour accomplir un objectif ou atteindre un but (Rogers et al., 2000), soit comme une procédure ou un ensemble de procédures utilisées pour réaliser une tâche ou un but de haut niveau et qui ne requièrent pas d'être conscientisées (Lemaire & Reder, 1999, p. 365). Selon nous, la nécessité que la procédure soit consciente ou non se rapporte à une prise de position théorique qui influencera principalement la méthode d'étude utilisée. Par exemple, les reports verbaux ne permettent pas d'accéder à des procédures non conscientes.

Dans le cadre de l'étude de la mémoire, et plus spécifiquement l'étude de la MDT, une stratégie peut être définie comme une technique ayant pour but la facilitation du traitement et/ou du stockage (Dunlosky & Kane, 2007, p. 447). Pour faciliter la performance mnésique, Dunlosky et Hertzog (1998) proposent plusieurs stratégies d'encodage : l'imagerie, la génération de phrases, l'autorépétition. Ils laissent également la possibilité aux participants d'utiliser d'autres stratégies, ou aucune. Ces auteurs montrent que d'une façon générale, les

stratégies d'imagerie et de génération de phrases améliorent la récupération subséquente d'une façon plus importante que la stratégie d'autorépétition (ou que l'absence de stratégie). Ces stratégies sont donc considérées comme étant efficaces, puisqu'elles permettent de meilleures performances mnésiques. Dans le cadre de l'approche par niveaux de traitements, on peut considérer que les stratégies d'imagerie et de génération de phrase se reportent à des niveaux de traitement plus profonds que la stratégie d'autorépétition (ou qu'aucune stratégie), ce qui explique pourquoi ces stratégies sont plus efficaces.

Il n'existe à notre connaissance que trois types de méthode d'étude des stratégies : une méthode directe, celle du report verbal, et deux méthodes indirectes, l'analyse des temps d'observation des informations et l'analyse des patterns de réponse. La troisième méthode étant très dépendante de la tâche utilisée, nous nous intéresserons plus particulièrement aux deux premières.

1. Les reports verbaux

De façon générale, on peut dire que le report verbal consiste à interroger le participant sur la manière dont il a résolu une tâche donnée. Historiquement, l'utilisation des reports verbaux a été largement controversée (voir par exemple Kirk & Ashcraft, 2001 ; Smith-Chant & LeFevre, 2003), notamment à cause d'une association malheureuse avec les méthodes d'introspection. On trouve trois préoccupations au sujet des reports verbaux : 1) le problème de validité, 2) le problème de réactivité, et 3) le problème du biais de demande.

1) Le problème de validité correspond à la question suivante : est-ce que les informations apportées par ce type de report reflètent correctement les processus mentaux ? On considère par exemple que les processus mentaux devenus automatiques ne sont pas accessibles à la verbalisation (Ericsson & Simon, 1993 ; Payne, 1994 ; Russo, Johnson, & Stephens, 1989 ; Wilson, 1994), ce qui limite donc les reports verbaux aux informations disponibles et accessibles en MCT.

2) Le problème de réactivité implique la question : est-ce que le fait de demander aux participants de reporter leurs processus mentaux altère le contenu de ces processus ? Russo et ses collaborateurs (1989), par exemple, soulignent que les reports verbaux peuvent réduire les ressources disponibles et/ou orienter les participants vers plus de précision car leurs erreurs sont publiquement exposées lors de la verbalisation. Ils ajoutent que le choix des stratégies peut être modifié si les participants savent qu'ils auront à expliquer leurs processus mentaux. En effet, si la stratégie utilisée est difficile à expliquer, le participant pourrait choisir une autre

stratégie uniquement pour réussir à la reporter de façon intelligible. Dans ce cas, même si le report décrit fidèlement les processus mentaux, il altère fondamentalement le traitement qui aurait été réalisé en conditions normales, ce que l'on qualifie d'effet réactif.

3) Le problème du biais de demande repose quant à lui sur cette question : est-ce que les reports verbaux peuvent être considérés comme aussi objectifs que d'autres types de données comportementales ? On peut en effet se demander à quel point cette procédure expérimentale peut influencer les stratégies sélectionnées par les participants (Kirk & Ashcraft, 2001). Un participant pourrait en effet se fonder sur ses croyances sur la façon dont il pense devoir effectuer la tâche, et donc utiliser une certaine stratégie pour se conformer à la demande expérimentale qu'il aura ainsi identifiée.

Il faut donc garder à l'esprit que les reports verbaux ne sont pas un reflet parfait des processus mentaux. Pour Ericsson et Simon (1980), les données issues des recherches utilisant les reports verbaux fournissent des informations complètes sur les processus mentaux dans le cas où les recherches utilisant cette méthode prennent en compte leurs limitations spécifiques : ne peuvent donc pas être étudiés par reports verbaux les processus automatiques et les processus qui ne sont pas disponibles dans un format phonologique ou qui ne peuvent pas être aisément transformés dans un format phonologique. Il reste cependant difficile de déterminer dans quelles circonstances les participants utilisent des processus automatiques, ce qui nécessite une attention particulière afin de déterminer a priori l'accessibilité des processus cibles (Wilson, 1994). Ce dernier point pose particulièrement problème dans le cadre de l'étude des stratégies : pour certains auteurs, comme les stratégies correspondent à l'approche de la tâche adoptée par un individu, le comportement stratégique peut avoir lieu avec ou sans acte de choix volontaire (Rogers et al., 2000).

Globalement, on retiendra que les reports verbaux peuvent fournir des informations valides et utiles sur les processus mentaux (Campbell & Austin, 2002 ; Campbell & Penner-Wilger, 2006 ; Grabner & De Smedt, 2011 ; Smith-Chant & LeFevre, 2003). Cette affirmation peut être conditionnée par le respect de certaines conditions comme la disponibilité en MCT du contenu et son format phonologique (Ericsson & Simon, 1980).

On trouve trois sortes de reports verbaux : 1) les reports rétrospectifs généraux, 2) les reports essai par essai réalisés de façon concurrente avec la tâche, et 3) les reports essai par essai réalisés uniquement en fin de tâche.

1) Les reports rétrospectifs généraux (Friedman & Miyake, 2004a ; McNamara & Scott, 2001 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003) consistent, pour les participants, à expliquer comment ils ont fait pour compléter la tâche de façon générale, et ce une fois que la tâche est

terminée. Cependant, ce type de report ne prend pas en compte les variations possibles de stratégies entre les différents essais d'une même tâche (Siegler, 1987).

2) Pour dépasser ce problème méthodologique, certains auteurs ont mis en place des reports de stratégies essai par essai (comme par exemple Rowe & Schnore, 1971). Ce type de report apporte censément des informations plus précises sur la répartition des stratégies utilisées : imaginons la situation dans laquelle le participant utilise parfois une stratégie d'autorépétition, parfois une stratégie d'imagerie pour réaliser une tâche de mémoire. S'il a utilisé la première seulement 20% du temps, et la seconde 80% du temps, le report global ne permet pas de le mettre en évidence, tandis que les reports essai par essai le permettent. Cependant, ces reports sont réalisés de façon concurrente à la tâche étudiée, et peuvent donc conduire à des effets réactifs.

3) Les reports essai par essai peuvent également être mis en place en fin de tâche (Dunlosky & Hertzog, 2001) ; il s'agit dans ce cas de présenter au participant une liste de l'ensemble des essais qu'il a réalisés et de lui demander quelle stratégie il a utilisé pour chacun de ces essais. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle repose sur une récupération en MLT ou mémoire secondaire. Dans le cas d'études portant sur des populations dont les capacités de récupération en mémoire secondaire diffèrent, comme les participants avec une forte et une faible capacité de MDT, ce type de report pourrait être biaisé. Toutefois, ces reports essai par essai en fin de tâche montrent globalement une bonne validité et ne causent pas d'effets réactifs (Dunlosky & Hertzog, 2001).

Une récente étude a présenté des données de validation de ces trois types de reports (Dunlosky & Kane, 2007), et ce dans un empan complexe. Dans cette étude, les deux méthodes de reports essai par essai (report après chaque essai et report en fin de tâche) divergeaient du report rétrospectif général dans la mesure où les participants devaient sélectionner une stratégie parmi plusieurs sous forme de choix forcé, chaque stratégie étant décrite en une phrase. Aucune information sur l'efficacité de chaque stratégie n'était divulguée aux participants. Les stratégies sélectionnées pour composer la liste étaient issues des travaux portant sur l'utilisation de stratégies dans le rappel libre (Hertzog, McGuire, & Lineweaver, 1998) ou l'apprentissage de paires (Dunlosky & Hertzog, 1998), et également d'un petit nombre de reports verbaux obtenus pour des participants pilotes. Ces stratégies étaient les suivantes : lire chaque mot lorsqu'il apparaît, répéter les mots autant que possible, utiliser une phrase pour lier les mots ensemble, développer des images mentales des mots, grouper les mots d'une façon signifiante, autre stratégie. On remarque que les auteurs ajoutent deux stratégies à celles qui sont définies de façon classique : la stratégie peu profonde de

lecture, ainsi que la stratégie de groupement, qui consiste à réorganiser les informations et permet, comme nous l'avons vu (pp. 25 à 26), d'améliorer le succès de l'encodage (Craig & Brown, 2000).

Dans cette étude (Dunlosky & Kane, 2007), le report rétrospectif général était coté par deux évaluateurs en double aveugle. Les stratégies étaient catégorisées selon qu'elles étaient uniquement peu efficaces (le participant reporte utiliser la lecture seule, l'autorépétition seule, ou les deux), peu efficaces/efficaces (le participant reporte utiliser à la fois la lecture et l'autorépétition, ainsi qu'une stratégie efficace d'encodage plus profond), ou uniquement efficaces (le participant ne reporte utiliser que l'imagerie, la génération de phrase, ou le regroupement). Les auteurs ont appuyé cette classification sur des travaux antérieurs (voir par exemple Richardson, 1998). Les résultats de ce report rétrospectif général remettaient en cause la validité de cette méthode, car la performance obtenue dans la tâche mnésique n'était pas toujours plus élevée quand les participants reportaient utiliser des stratégies considérées comme efficaces. Ce résultat est plutôt surprenant au regard des études précédentes montrant un lien entre utilisation de stratégies d'encodage profond et performance dans une tâche mnésique (Dunlosky & Hertzog, 1998).

En ce qui concerne les deux méthodes de report essai par essai (report concurrent et report en fin de tâche), Dunlosky et Kane (2007) ont observé que le profil de stratégies reportées ne différait pas en fonction du moment du report. La consistance entre ces deux types de reports montre que le report essai par essai en fin de tâche est représentatif des stratégies utilisées pour réaliser l'empan d'opérations : il semble n'y avoir que peu d'oubli des stratégies entre la réalisation de la tâche et le moment de report. De plus, la consistance intraindividuelle entre ces deux types de reports était modérée, ce qui suggère que l'oubli n'a qu'une influence mineure sur la validité du report en fin de tâche. Les auteurs évaluaient également la fiabilité de cette mesure via une séparation des items en deux lots, et trouvaient un coefficient de fiabilité tout à fait satisfaisant ($r = .91$). La validité de construit de ces deux méthodes de report essai par essai était également satisfaisante : la performance mnésique était meilleure lorsque les participants reportaient avoir utilisé des stratégies considérées comme efficaces (c'est-à-dire l'imagerie, la génération de phrases et le regroupement), par rapport aux essais où les participants utilisaient des stratégies considérées comme moins efficaces et plus passives (lecture et autorépétition).

Pour résumer, cette étude remet partiellement en cause la validité du report rétrospectif global, et met en évidence la validité et la fiabilité des méthodes de reports essai par essai. De plus, le report essai par essai en fin de tâche montre une bonne validité, une bonne fidélité et

une bonne consistance, ce qui permet d'éviter tout effet réactif dû à un report réalisé après chaque essai.

2. Analyse des temps d'observation

La méthode indirecte d'étude des stratégies par l'analyse des temps d'observation des informations à mémoriser repose sur l'hypothèse selon laquelle la mise en place de stratégies requiert du temps (Carpenter & Just, 1989 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a). Autrement dit, cette méthode est une indication de la façon dont les participants approchent la tâche du point de vue stratégique. Cependant, cette méthode ne permet d'obtenir qu'une information implicite sur l'utilisation ou non de stratégies, sans permettre d'en déterminer la nature.

Parmi les études qui utilisent ce type de méthode, certaines utilisent des paradigmes d'auto-administration dans lesquels les participants sont libres d'examiner une information aussi longtemps qu'ils le souhaitent et déclenchent eux-mêmes le passage à l'essai ou à l'information suivante (Engle, Cantor, & Carullo, 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). D'autres études mesurent les mouvements oculaires afin de déterminer la distribution du temps d'observation sur les informations présentées (Carpenter & Just, 1989 ; Kaakinen & Hyönä, 2007), ou afin de déterminer où se déplace le regard au cours du temps pour en inférer les traitements utilisés (Carpenter et al., 1990 ; Vigneau, Caissie, & Bors, 2006). Cette méthode d'étude permet d'obtenir une mesure des stratégies non conscientes, ce qui n'est pas le cas des reports verbaux. Cependant, cette mesure est très indirecte, et demande de nombreuses inférences pour passer d'un pattern de mouvements oculaires à une interprétation cohérente du comportement stratégique.

B. Influence des stratégies dans les empan complexes

La récupération en mémoire secondaire serait l'une des sources de différences interindividuelles de capacité de MDT. Cette récupération dépend du succès avec lequel les informations sont encodées, et plusieurs facteurs peuvent influencer le succès de l'encodage comme la distinctivité, l'organisation et l'élaboration. Les stratégies mises en place au moment de l'encodage peuvent modifier le degré avec lequel ces facteurs interviennent, et donc l'efficacité de l'encodage. Par conséquent, les stratégies d'encodage mises en place pendant un empan complexe pourraient influencer la performance observée dans ce type de

tâche en modulant le nombre d'informations correctement rappelées. Cela conduit donc à s'interroger sur le rôle de ces stratégies d'encodage dans la performance dans des empan complexes.

Certains auteurs ont supposé que le traitement concurrent impliqué par les tâches d'empan complexe aurait pour effet de limiter la mise en œuvre des stratégies d'encodage que permettent les tâches d'empan simple. Ainsi, les empan complexes seraient un reflet plus fidèle que les empan simples de la capacité de MDT (Conway et al., 2003 ; Cowan, 2001 ; Engle, Nations, & Cantor, 1990 ; Just & Carpenter, 1992), car l'ajout de la tâche de traitement empêcherait la mise en place des stratégies d'encodage pouvant être observées dans les empan simples. Cependant, un certain nombre d'études portant sur des empan complexes ont remis en cause la validité de cette position et ont montré qu'il existait bien différentes stratégies d'encodage dans les tâches d'empan complexes. Par exemple, la méthode du report de stratégies essai par essai en fin de tâche a été validé à partir des stratégies recueillies dans un empan complexe (Dunlosky & Kane, 2007), ce qui n'aurait pas été possible si les empan complexes empêchaient toute utilisation de stratégies. Une autre étude (Turley-Ames & Whitfield, 2003) a également montré que sur 360 participants, 42% avaient reporté s'être engagés dans des stratégies d'encodage afin de réaliser un empan d'opérations. Il semble donc que les empan complexes fassent intervenir certaines stratégies. De là, on peut poser la question : est-ce que le comportement stratégique peut être lié à la performance observée dans des empan complexes ?

1. Capacité de mémoire de travail et stratégies

Certaines stratégies pourraient conduire à de meilleures performances dans des empan complexes, notamment les stratégies d'encodage que l'on pourrait qualifier d'efficaces et basées sur de l'encodage profond (imagerie, génération de phrases) ou organisé (groupement), par opposition à des stratégies basées sur de l'encodage superficiel (lecture ou autorépétition). Certaines études ont d'ailleurs montré qu'un encodage profond améliorerait la performance globale dans un empan complexe (Loaiza, McCabe, Youngblood, Rose, & Myerson, 2011). Il convient alors à ce stade de se questionner sur la mesure dans laquelle les différences interindividuelles de capacité de MDT, telle que mesurée à l'aide des empan complexes, sont en lien avec les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies d'encodage efficaces.

Nous appuyons cette question de recherche à la fois sur l'approche paramétrique et sur l'approche par les stratégies. Ces deux approches ne sont pas mutuellement exclusives, et l'on peut supposer que les participants diffèrent dans les stratégies qu'ils utilisent à cause de différences paramétriques (Schunn & Reder, 1998). Le contrôle attentionnel semble être un paramètre à l'origine d'une partie des différences interindividuelles en MDT (Engle & Kane, 2004). On peut donc supposer que les participants plus efficaces dans leur contrôle attentionnel seront plus à même de mettre en place des stratégies complexes d'encodage profond, par rapport aux participants moins efficaces dans leur contrôle attentionnel, qui utiliseront des stratégies peu complexes comme la simple lecture ou l'autorépétition, ou pas de stratégies du tout (pour un argumentaire équivalent, voir Ang & Lee, 2010 ; Rosen & Engle, 1997).

a) Les stratégies mesurées par les reports verbaux

Plusieurs études se sont intéressées aux différences d'utilisation de stratégies d'encodage dans les empan complexes en utilisant des reports verbaux (Bailey, Dunlosky, & Kane, 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Kaakinen & Hyönä, 2007 ; McNamara & Scott, 2001).

McNamara et Scott (2001; Étude 2) ont interrogé leurs participants après qu'ils aient complété une tâche d'empan de lecture. Plus spécifiquement, les auteurs ont demandé aux participants comment ils avaient essayé de mémoriser les mots, ce qui correspond à l'utilisation d'un report rétrospectif général. Les stratégies reportées ont ensuite été classées en stratégies profondes, qui correspondaient soit à créer des images mentales, soit à créer des histoires, soit à relier les mots à des expériences personnelles, et en stratégies superficielles. Sur les 60 participants interrogés, 5 ont reporté n'utiliser aucune stratégie, 17 ont reporté utiliser une stratégie superficielle d'autorépétition, 20 ont reporté utiliser une combinaison de stratégies superficielles et profondes et 18 ont reporté utiliser une stratégie sémantique profonde. D'une part, les participants utilisant naturellement des stratégies rappelaient plus de mots – et avaient donc un score de capacité de MDT plus élevé – que les participants utilisant moins de stratégies – et ce toutes stratégies confondues. De plus, les auteurs ont montré qu'une plus grande utilisation d'une stratégie sémantique profonde conduisait à rappeler plus de mots qu'une stratégie d'autorépétition. En revanche, cette étude ne permet pas vraiment de déterminer si les participants avec une forte capacité de MDT, en plus d'être ceux utilisant le

plus de stratégies, étaient également ceux qui utilisaient le plus souvent les stratégies profondes qui menaient à une meilleure performance de MDT.

Dans la même perspective, Friedman et Miyake (2004a) se sont intéressés aux stratégies utilisées dans l'empan de lecture. Après avoir réalisé cet empan complexe, ils demandaient aux participants de répondre à une série de questions à propos des stratégies qu'ils avaient utilisées durant la tâche. On leur posait les questions suivantes : « Avez-vous utilisé des stratégies pour vous aider à vous rappeler des mots ? Si oui, lesquelles ? » Ces deux questions correspondent à un report rétrospectif général. Les auteurs demandaient ensuite : « Étiez-vous consistants dans votre utilisation de ces stratégies ? C'est-à-dire, les avez-vous utilisées tout au long de la tâche, ou avez-vous changé en cours de tâche ? ». Les stratégies reportées étaient ensuite catégorisées en trois principaux types (construits à partir des travaux de Turley-Ames et Whitfield, 2003) : le type phonologique superficiel, comprenant les stratégies d'autorépétition des mots ou de certaines caractéristiques des mots, le type sémantique, comprenant les stratégies impliquant le sens du matériel comme la génération de phrases ou la création d'associations, et enfin le type visuel, comprenant les stratégies d'imagerie mentale comme créer une image mentale accompagnant chaque mot ou essayer de se rappeler de l'image du mot tel qu'écrit à l'écran. 59% des participants ont utilisé des stratégies phonologiques, 45% des stratégies sémantiques, et 18% des stratégies visuelles (les participants pouvaient reporter l'utilisation de plusieurs stratégies). La seule donnée différentielle présente dans cette étude concerne les participants utilisant des stratégies de type visuel, qui réalisaient des scores dans l'empan de lecture plus élevés que ceux n'utilisant pas ce type de stratégie. Autrement dit, les participants avec une forte capacité de MDT telle que mesurée par l'empan de lecture reportaient plus souvent utiliser des stratégies visuelles.

Cependant, nous pouvons identifier deux problèmes majeurs dans cette étude, et qui nous font considérer ce résultat avec précaution. Le premier problème est d'ordre conceptuel, car dans le type visuel, on trouve à la fois une stratégie profonde d'imagerie et une stratégie superficielle basée sur des aspects perceptifs. Nous ne pouvons donc pas savoir lequel de ces deux aspects les participants avec une forte capacité de MDT mettent le plus en œuvre, puisqu'ils sont mélangés. D'autre part, ce résultat repose sur un report rétrospectif global, dont la validité a été remise en cause (Dunlosky & Kane, 2007).

Une troisième étude (Kaakinen & Hyönä, 2007) résout le problème d'ordre conceptuel, mais conserve la méthode du report rétrospectif global appliqué à un empan de lecture. Contrairement aux observations des recherches précédentes (Turley-Ames & Whitfield, 2003), seul un participant sur 53 (soit moins de 2%) reportait ne pas utiliser de

stratégie (contre 208, soit 58% pour l'étude de Turley-Ames et Whitfield, 2003). Les auteurs ont utilisé un report rétrospectif global dans lequel les participants répondaient d'abord à la question « *Avez-vous utilisé une sorte de stratégie en essayant de vous rappeler des mots finaux ?* », puis étaient invités à spécifier à l'oral de quel type de stratégie il s'agissait. Les résultats des reports montraient que les participants avec une faible capacité de MDT utilisaient principalement l'autorépétition, tandis que ceux avec une forte capacité de MDT utilisaient très largement (dans 77% des cas) une stratégie profonde sémantique. Dans cette étude, les stratégies sémantiques pouvaient être de trois types : créer un enchaînement entre les mots, comme par exemple former une phrase avec les mots à retenir ; associer les mots à retenir avec des expériences personnelles ou des informations déjà stockées en MLT, comme par exemple relier le mot à une série TV vue récemment ; ou l'utilisation de l'imagerie, dans laquelle le participant essayait de visualiser le mot à retenir et de former des scènes mentales qui utilisaient le sens du mot.

Les résultats de cette étude semblent confirmer que les participants avec une forte capacité de MDT sont généralement ceux qui utilisent des stratégies d'encodage profond. Il est intéressant de noter que dans cette étude, 25% des participants avec une faible capacité de MDT reportaient avoir essayé d'utiliser une stratégie sémantique. Cependant, et malgré leur utilisation de ce type de stratégie efficace, ils n'ont pas réussi à obtenir une bonne performance dans la tâche. Ces différences interindividuelles d'utilisation de stratégies pourraient donc reposer sur l'efficacité du contrôle attentionnel : puisque les participants avec une faible capacité de MDT ne sont pas efficaces lorsqu'ils essaient d'utiliser une stratégie d'encodage profond, cela suggère que leur contrôle attentionnel moins efficace ne leur permet pas d'utiliser ce type de stratégies avec succès. Cependant, cette étude pose toujours le problème de la validité du report rétrospectif global.

Dunlosky et Kane (2007) résolvent ce problème dans leur étude comparant la méthode du report rétrospectif global, la méthode du report essai par essai concurrent et la méthode du report essai par essai en fin de tâche. Dans les deux cas de report essai par essai, les participants étaient contraints de choisir la stratégie qu'ils avaient utilisée parmi une liste prédéfinie. Les stratégies de cette liste étaient les suivantes : lire chaque mot lorsqu'il apparaissait, répéter les mots autant que possible, utiliser une phrase pour lier les mots ensemble, développer des images mentales des mots, grouper les mots d'une façon signifiante, faire quelque chose d'autre. On peut séparer ces stratégies en deux catégories : les stratégies considérées comme efficaces et basées sur un encodage profond ou organisé (génération de phrase, imagerie et groupement), et les stratégies considérées comme peu

efficaces et basées sur un encodage superficiel (lecture et autorépétition). Le report rétrospectif global, quant à lui, a conduit à la création de plusieurs catégories de stratégies : uniquement peu efficaces (le participant ne reporte utiliser que la lecture, l'autorépétition, ou les deux), peu efficaces/efficaces (le participant reporte utiliser à la fois la lecture et l'autorépétition, ainsi que l'une des stratégies efficaces), ou uniquement efficaces (le participant ne reporte utiliser que l'imagerie, la génération de phrase, ou le regroupement)¹.

La performance obtenue dans la tâche d'empan d'opérations n'était pas systématiquement plus élevée quand les participants reportaient utiliser des stratégies considérées comme efficaces dans le cadre d'un report rétrospectif global. En revanche, les deux méthodes de report essai par essai ont indiqué que les scores d'empan d'opérations étaient plus élevés pour les essais où les participants reportaient avoir utilisé des stratégies considérées comme efficaces (c'est-à-dire l'imagerie, la génération de phrases et le regroupement), par rapport aux essais où les participants utilisaient des stratégies considérées comme moins efficaces (lecture et autorépétition). Cela signifie que les participants avec une forte capacité de MDT telle que mesurée par l'empan d'opérations reportent plus souvent utiliser des stratégies reposant sur l'élaboration profonde ou l'organisation, plutôt que des stratégies superficielles impliquant de simplement lire les mots ou de passivement les autorépéter. À titre d'exemple, la corrélation entre l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces et la performance dans l'empan d'opérations était de .30 (Étude 2).

D'autres études utilisant le report essai par essai en fin de tâche ont également mis en évidence un résultat similaire : la corrélation entre utilisation de stratégies efficaces et performance dans l'empan d'opérations était de .35 pour Bailey et al. (2008) et de .64 pour Bailey et al. (2011). De plus, ces deux études ont étendu cette observation à la corrélation entre l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces et la performance dans l'empan de lecture, avec $r = .60$ et $r = .31$, respectivement. D'après cet ensemble de résultats, il semble donc bien que les participants avec une forte capacité de MDT utilisent plus souvent des stratégies considérées comme efficaces.

Les études que nous venons de présenter montrent, d'une part, qu'il existe une variabilité dans l'utilisation de stratégies entre les individus lorsqu'ils réalisent l'empan d'opérations ou l'empan de lecture. En dépit de cette variabilité, il semble se dégager de ces études un consensus sur la nomenclature proposée par Dunlosky et Kane (2007), selon

¹ Les essais dans lesquels les participants ont reporté avoir utilisé une autre stratégie n'étaient pas inclus dans les analyses.

laquelle les stratégies peuvent être séparées en deux groupes : les stratégies considérées comme moins efficaces (lecture et répétition), correspondant à des stratégies superficielles, et les stratégies efficaces (imagerie, génération de phrase, regroupement) correspondant à des stratégies élaboratives ou organisées. Les stratégies efficaces auraient donc en commun l'élaboration ou l'organisation supplémentaire qu'elles apportent à l'information à encoder.

D'autre part, ces études montrent qu'en moyenne, l'utilisation de stratégies efficaces est loin d'être systématique. Par exemple, les participants de l'étude de Turley-Ames et Whitfield (2003) reportaient utiliser une stratégie considérée comme efficace dans 56% des essais. Pour l'étude de Dunlosky et Kane (2007), ce même pourcentage était de 30% (Étude 1) et de 32% (Étude 2). Dans l'étude de Bailey et ses collaborateurs (2008), 32.5% des essais étaient réalisés avec l'aide d'une stratégie considérée comme efficace, tandis que Bailey et ses collaborateurs (2011) reportaient l'utilisation d'une stratégie considérée comme efficace dans 68.5% (Étude 1) et 63.25% (Étude 2) des cas.

Enfin, bien que les essais dans lesquels une stratégie efficace est utilisée ne soient pas forcément les moins nombreux, les études montrent un lien clair et positif entre l'utilisation de stratégies efficaces et la performance dans une tâche d'empan complexe. On peut donc conclure que les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à utiliser plus fréquemment des stratégies considérées comme efficaces et basées sur un encodage profond ou organisé, ou inversement que l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces prédit la performance dans les empan complexes.

b) Les stratégies mesurées par l'analyse des temps d'observation

L'analyse des temps d'observation des informations à mémoriser offre une indication indirecte de la façon dont les participants approchent la tâche du point de vue stratégique, qui permet de compléter les données collectées grâce aux reports verbaux. Dans un premier temps, nous allons nous intéresser aux paradigmes d'auto-administration (Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003) et dans un second temps aux paradigmes de mesure des mouvements oculaires (Carpenter & Just, 1989 ; Kaakinen & Hyönä, 2007).

(1) Paradigmes d'auto-administration

Dans les paradigmes d'auto-administration, les participants sont libres d'examiner une information aussi longtemps qu'ils le souhaitent et déclenchent eux-mêmes le passage à

l'essai ou à l'information suivante (Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003).

Engle, Cantor et Carullo (1992) étudient de façon indirecte l'utilisation de stratégies telle que reflétée par l'allocation stratégique de ressources aux différentes informations constituant un essai dans les empan d'opérations et de lecture. Les deux premières études de ces auteurs reposaient sur une procédure de présentation séparée des différentes parties constitutives d'un essai d'empan complexe, de façon à relever le temps d'observation que les participants accordaient à chacune de ces parties. Cette procédure, appelée « *procédure de la fenêtre mobile* », consiste à découper un essai en sous-parties présentées les unes à la suite des autres. Pour un essai de type « $(6/2) - 1 = ___ \text{ mot à mémoriser}$ », l'opération est présentée en 5 parties différentes :

- a) [(6],
- b) [/],
- c) [2)],
- d) [-] et
- e) [1].

Puis viennent ensuite les deux dernières parties

- i) [= ___] et
- j) [mot à mémoriser].

Une fois que la première partie était affichée à l'écran, le participant était libre de l'étudier le temps qu'il lui plaisait, et passait ensuite à la partie suivante en appuyant sur une touche du clavier, et ainsi de suite jusqu'à avoir vu toutes les parties de l'essai. Les auteurs ont analysé la distribution des temps d'observation des participants avec une forte et une faible capacité de MDT. Les résultats montraient que les temps d'observation des mots à mémoriser étaient plus élevés pour les participants avec une forte capacité de MDT : dans l'empan d'opérations, le temps d'observation du mot était de 1850 ms pour ces participants, tandis qu'il était de 1575 ms pour les participants avec une faible capacité de MDT ; dans l'empan de lecture, le temps d'observation du mot était de 3150 ms pour les participants avec une forte capacité de MDT, contre 1700 ms pour les participants avec une faible capacité de MDT. Les temps d'observation étaient globalement similaires pour les autres parties des essais. De plus, les auteurs ont mis en évidence une corrélation positive entre le temps passé à observer les mots à rappeler et le score obtenu dans l'empan complexe. Il semble donc que lorsque les participants étaient stratégiques dans l'allocation de leur temps en observant plus longtemps le

matériel à mémoriser (quelle que soit la façon dont ils utilisaient ce temps supplémentaire), leur performance dans les empan complexes était plus élevée.

Dans leur étude portant sur les stratégies utilisées pour réaliser un empan d'opérations, Turley-Ames et Whitefield (2003) ont également utilisé la procédure de la fenêtre mobile. Ils ont cependant ajouté une contrainte temporelle, dans le sens où le temps global dévolu pour un essai n'était plus libre comme dans l'étude précédente, mais borné à 7 secondes. Dans chacune des trois études, certains participants étaient entraînés, après avoir reçu des explications détaillées, à utiliser des stratégies particulières (autorépétition pour l'étude 1 ; autorépétition, création d'images mentales, création de phrases pour les Études 2 et 3). Un premier résultat montrait qu'avant tout type d'instruction (c'est-à-dire lors du pré-test), ce sont les participants avec une forte capacité de MDT qui étudiaient les mots à retenir le plus longtemps. Un second résultat intéressant portait sur le fait que globalement, lorsque les participants étaient entraînés à mettre en place certains types de stratégies, leurs temps d'observation des mots à mémoriser augmentaient. Ceci vient renforcer l'idée selon laquelle l'utilisation de stratégies demande plus de temps. Toutefois, les auteurs ne mentionnaient pas quelle était l'influence du temps d'étude sur les performances dans l'empan d'opérations, ce qui ne permet donc pas de savoir si, lorsqu'on se situe au niveau des différences interindividuelles, le temps d'observation est lié à des performances supérieures dans un empan complexe.

Enfin, Friedman et Miyake (2004a) ont partiellement pallié ce manque en utilisant une variante de la procédure de la fenêtre mobile : au lieu de découper un essai en plusieurs sous-parties, la procédure utilisée présentait l'essai en une fois, et les participants décidaient du temps qu'ils souhaitent y consacrer en déclenchant eux-mêmes le passage à l'essai suivant. Les auteurs ont examiné l'hypothèse selon laquelle des scores plus élevés dans l'empan de lecture seraient dus à un temps d'observation additionnel, nécessaire à l'implémentation de stratégies. Dans la situation où les participants choisissaient eux-mêmes le temps durant lequel un essai était présenté, il existait une corrélation positive entre des temps d'observation plus long et des scores d'empan de lecture plus élevés ($r = .44$). Ce résultat suggère que les participants qui passent plus de temps sur un essai utilisent effectivement ce temps afin d'augmenter de façon significative leurs scores dans l'empan de lecture. Autrement dit, ce sont les participants avec une forte capacité de MDT qui passent le plus de temps sur un essai. Ce temps serait donc utilisé pour mettre en place des stratégies permettant d'améliorer la performance.

(2) Mesure des mouvements oculaires

Un second groupe d'études a utilisé des paradigmes de mesure des mouvements oculaires, afin de déterminer de quelle façon le temps d'observation se distribue sur les différentes informations présentées (Carpenter & Just, 1989; Kaakinen & Hyönä, 2007).

Carpenter et Just (1989) ont enregistré les mouvements oculaires de six participants avec une forte capacité de MDT, ainsi que de six participants avec une faible capacité de MDT (la capacité de MDT était mesurée à l'aide d'un empan de lecture). Ils ont observé que les six participants avec une forte capacité de MDT regardaient plus longtemps les informations à mémoriser que les participants avec une faible capacité de MDT. Kaakinen et Hyönä (2007) ont également observé la distribution des temps d'observations pour chaque essai d'un empan de lecture (Étude 2), mais contrairement à Carpenter et Just (1989), ils n'ont pas mis en évidence de différence de distribution des temps d'observation entre les deux groupes de participants ; tout le monde passait plus de temps à regarder les mots à mémoriser. Cette étude et son utilisation des mouvements oculaires n'apportent donc aucun argument supportant les conclusions des études précédentes, puisqu'on ne retrouve pas de différences interindividuelles dans les temps d'observation du matériel à mémoriser tandis que les différences interindividuelles existent dans les performances dans l'empan complexe.

Il est difficile d'expliquer la divergence de résultats entre ces deux études. Kaakinen et Hyönä soulignent que la procédure utilisée par Carpenter et Just (1989) est très proche de la leur, et qu'ils disposaient d'une plus grande puissance statistique pour détecter des différences de groupes du fait de leur plus grand nombre de participants (plus de trois fois plus que dans l'étude de Carpenter et Just, 1989). Les auteurs expliquent l'incohérence entre leurs résultats et les études utilisant les paradigmes d'auto-administration (Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a) par des différences de procédures : Engle et ses collaborateurs (1992) ont utilisé une version différente de la tâche, tandis que Friedman et Miyake (2004a) ne reportaient que les temps d'observation globaux et non spécifiquement les temps correspondant à l'observation du matériel à mémoriser. Ces différences rendent toute comparaison difficile. Il est également à noter qu'avec la même procédure, les auteurs (Kaakinen et Hyönä, 2007) ont bien observé des différences de reports verbaux de stratégies (Étude 2), comme nous l'avons évoqué plus haut.

Les résultats de ces deux études (Carpenter et Just, 1989 ; Kaakinen et Hyönä, 2007) ne soutiennent donc que partiellement l'hypothèse selon laquelle les stratégies mettent du

temps à être réalisées. Cependant, cette hypothèse part du postulat selon lequel la réalisation d'une stratégie, même si elle prend du temps, se fera uniquement en regardant l'information. Or, nous pouvons suggérer que la mise en place de stratégies n'est pas forcément détectable par le temps d'observation, car les participants peuvent être en train d'utiliser une stratégie d'encodage considérée comme efficace tout en regardant autre chose que l'information qu'ils sont en train d'élaborer.

2. Synthèse

Pour résumer, dans les études utilisant la méthode du report verbal, les participants sont interrogés sur ce qu'ils ont qualitativement fait pour améliorer leurs performances. Ces études convergent vers la conclusion selon laquelle l'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces conduit à de meilleures performances dans les tâches d'empan complexes (Bailey et al., 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Kaakinen & Hyönä, 2007). Les stratégies considérées comme efficaces sont des stratégies élaboratives ou organisationnelles dans lesquelles le matériel à mémoriser est transformé, mis en lien ou enrichi d'informations additionnelles : c'est le cas des stratégies d'imagerie, de génération de phrases et de regroupement. Les stratégies considérées comme peu efficaces sont celles dans lesquelles le matériel conserve sa forme d'origine : c'est le cas des stratégies de lecture simple ou d'autorépétition.

Du point de vue de l'étude des différences interindividuelles, les participants obtenant les meilleurs scores dans des tâches d'empan complexes, donc ceux avec une forte capacité de MDT, sont ceux qui rapportent le plus utiliser des stratégies considérées comme efficaces (Bailey et al., 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Kaakinen & Hyönä, 2007). Ces conclusions sont cependant à considérer en gardant à l'esprit les variations de méthodologies utilisées. Par exemple, la plupart des études utilisent l'empan de lecture, mais la version exacte de cette tâche n'est pas la même selon l'étude considérée. Dans certaines études, la version originale de l'empan de lecture (Daneman & Carpenter, 1980) est utilisée (Carpenter & Just, 1989 ; Friedman & Miyake, 2004a), tandis que d'autres études ont recours à une version modifiée (Turner & Engle, 1989) dans laquelle les mots à mémoriser et les phrases à lire sont présentés séparément (Engle et al., 1992 ; McNamara & Scott, 2001). Enfin, les résultats apportés par les études mesurant les mouvements oculaires (Carpenter & Just, 1989 ; Kaakinen & Hyönä, 2007) sont plus mitigés car seule une étude sur deux met en évidence un lien positif entre le temps passé à observer les mots à retenir et la performance dans l'empan

complexe ; là encore, des différences de méthodologie pourraient expliquer la variabilité des résultats d'une étude à l'autre.

En conclusion, on peut considérer que la majorité des études montrent qu'il existe un lien positif entre les différences interindividuelles de performances obtenues dans des tâches mesurant la capacité de MDT et l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces.

C. Les stratégies : un médiateur de la relation MDT – cognition de haut niveau

1. Etudes corrélationnelles et expérimentales

Nous avons vu que les différentes stratégies d'encodage ont une influence sur la performance de récupération en mémoire. Or, l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces est liée aux différences interindividuelles de capacité de MDT : les participants avec une forte capacité de MDT utilisent plus souvent des stratégies considérées comme efficaces. De plus, la capacité de MDT prédit la cognition de haut niveau, notamment à travers l'implication de la mémoire secondaire dans les tâches de MDT. Il est donc important de déterminer si l'utilisation de stratégies efficaces dans des empan complexes pourrait être un médiateur de la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Dans cette perspective, Engle et al. (1992) ont utilisé la technique de la fenêtre mobile pour étudier les temps d'observation des différentes parties d'un essai d'empan complexe. Les auteurs ont observé que la performance dans des empan complexes (empan d'opérations et empan de lecture) corrélait positivement avec une tâche mesurant la compréhension verbale, le *Scholastic Aptitude Test* (ou SAT). De plus, la performance dans les tâches d'empan complexes corrélait positivement avec le temps d'observation des mots à retenir, supposé indiquer l'utilisation de stratégies plus ou moins efficaces. Cependant, ce temps d'observation ne corrélait pas avec la performance au SAT, et les auteurs n'ont pas observé de médiation du lien entre les empan complexes et la compréhension verbale par le temps d'observation. Pour les auteurs, cela indiquerait que l'utilisation de stratégies n'est pas impliquée dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Une autre étude (Dunlosky & Kane, 2007) a évalué le rôle médiateur des stratégies en utilisant la méthode de report essai par essai en fin de tâche après un empan d'opérations. Pour évaluer la cognition de haut niveau, les auteurs utilisaient trois tests standards d'habileté verbale qui étaient la compréhension de lecture, les analogies verbales, et une tâche consistant

à réaliser des inférences. Les résultats ont montré une corrélation positive entre l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces et la performance dans l'empan d'opérations. De plus, la performance dans l'empan d'opérations corrélait positivement avec la performance dans les tests d'analogies verbales et de compréhension de lecture. Cependant, lorsque la proportion d'utilisation de stratégies considérées comme efficaces était statistiquement contrôlée, la corrélation entre la performance dans l'empan d'opérations et dans les tests d'habileté verbale n'était pas modifiée. Tout comme celle d'Engle et al. (1992), cette étude suggère que l'utilisation de stratégies n'est pas impliquée dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Bailey et al. (2008) se sont également intéressés à l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces dans l'empan de lecture et d'opérations comme médiateur du lien entre MDT et cognition de haut niveau, en utilisant la compréhension verbale mesurée à travers le test de Nelson-Denny et le SAT. Dans cette étude, l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces dans les tâches d'empan complexes ne corrélait pas significativement avec la compréhension verbale. Plus important encore, la quantité de variance partagée entre la performance dans les empan complexes et la compréhension verbale était de 14% sans contrôle de l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces, et de 13% lorsqu'on contrôlait cette utilisation de stratégies ; autrement dit, l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces n'expliquait que 7% de la variance commune à la performance dans les empan complexes et dans la compréhension verbale. Les auteurs n'ont pas directement réalisé de test de médiation, mais une ré-analyse de leurs données montre que contrôler statistiquement de l'utilisation de stratégies ne modifie pas le lien entre capacité de MDT et compréhension verbale, $z(147) = .14$; $p = .89$. Ici encore, les résultats semblent indiquer que l'utilisation de stratégies n'est pas impliquée dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Dans une autre étude portant sur une question de recherche similaire, Friedman et Miyake (2004a) ont utilisé une variante de la technique de la fenêtre mobile où les participants choisissaient le temps qu'ils pouvaient consacrer à chaque essai. Dans cette étude, la tâche utilisée pour mesurer la capacité de MDT était l'empan de lecture ; les mesures de cognition de haut niveau étaient deux tâches de compréhension verbale issues du SAT. Comme nous l'avons vu, les auteurs ont observé une corrélation positive entre les temps d'observation du matériel et les scores d'empan de lecture. De plus, on observait également une corrélation positive entre les scores dans l'empan de lecture et les scores de compréhension verbale. Enfin, lorsqu'on contrôlait statistiquement pour le temps

d'observation, les corrélations entre le score d'empan de lecture d'une part et les scores sur les deux tâches de compréhension verbale d'autre part augmentaient (passant de .28 à .42 et de .18 à .29 respectivement). Les auteurs ont conclu que non seulement l'utilisation de stratégies n'était pas impliquée dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau, mais aussi que cette variance augmentait le bruit dans la mesure de capacité de MDT, masquant donc la « vraie » relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Afin de dépasser la méthode de contrôle statistique utilisée dans les études précédentes, Turley-Ames et Whitfield (2003) ont testé de manière expérimentale l'hypothèse d'une médiation par le comportement stratégique. L'objectif de leur étude était plus précisément de déterminer l'impact d'instructions à propos de l'utilisation de stratégies sur la corrélation entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau. Le protocole expérimental mis en place consistait en la réalisation de deux versions consécutives de l'empan d'opérations, la seconde réalisation étant précédée d'instructions sur les stratégies d'encodage à employer. Trois groupes de participants étaient constitués en fonction des consignes de stratégies qu'ils recevaient (Études 2 et 3) : consigne d'utiliser l'autorépétition pour le premier groupe, l'imagerie pour le second groupe, et une stratégie sémantique pour le troisième groupe. Un dernier groupe de participants recevait des instructions paraphrasant les instructions originales et constituait donc le groupe contrôle. Après la seconde réalisation de l'empan d'opérations en utilisant les stratégies indiquées, les participants réalisaient le test Nelson-Denny. Les résultats ont montré que la performance dans l'empan d'opérations avant instructions prédisait significativement la performance de compréhension verbale, tout comme la performance dans l'empan d'opérations après instructions (pour les quatre conditions expérimentales). Cependant, la corrélation entre empan d'opérations et performance de compréhension verbale augmentait après instructions d'autorépétition, ce qui n'était pas le cas pour les deux autres types d'instructions. Les auteurs en ont conclu que l'évaluation de la capacité de MDT à travers l'empan d'opérations après instructions d'autorépétition représentait une meilleure estimation du score vrai de la capacité de MDT.

L'observation d'une augmentation de la corrélation entre les scores mesurant la capacité de MDT et la compréhension verbale en situation de contrôle des stratégies a amené les auteurs à penser que la plus grande variabilité dans l'utilisation naturelle de stratégies dans la condition contrôle diminuait la relation entre ces deux construits. Bien que cette explication soit supportée par les résultats dans le cas de la stratégie d'autorépétition, elle ne semble pas s'appliquer pour les stratégies d'imagerie et sémantique. Pour expliquer cette différence, on peut supposer que tous les participants (peu importe leur capacité de MDT propre) sont

capables de réaliser la stratégie d'autorépétition avec efficacité. Nous avons vu en effet qu'il s'agit de l'une des stratégies préférentiellement utilisées par les participants avec une faible capacité de MDT (voir par exemple Dunlosky & Kane, 2007). En revanche, les participants avec une faible capacité de MDT utilisent habituellement peu les stratégies d'imagerie ou sémantique. Il est donc possible que dans les conditions d'instructions d'imagerie et sémantique, il existe des différences interindividuelles d'efficacité dans l'utilisation de ces stratégies.

Dans tous les cas, les résultats des études précédentes suggèrent conjointement que l'utilisation de stratégies constitue soit une source de variation n'intervenant pas dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau, puisque le comportement stratégique ne modifie pas cette relation dans certaines études, soit une source de bruit dans la mesure de la capacité de MDT, puisque contrôler la variabilité du comportement stratégique semble augmenter le pouvoir prédictif de la capacité de MDT dans certains cas.

2. Contrainte temporelle

La contrainte temporelle est une autre méthode permettant de tester l'hypothèse d'une médiation du lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies. Cette méthode, qui consiste à réduire le temps de présentation des stimuli, s'appuie sur l'idée que l'utilisation de stratégies correspond à un temps d'observation long (Carpenter & Just, 1989 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Kaakinen & Hyönä, 2007 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). Par conséquent, une réduction forcée du temps d'observation des stimuli devrait réduire l'utilisation des stratégies.

Deux études ont utilisé une méthode de contrainte temporelle afin de limiter le temps d'observation des stimuli à mémoriser. Lépine, Barrouillet et Camos (2005) ont demandé à des enfants (11 ans en moyenne) de réaliser deux empan complexes classiques, l'empan de lecture et l'empan d'opérations. Deux nouvelles mesures de capacité de MDT étaient également proposées. La première était un empan de lecture de lettres, pratiquement similaire à l'empan de lecture original sauf que l'évaluation de phrases était remplacée par une lecture à voix haute de 4 à 6 lettres, présentées rapidement. La seconde mesure de capacité de MDT était un empan continu d'opérations, similaire à nouveau à la tâche originale, à la différence près que chaque opération était remplacée par plusieurs opérations (+ 1 ou - 1) réalisées successivement à partir d'un même chiffre. À nouveau, la vitesse de présentation des informations était contrainte pour être très rapide. Les auteurs supposaient que cette contrainte

temporelle forte, par rapport aux empan complexes classiques, devait réduire l'utilisation de stratégies. L'évaluation de la cognition de haut niveau comprenait des épreuves d'alphabétisation, de mathématiques, ainsi qu'un score global de succès scolaire. Les résultats ont montré que même si les empan complexes classiques prédisaient bien la cognition de haut niveau, les nouveaux empan contraints temporellement étaient de meilleurs prédicteurs. Les auteurs en ont conclu que les stratégies mises en place dans les empan classiques ne contribuent pas à la valeur prédictive des mesures de capacité de MDT, mais introduisent plutôt du bruit dans leurs relations avec la cognition de haut niveau.

L'étude de St Clair-Thompson (2007) a proposé le même type de démarche, appliquée sur un échantillon de jeunes adultes. Les participants réalisaient trois empan complexes : l'empan de comptage, l'empan de lecture et un empan complexe portant sur un matériel de type spatial. Deux mesures de cognition de haut niveau étaient effectuées : une mesure de compréhension verbale et une mesure d'habiletés arithmétiques. Dans cette étude, la contrainte temporelle était appliquée aux empan complexes en automatisant les temps de présentation des stimuli. L'auteur comparait ainsi les résultats obtenus lorsque les participants choisissaient eux-mêmes la vitesse à laquelle ils effectuaient les empan complexes (temps libre, donc utilisation de stratégies non contrainte) et lorsque le temps était contraint par standardisation (temps diminué, donc utilisation de stratégies réduite). Les résultats ont montré que pour l'empan complexe spatial et l'empan de lecture, les corrélations avec les tâches de compréhension et d'habiletés arithmétiques étaient globalement plus élevées lorsque le temps était contraint par standardisation que lorsque le temps était libre. L'auteur en a conclu que la contrainte temporelle réduisait l'utilisation de stratégies dans les empan complexes et augmentait ainsi le pouvoir prédictif de ce type de tâche. Ici encore, la conclusion porte donc sur l'intérêt de supprimer les variations dues aux différences interindividuelles d'utilisation de stratégies dans les mesures de capacité de MDT, permettant ainsi une augmentation de la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

3. L'hypothèse d'affordance des stratégies

D'après les résultats que nous venons de présenter, il semblerait que l'utilisation de stratégies efficaces constitue une source de bruit dans la mesure de la capacité de MDT, et masque ainsi la véritable relation existant entre MDT et cognition de haut niveau. Certains auteurs ont cependant abordé cette question de recherche sous un angle légèrement différent : celui de l'hypothèse d'affordance des stratégies (Bailey et al., 2008). Les résultats qu'ils ont

obtenus les ont conduits à reconsidérer la validité globale de la conclusion selon laquelle l'utilisation de stratégies n'apporterait que du bruit dans la mesure de capacité de MDT.

Ces auteurs ont postulé que l'utilisation de stratégies efficaces dans les empan complexes serait un médiateur de la relation entre MDT et cognition de haut niveau pour certaines tâches, mais pas pour d'autres (Bailey et al., 2008). D'après eux, l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces médiatiserait la relation uniquement lorsque les mêmes stratégies sont mises en place dans les deux types de tâches. Par exemple, les stimuli à retenir dans l'empan d'opérations permettent l'utilisation de plusieurs stratégies d'encodage comme l'autorépétition, l'imagerie ou la génération de phrases. La médiation aurait donc lieu uniquement lorsque les tâches cognitives permettent elles aussi l'utilisation de ces mêmes stratégies d'encodage ; c'est par exemple le cas pour des tâches comme l'apprentissage de paires ou de listes de mots.

Dans cette étude (Bailey et al., 2008), les auteurs ont testé cette hypothèse, qu'ils appellent hypothèse d'affordance des stratégies, en évaluant d'une part l'utilisation des stratégies considérées comme efficaces dans des empan de lecture et d'opérations, et d'autre part la performance dans une tâche de rappel indicé de paires de mots et de rappel libre. Les résultats ont tout d'abord montré que les tâches d'empan complexes corrélaient avec les tâches de mémoire. Mais plus important encore, la quantité de variance partagée entre la performance dans les empan complexes et dans les tâches de mémoire était de 20% sans contrôle pour l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces, et de 12% lorsqu'on contrôlait pour cette utilisation de stratégies. Autrement dit, l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces expliquait 40% de la variance commune à la performance dans les empan complexes et dans les tâches de mémoire. Les auteurs se sont appuyés sur ces résultats pour conclure à la validation de leur hypothèse d'affordance des stratégies : selon eux, lorsque les stratégies utilisées dans les tâches mesurant la capacité de MDT sont de même nature que celles utilisées dans les tâches mesurant la cognition de haut niveau, alors les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces dans les tâches mesurant la capacité de MDT médiatisent la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Cependant, nous avons ré-analysé de notre côté la différence entre les corrélations entre MDT et mémoire obtenues avant contrôle des stratégies ($r = .45$) et après contrôle des stratégies ($r = .35$) ; l'analyse indique que cette différence n'est pas significative, $z(147) = 1.02$; $p = .31$. L'hypothèse d'affordance des stratégies défendue par ces auteurs ne nous semble donc pas convaincante au regard de la nouvelle analyse de leurs résultats.

En conclusion, les études que nous venons de présenter montrent que l'utilisation de stratégies dans les emfans complexes représenterait soit une source de variation qui n'interviendrait pas dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau, soit une source de bruit dans la mesure de la capacité de MDT qui masquerait la vraie relation existant entre MDT et cognition de haut niveau. Le chapitre suivant s'attachera à examiner la question de la place des stratégies dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau sous l'angle des stratégies mises en place dans les tâches de cognition de haut niveau, et non plus sous l'angle des stratégies mises en place dans les tâches mesurant la capacité de MDT.

Résumé du Chapitre 2 :

- Les approches par les aptitudes et par les stratégies sont deux façons d'appréhender les différences interindividuelles.
- On peut combiner ces deux approches en supposant que l'aptitude de contrôle attentionnel contraindrait l'utilisation de certaines stratégies efficaces.
- Les performances dans les tâches mesurant la capacité de MDT sont positivement liées à l'utilisation de stratégies efficaces.
- Cette utilisation ne médiatise pas la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Chapitre 3 : Mémoire de travail et stratégies dans les tâches cognitives

Dans ce chapitre, nous montrerons sous quelle forme se présentent les stratégies efficaces dans le domaine de la cognition de haut niveau, et nous verrons qu'il existe des différences interindividuelles dans l'utilisation de ces stratégies en fonction de la capacité de MDT. Nous montrerons ensuite que ces différences interindividuelles influencent la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau et peuvent agir comme une variable médiatrice.

A. MDT et utilisation de stratégies efficaces

Nous avons vu que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus fréquemment des stratégies considérées comme efficaces lors de la réalisation d'empans complexes, et que cette utilisation de stratégies était corrélée à la performance dans ces tâches. Nous avons également vu que l'utilisation de stratégies dans le cadre d'empans complexes ne paraissent pas expliquer la relation entre MDT et cognition de haut niveau (Bailey, Dunlosky, & Kane, 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Friedman & Miyake, 2004). Ces résultats pourraient indiquer que le lien entre capacité de MDT et comportement stratégique ne joue pas un rôle particulièrement significatif dans la cognition humaine.

Cependant, toutes ces études présentent la même limite : elles se sont uniquement intéressées à l'utilisation de stratégies dans des tâches de MDT. Or, ces tâches ne sont pas les seules sur lesquelles des stratégies complexes peuvent s'observer : les tâches de cognition de haut niveau peuvent également être associées à l'utilisation de stratégies. De plus, on peut supposer que la tendance à utiliser des stratégies efficaces est partiellement stable à travers différentes tâches. En effet, si notre hypothèse selon laquelle l'utilisation de stratégies est liée au contrôle attentionnel est correcte, alors le contrôle attentionnel plus efficace des participants avec une forte capacité de MDT devrait leur permettre d'utiliser des stratégies efficaces dans tout type de tâche. Selon cette idée, ces participants auraient une tendance générale à s'engager dans des comportements stratégiques, et cette tendance devrait être observable dans d'autres tâches que les empans complexes, notamment dans les tâches de cognition de haut niveau.

La tâche des Matrices Avancées de Raven (Raven, Raven, & Court, 1998) constitue un exemple de tâche de cognition de haut niveau associée à des différences de comportement stratégique. Cette tâche, bien connue dans l'étude du raisonnement visuospatial et plus généralement de l'intelligence fluide, consiste à compléter un pattern visuel à partir de la

déduction de règles régissant les relations existantes entre un ensemble de stimuli présentés. Pour résoudre ce type de problème, les participants semblent utiliser deux stratégies principales : la correspondance constructive, qui correspond à la stratégie la plus efficace, et l'élimination de réponses (Bethell-Fox, Lohman, & Snow, 1984 ; Vigneau, Caissie, & Bors, 2006). Lorsqu'elle est réalisée dans le cadre des Matrices Avancées, la première stratégie consiste à observer l'ensemble des stimuli présentés, se représenter ce que devrait être la réponse puis rechercher parmi les solutions proposées laquelle correspond à cette représentation. La seconde stratégie consiste à observer chaque solution proposée sans représentation a priori, à rechercher la solution qui pourrait correspondre au problème, ou à défaut à éliminer les solutions qui ne correspondent pas (Vigneau et al., 2006). La correspondance constructive, plus efficace, nécessite la construction en plusieurs étapes d'une représentation mentale de la solution, ce qui nécessite de découper la tâche en buts et sous-butts et d'agir en fonction de ces buts (Carpenter et al., 1990). Or, comme nous l'avons vu, la gestion de buts est l'une des fonctions centrales du contrôle attentionnel (Engle & Kane, 2004). Il semble donc possible que les participants avec une forte capacité de MDT aient plus tendance à s'engager dans une stratégie efficace de correspondance constructive.

Pour examiner cette idée d'une tendance générale de ces participants à s'engager dans l'utilisation de stratégies efficaces, nous allons successivement examiner les études portant sur les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces dans des tâches de cognition de haut niveau comme certaines tâches de mémoire, la fluence verbale, la résolution de problèmes et le raisonnement.

1. Les tâches de mémoire

Comme nous l'avons évoqué, certaines tâches de mémoire peuvent être considérées comme des tâches de cognition de haut niveau dans la mesure où ces tâches impliquent une combinaison de fonctions cognitives. Cette définition concerne entre autres les tâches de mémoire à long terme nécessitant un encodage délibéré en vue d'une récupération ultérieure, tâches qui peuvent être associées à des comportements stratégiques. Dans cette partie, nous nous intéresserons donc au lien entre capacité de MDT et comportement stratégiques dans des tâches de MLT. Nous examinerons les études portant sur les stratégies utilisées lors de l'encodage, puis les études portant sur les stratégies de récupération. Nous terminerons en évoquant les interactions entre l'encodage et la récupération.

a) Stratégies d'encodage

Pour mettre en évidence des différences de stratégies d'encodage sur une tâche de MLT, une étude intéressante a utilisé le paradigme d'indication d'une partie de liste (ou *part-list cueing* ; Cokely, Kelley, & Gilchrist, 2006). Ce paradigme repose sur l'effet perturbateur d'une présentation d'indices (constitués de la moitié des informations préalablement mémorisées) au moment du rappel. La méthode consiste à présenter des listes de mots à mémoriser, puis à les faire rappeler par les participants. Le rappel peut être soit libre, c'est-à-dire sans indices, soit indicé, c'est-à-dire qu'on « aide » les participants en leur fournissant la moitié des mots de la liste comme indice de rappel. En réalité, les indices n'aident pas et le rappel est proportionnellement moins bon lorsqu'ils sont présents.

L'une des explications de cet effet porte sur une perturbation du plan de rappel stratégique construit au moment de l'encodage (D. R. Basden & Basden, 1995 ; D. R. Basden, Basden, & Galloway, 1977). Cette explication considère qu'au moment de l'encodage, les participants mémorisent les informations selon un plan stratégique bien défini, et que ce plan sert d'appui au moment de la récupération. Ce plan stratégique de récupération pourrait par exemple reposer sur un regroupement des stimuli à encoder ou sur la création de liens entre les stimuli ; la récupération se ferait alors en suivant la structure de ce plan, dans un ordre déterminé. Dans le cas où une partie de la liste est présentée comme indice, la situation de récupération n'est plus celle à laquelle s'attendaient les participants. Le plan ainsi mis en place lors de l'encodage est perturbé car il ne s'applique pas à la nouvelle situation.

Cokely et ses collaborateurs (2006) se sont intéressés à l'influence des différences interindividuelles de capacité de MDT sur cet effet. La tâche des participants consistait à mémoriser puis rappeler une succession de listes de 16 mots, sachant que la moitié de ces listes était indicée au moment du rappel. De façon intéressante, les résultats ont montré que seuls les participants avec une forte capacité de MDT étaient perturbés par les indices. Bien que leur performance ait été globalement plus faible, les participants avec une faible capacité de MDT ne semblaient pas pénalisés par la présentation d'indices (Études 1 et 2A). Les auteurs ont alors supposé, conformément à l'explication théorique associée à l'effet d'indication d'une partie de liste, que les participants avec une forte capacité de MDT avaient mis en place un encodage stratégique des mots se traduisant par la mise en place d'un plan de récupération. Quand les conditions de récupération étaient bouleversées par les indices, ce plan de récupération était perturbé et la performance de ces participants s'effondrait. Inversement, les participants avec une faible capacité de MDT ne mettaient pas en place ce

type d'encodage stratégique et, bien que globalement moins performants, ils n'étaient pas affectés par les indices.

Afin de tester cette explication plus en profondeur, les auteurs (Cokely et al., 2006 ; Étude 2B) ont donné comme instructions à leurs participants d'encoder les mots en faisant une histoire. Chaque nouveau mot devait ainsi être relié au suivant (on remarque que cette instruction est très proche de la stratégie efficace de génération de phrases). Dans cette situation où tous les participants étaient encouragés à mettre en place une stratégie d'encodage efficace, l'effet d'indilage d'une partie de liste était retrouvé chez tout le monde, indépendamment de la capacité de MDT. Cette étude montre donc que les participants avec une forte capacité de MDT ont naturellement tendance à utiliser une stratégie efficace lors de l'encodage de listes de mots. D'autre part, il semblerait que les participants avec une faible capacité de MDT soient capables de mettre en place ce type de stratégie après instruction, ce qui se traduit par une apparition de l'effet perturbateur des indices.

Dans le cadre d'une autre étude portant sur les stratégies d'encodage en MLT, trois listes successives de 10 noms communs étaient présentées aux participants, et la tâche consistait à effectuer un jugement « *vivant ou non vivant* » pour chacun des mots (Unsworth et Spillers, 2010a). La tâche de jugement était entrecoupée d'une tâche distractive : après chaque jugement, les participants devaient classer quatre nombres en ordre décroissant avant de passer au jugement suivant. À la fin de la présentation des 10 noms communs, les participants réalisaient la tâche distractive pendant 30 secondes supplémentaires, puis devaient rappeler tous les mots dont ils se souvenaient. Les auteurs ont examiné les stratégies d'encodage sur cette tâche via la méthode du report essai par essai en fin de tâche (les stratégies possibles étant lecture, autorépétition, imagerie, génération de phrases, groupement, autre).

Les résultats ont montré que l'autorépétition était la seule stratégie pour laquelle on observait une différence de fréquence d'utilisation en fonction des performances obtenues dans les empan complexes. Les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient significativement plus l'autorépétition (dans 79% des essais) que ceux avec une faible capacité de MDT (56% des essais). On ne retrouvait pas de différences pour les autres stratégies. Ces résultats sont intéressants car en contradiction avec les conclusions précédentes selon lesquelles les participants avec une forte capacité de MDT utilisent plus fréquemment des stratégies d'encodage considérées comme efficaces. Cette apparente contradiction pourrait être expliquée par la présence d'une tâche distractive ; cette idée sera développée à la fin de ce chapitre.

b) Stratégies de récupération

Comme nous l'avons vu, le modèle de la mémoire de travail proposé par Unsworth et Engle (2007) suggère que les différences interindividuelles en MDT sont partiellement dues à l'efficacité à utiliser des indices pour guider le processus de recherche en mémoire secondaire (voir p. 25). Selon ces auteurs, les informations encodées en mémoire secondaire sont associées à de nombreux niveaux contextuels (par exemple le contexte global ou le contexte spécifique à une liste ou spécifique à une information). Au moment de la récupération, ces caractéristiques contextuelles sont utilisées comme des indices pour contraindre la recherche aux informations les plus pertinentes. Dans le cadre de ce modèle, la récupération de l'information est considérée comme un processus central, et dépendrait en partie de la stratégie que les participants utilisent pour générer des indices de récupération.

Les auteurs soulignent qu'en termes de différences interindividuelles de MDT, les participants avec une faible capacité de MDT sont moins efficaces que ceux avec une forte capacité de MDT pour sélectionner des stratégies de récupération appropriées, ce qui les conduit à avoir beaucoup d'informations non pertinentes dans leur étendue de recherche. De façon congruente avec cette interprétation, on observe que les deux groupes de participants diffèrent notamment dans leurs performances dans des tâches requérant un rappel auto-généré (comme le rappel libre) mais pas dans des tâches proposant des indices externes (comme la reconnaissance, Unsworth, 2009). Pour illustrer comment ces différences de récupération stratégique peuvent se manifester en pratique, nous allons maintenant présenter quelques études empiriques s'appuyant sur cette approche.

Spillers et Unsworth (2011) ont abordé cette question à l'aide d'une tâche de rappel libre. Dans cette étude, les auteurs se sont intéressés à la variabilité dans l'utilisation des indices temporels et contextuels qui organisent stratégiquement le rappel, et au lien entre cette variabilité et la capacité de MDT. Les auteurs supposaient qu'une récupération en mémoire effectuée de façon stratégique se manifesterait par une performance de rappel organisée selon des critères identifiables. L'utilisation d'une stratégie de récupération était donc opérationnalisée par le pattern de réponse : des informations récupérées dans un ordre aléatoire étaient interprétées comme l'indice d'une absence de stratégie de récupération. Inversement, un rappel systématique et organisé, avec une récupération des stimuli dans l'ordre en fonction de leur contiguïté temporelle au moment de l'encodage, était considéré comme indicateur d'un comportement stratégique.

Afin d'examiner cette hypothèse, les auteurs présentaient des listes de mots, découpées en cinq essais. À la fin de chaque essai, les participants devaient réaliser une tâche distractive pendant 16 secondes. Les résultats ont globalement montré que les participants avec une forte capacité de MDT récupéraient plus de mots, et se montraient plus systématiques dans leur récupération : les mots qu'ils rappelaient étaient souvent contigus. Autrement dit, lorsque ces participants récupéraient un mot, ils utilisaient ensuite les indices contextuels et temporels associés à ce mot de façon à poursuivre le processus de récupération. Cette utilisation d'indices les conduisait à récupérer ensuite un autre mot présenté dans une position très proche (typiquement le mot présenté juste après au moment de l'encodage). Ces résultats indiquent donc que dans une tâche de rappel libre, les participants avec une forte capacité de MDT sont plus stratégiques dans leur récupération : ils se servent des indices contenus dans les mots qu'ils ont déjà récupérés pour en rappeler de nouveaux. En revanche, les participants avec une faible capacité de MDT ont un rappel plus aléatoire : ils ne sont pas stratégiques et ne capitalisent pas sur les indices issus des mots qu'ils ont déjà récupérés.

Les résultats d'une autre étude, utilisant des tâches de rappel libre et indicé (Unsworth, Spillers, & Brewer, 2012b), peuvent également être interprétés en faveur de différences interindividuelles de stratégies de récupération. La tâche des participants consistait à retenir des listes de mots. Dans une première expérience, les mots étaient soit présentés de façon aléatoire, soit organisés par catégories. Le rappel était soit libre, soit indicé par les noms des catégories. Les résultats ont montré que par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT, les participants avec une forte capacité de MDT récupéraient des mots appartenant à un plus grand nombre de catégories différentes en rappel libre, et récupéraient plus de mots par catégorie dans les deux conditions de rappel. Dans la seconde étude, les participants réalisaient uniquement le rappel indicé, mais les auteurs faisaient varier le nombre de mots appartenant à chaque catégorie (3 ou 9). Dans cette situation, les deux groupes de participants ne différaient pas dans le nombre de mots récupérés pour les catégories composées de 3 mots, tandis qu'on retrouvait toujours une différence pour les catégories composées de 9 mots. Du point de vue des différences interindividuelles de MDT, les auteurs ont interprété ces résultats comme montrant que les participants avec une faible capacité de MDT avaient des déficits pour rechercher stratégiquement à la fois les indices de récupération généraux (les labels des catégories) et les informations liées à ces indices (les mots appartenant à chaque catégorie). Autrement dit, les participants avec une faible capacité de MDT ne pourraient pas récupérer autant d'informations que ceux avec une forte capacité de MDT du fait d'une moins bonne mise en œuvre des stratégies de récupération.

Afin d'enrichir les données relatives à cette interprétation, les mêmes auteurs ont conduit une autre étude portant sur la recherche en mémoire autobiographique (Unsworth, Spillers, & Brewer, 2012a). Dans cette étude, les participants devaient lister les « amis » avec lesquels ils étaient connectés via un célèbre réseau social. Les auteurs partaient du principe qu'une récupération efficace en mémoire autobiographique devait être stratégique : les participants devaient auto-générer des contextes afin de récupérer les bonnes informations, et affiner ensuite la recherche en mémoire en utilisant leurs productions.

Les résultats de cette étude étaient relativement similaires à ceux observés dans l'étude précédente. Bien que les deux groupes de participants aient en réalité le même nombre d'« amis », les participants avec une forte capacité de MDT en récupéraient un plus grand nombre en mémoire. De façon importante, ces participants récupéraient des amis appartenant à un plus grand nombre de « contextes » différents (lycée, université, activités extra scolaires, etc.), et récupéraient également un plus grand nombre d'amis au sein de chaque contexte. Cela suggère que ces participants auto-généraient spontanément un plus grand nombre de contextes de recherche au sein desquels récupérer les informations. Les auteurs soulignent, comme pour les études précédentes, que la récupération de ces participants était mieux organisée, ce qui est consistant avec l'idée d'une récupération plus stratégique des souvenirs autobiographiques, par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT.

c) Contribution relative des stratégies d'encodage et de récupération

Après avoir examiné l'impact des différences interindividuelles de MDT sur l'utilisation de stratégies d'encodage, et sur la récupération stratégique en mémoire, nous allons nous intéresser à une étude qui suggère que ces deux processus ne sont pas indépendants l'un de l'autre.

Afin d'examiner les contributions relatives des stratégies d'encodage et de récupération, une étude a fait varier le degré auquel les participants étaient informés d'un rappel ultérieur (Unsworth & Spillers, 2010). L'objectif était d'examiner dans quelle mesure l'encodage stratégique, la récupération stratégique, ou les deux, expliquaient les différences interindividuelles de rappel en fonction de la capacité de MDT. Les participants devaient étudier une liste de noms communs en effectuant un jugement « vivant » ou « non vivant » sur chacun des mots, cette tâche étant entrecoupée d'une tâche distractive. La liste de noms était encodée soit de façon incidente, soit de façon explicite.

Dans la condition d'encodage incident, les participants n'étaient pas informés du rappel ultérieur et n'avaient donc pas de raison de mettre en place une stratégie d'encodage. Les auteurs supposaient que dans ce cas, l'effet des stratégies d'encodage serait largement minimisé, et que la performance reposerait principalement sur les stratégies de récupération. En revanche, dans la condition d'encodage explicite, les participants étaient informés du rappel ultérieur. Les auteurs supposaient que les participants dans cette condition mettraient en place des stratégies d'encodage pour mémoriser les mots.

Il a été observé que les participants avec une forte capacité de MDT rappelaient globalement plus de mots que les participants avec une faible capacité de MDT, mais la différence entre les deux groupes était d'autant plus importante que le rappel était explicite. Cela suggère donc que les participants avec une forte capacité de MDT sont plus stratégiques dans leur récupération (puisqu'ils rappellent plus de mots en situation d'encodage incident), mais également qu'ils profitent beaucoup plus que les participants avec une faible capacité de MDT de l'utilisation de stratégies d'encodage (puisque l'écart se creuse entre les deux groupes en situation d'encodage explicite). Il est cependant impossible de dire, à partir de ces résultats, si l'important écart de performances en encodage explicite est dû seulement à une plus grande efficacité des stratégies d'encodage, ou s'il s'agit d'un effet de synergie entre les stratégies d'encodage et de récupération.

d) Synthèse sur les stratégies en mémoire

Pour résumer, dans le cadre de tâches complexes de mémoire à long terme, les participants avec une forte capacité de MDT mettent en place des stratégies d'encodage efficaces et effectuent également leur récupération de manière plus stratégique. La différence de performance entre les participants avec une faible et une forte capacité de MDT semble reposer en grande partie soit sur les stratégies d'encodage, soit sur la combinaison des stratégies d'encodage et de récupération (Unsworth & Spillers, 2010). Nous pouvons donc conclure que le comportement stratégique observé dans les empan complexes se généralise aux tâches de mémoire à long terme, et que les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à utiliser des stratégies efficaces, que ce soit lors de l'encodage ou lors de la récupération.

2. Les tâches de fluence verbale

Les tâches de fluence verbale consistent à évoquer le plus grand nombre possible de stimuli appartenant à une même catégorie – par exemple des noms d'animaux ou des mots commençant par la même lettre. Ces tâches présentent une certaine proximité avec les tâches de mémoire à long terme, dans la mesure où elles font l'objet de comportements de récupération stratégique en mémoire.

Une première étude s'est attachée à comprendre l'influence des différences interindividuelles de capacité de MDT sur une tâche de fluence verbale (Rosen & Engle, 1997). Dans cette étude, les participants devaient énoncer autant de noms d'animaux qu'ils le pouvaient, et ce pendant 15 minutes. Comme attendu au regard des études présentées plus haut, les participants avec une forte capacité de MDT récupéraient plus d'animaux au total, utilisaient un nombre de catégories de récupération plus grand, généraient plus d'animaux par catégorie et étaient plus rapides pour passer d'une catégorie à une autre. Des résultats similaires se retrouvent également dans des tâches de fluence orthographique, où les participants doivent évoquer des mots qui commencent par la même lettre (Unsworth, Spillers, & Brewer, 2011).

À partir de ces résultats, Rosen et Engle (1997) ont soutenu l'idée que la récupération dans les tâches de fluence pouvait reposer d'une part sur une activation automatique guidée par des associations sémantiques, et d'autre part sur une génération active d'indices qui nécessiterait un investissement attentionnel plus important dans le processus. Ils supposent que le premier type de récupération est essentiellement utilisé par les participants avec une faible capacité de MDT, et le second type par les participants avec une forte capacité de MDT. Les résultats de cette étude confirment les conclusions précédemment développées selon lesquelles les participants avec une forte capacité de MDT seraient plus stratégiques dans leur récupération, par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT. Ces études indiquent également le potentiel des tâches de fluence pour étudier l'impact des différences interindividuelles de capacité de MDT sur les stratégies de récupération.

Cette opportunité d'utiliser les tâches de fluence pour évaluer le rôle des stratégies de récupération dans la relation entre capacité de MDT et performance en cognition de haut niveau a été saisie par les auteurs d'une autre étude (Schelble, Therriault, & Miller, 2012). Dans un premier temps (Étude 1), les auteurs demandaient aux participants de générer autant de nom d'animaux qu'ils le pouvaient en 5 minutes, tout en verbalisant à voix haute les méthodes qu'ils utilisaient pour récupérer les exemplaires. À partir de ces données, les auteurs

ont identifié plusieurs stratégies, qu'ils ont comparée à une liste établie a priori de façon à établir un inventaire des stratégies utilisées par les participants. Les stratégies utilisées le plus fréquemment reposaient sur la classification phylogénétique (par exemple nommer des mammifères), l'habitat (par exemple nommer des animaux vivant dans l'océan), et la signification personnelle de l'animal pour le participant (par exemple nommer des sortes d'animaux de compagnie).

Sur la base de cette liste, les auteurs ont conduit une seconde expérience (Étude 2A) dans laquelle les participants réalisaient la même tâche de fluence puis identifiaient les stratégies qu'ils avaient utilisées parmi celles proposées par la liste. Les résultats ont retrouvé l'effet classique de la capacité de MDT sur la performance : plus le score obtenu dans l'empan de lecture était élevé, plus le nombre d'exemplaires récupérés était élevé. Parmi les stratégies reportées par les participants, deux seulement conduisaient à récupérer plus d'exemplaires : la stratégie de classification et la stratégie d'environnement. De plus, sur l'ensemble des stratégies proposées, la stratégie de classification était la seule dont la fréquence de report corrélait positivement avec la capacité de MDT. Autrement dit, la seule stratégie dont la fréquence d'utilisation corrélait avec la capacité de MDT était l'une des deux stratégies efficaces dans la tâche. Cette étude illustre qu'il est possible de caractériser les différentes stratégies mises en œuvre dans une tâche complexe, et ainsi de qualifier précisément le lien qui existe entre la capacité de MDT et l'utilisation de stratégies efficaces.

Enfin, une dernière étude s'est également intéressée aux stratégies de récupération utilisées dans une tâche de fluence catégorielle (Unsworth, Brewer, & Spillers, 2013). Après avoir récupéré autant de noms d'animaux que possible pendant cinq minutes, les participants étaient invités à décrire les stratégies qu'ils avaient utilisées, puis à en choisir certaines parmi plusieurs possibilités, tout comme dans l'étude présentée précédemment (Schelble et al., 2012).

Les résultats de cette expérience rejoignaient globalement les études précédentes : les participants avec une forte capacité de MDT récupéraient plus d'animaux, étaient plus rapides, et récupéraient des animaux appartenant à un plus grand nombre de catégories. De plus, les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus fréquemment une stratégie allant du général au spécifique, qui consistait à commencer par penser à un type générique d'animal (par exemple les oiseaux) et ensuite à récupérer tous les animaux de ce type. Les auteurs ont interprété cette observation comme le fait que ces participants utilisaient beaucoup plus leurs connaissances générales pour réaliser la tâche. De façon intéressante, les participants avec une faible capacité de MDT reportaient plus fréquemment ne pas utiliser de

stratégie. Les résultats de cette étude suggèrent que de façon générale, les stratégies reportées ne varient pas en fonction de la capacité de MDT, sauf dans le cas des stratégies fondées sur les connaissances (utilisées plus fréquemment par les participants à forte capacité de MDT) et de l'absence de stratégie (reportée plus fréquemment par les participants à faible capacité de MDT).

En résumé, il semblerait qu'au-delà d'utiliser des stratégies de récupération efficaces, les participants avec une forte capacité de MDT utilisent surtout des stratégies faisant appel aux connaissances qu'ils possèdent déjà. Dans l'étude de Schelble et al. (2012), les participants utilisent fréquemment leurs connaissances au sujet des classes d'animaux (les sortes de chat ou de mammifères), et dans l'étude d'Unsworth et al. (2013), les participants vont du plus général au spécifique et se fondent sur leurs connaissances globales. De façon très intéressante, un parallèle peut être établi avec les stratégies d'encodage présentées plus haut. Les stratégies d'encodage considérées comme efficaces comme l'imagerie, la génération de phrases et le regroupement nécessitent également l'utilisation de connaissances sémantiques (les participants utilisent ce qu'ils connaissent des mots). À l'inverse, les stratégies d'encodage considérées comme peu efficaces comme la lecture et l'autorépétition ne reposent pas sur l'utilisation de telles connaissances. De plus, le fait que les participants avec une faible capacité de MDT reportent fréquemment ne pas utiliser de stratégie est cohérent avec les résultats présentés précédemment concernant les études sur la récupération en mémoire, où les participants avec une faible capacité de MDT semblaient récupérer les informations apprises de façon aléatoire et non systématique. Il semble que ces participants n'utilisent pas de bases construites (comme leurs connaissances) pour récupérer des informations, et « *attendent* » que quelque chose leur vienne en tête.

3. La résolution de problème et le raisonnement

Les tâches de résolution de problème et de raisonnement constituent les tâches de cognition de haut niveau par excellence, il est donc particulièrement intéressant d'examiner l'influence des différences interindividuelles de capacité de MDT sur l'utilisation de stratégies efficaces dans ce contexte.

Beilock et DeCaro (2007) se sont intéressés aux stratégies déployées dans le cas d'une tâche de résolution de problèmes mathématiques. Pour ce faire, ils ont utilisé la tâche d'arithmétique modulaire de Gauss (voir Bogomolny, 1996). Il s'agissait de juger si le résultat

d'énoncés présentés sous la forme $34 = 18 \pmod{4}$ était entier ou non. Les auteurs se sont intéressés à ce type d'énoncés car il est possible de les résoudre de deux façons différentes :

- en utilisant une stratégie de résolution passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques, comme soustraire le nombre du milieu au premier nombre ($34 - 18$), puis diviser le résultat par le dernier nombre ($16 / 4$) ; si le résultat de cette dernière opération (ici 4) est un nombre entier, alors la réponse est « *correct* », sinon la réponse est « *incorrecte* ». Ce type de résolution est coûteuse mais conduit à un taux de réussite de 100% ;

- en utilisant des raccourcis de raisonnement dérivant une solution sans effectuer tout le calcul. Un exemple de raccourci pourrait être le suivant : si on part du principe que les nombres pairs conduisent moins souvent à des divisions avec reste que les nombres impairs, alors les problèmes comportant des nombres pairs devraient être justes. Ce type de raccourci évite de devoir maintenir et manipuler en mémoire les résultats intermédiaires lors de la résolution du problème, et nécessite donc moins d'effort pour être utilisé. En revanche, cette stratégie ne conduit pas à des performances parfaites car les raccourcis de raisonnement peuvent ne pas conduire à la bonne conclusion.

Les résultats de cette première étude montraient que plus la capacité de MDT était élevée, plus les participants résolvaient correctement les problèmes d'arithmétique modulaire, et plus ils utilisaient la stratégie de résolution efficace passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques. Les participants avec une faible capacité de MDT étaient plus enclins à utiliser les raccourcis, ce qui les a menés à faire plus d'erreurs de résolution.

Afin d'étendre ces résultats, les auteurs ont conduit une seconde expérience dans laquelle les participants réalisaient la tâche des jarres d'eau de Luchins (1942). Cette tâche consiste à construire une formule mathématique permettant d'obtenir une certaine quantité d'eau à partir de jarres de capacités variables. La tâche proposée dans cette seconde expérience commençait par trois essais qui ne pouvaient être correctement résolus qu'à l'aide d'une stratégie passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques. Les trois essais suivants pouvaient être résolus avec cette même stratégie, ou alors à l'aide d'une stratégie bien plus simple n'impliquant qu'une seule opération. De façon très intéressante, les résultats ont montré que plus la capacité de MDT était élevée, moins les participants utilisaient la stratégie simple. Cela veut dire que même lorsqu'une méthode de résolution tout aussi efficace et nécessitant moins d'efforts est disponible, les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à continuer d'utiliser la stratégie passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques et nécessitant plus d'efforts.

Les stratégies de résolution de problèmes visuospatiaux ont également été étudiées dans le cadre des Matrices Avancées de Raven (Jarosz & Wiley, 2012). Rappelons que cette tâche évalue le raisonnement visuospatial et plus généralement l'intelligence fluide ; elle consiste à compléter un pattern visuel à partir de la déduction de règles régissant les relations existantes entre un ensemble de stimuli. Comme nous l'avons déjà évoqué, deux stratégies peuvent être utilisées pour résoudre ce type de problème : la correspondance constructive, une stratégie efficace et nécessitant un fort contrôle attentionnel qui consiste à générer une représentation mentale de ce que devrait être la réponse ; et l'élimination de réponses, une stratégie peu efficace mais moins coûteuse qui consiste à éliminer les solutions proposées qui ne correspondent pas et à choisir l'une des réponses restantes (Bethell-Fox et al., 1984 ; Vigneau et al., 2006).

Jarosz et Wiley (2012) se sont plus particulièrement intéressés à l'utilisation de ces deux stratégies dans les Matrices Avancées en fonction de la capacité de MDT. Les auteurs ont évalué les stratégies mises en place grâce à la méthode d'enregistrement des mouvements oculaires, en s'intéressant à trois mesures : le nombre moyen d'alternances du regard de la matrice de présentation aux solutions proposées, la proportion de temps total passé à observer les solutions proposées, ainsi que la proportion de temps total passé à observer les distracteurs les plus saillants (c'est-à-dire ceux fréquemment désignés comme bonne réponse à tort). La stratégie de correspondance constructive impliquerait un temps d'observation de la matrice élevé, afin de se créer une représentation mentale de la solution. Au contraire, le temps d'observation des distracteurs saillants et le nombre d'alternances entre la matrice et les distracteurs devraient être plus faibles car les participants ne regarderaient les solutions proposées que pour y chercher une réponse correspondant à leur représentation mentale de la solution.

Les résultats ont montré que plus les scores obtenus dans les empans complexes étaient élevés, plus le nombre d'alternances du regard entre la matrice et les distracteurs était faible, de même que le temps passé à observer l'ensemble des solutions proposées et les distracteurs saillants. Cela suggère que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient davantage une stratégie de correspondance constructive. À l'inverse, les participants avec une faible capacité de MDT alternaient plus souvent de la matrice de présentation vers les solutions proposées, et passaient plus de temps à étudier les distracteurs. Ces participants auraient donc une plus forte tendance à utiliser une stratégie d'élimination de réponses.

Pour terminer, nous allons évoquer deux études portant sur les syllogismes. Un syllogisme comprend deux propositions, dites « *prémises* », dont on déduit logiquement une troisième. Deux théories principales existent pour expliquer le processus de raisonnement syllogistique, à savoir la théorie des modèles mentaux (voir Bara, Bucciarelli, & Johnson-Laird, 1995) et celle des heuristiques de probabilité (Chater & Oaksford, 1999). En pratique, ces deux théories ne sont pas incompatibles et peuvent être considérées comme deux stratégies complémentaires pouvant être mises en place au sein de la tâche (Copeland et Radvansky, 2004).

- Les modèles mentaux correspondent à la création de représentations mentales fondées sur des situations réelles, hypothétiques ou imaginaires (voir Bara et al., 1995). Les participants construisent ces modèles mentaux sur la base des termes présents dans les prémisses et les utilisent pour comparer les différentes conclusions les unes avec les autres.

- Selon le modèle des heuristiques de probabilité, les participants procèdent en utilisant des heuristiques de décision relativement simples (Chater & Oaksford, 1999). Plutôt que de former un modèle mental constituant une représentation exacte des prémisses et de la conclusion correspondante, les participants évalueraient la probabilité conditionnelle des différentes propositions et choisiraient leur réponse à partir d'une inférence probabiliste.

Copeland et Radvansky (2004) se sont intéressés aux différences de stratégies utilisées dans le raisonnement syllogistique en fonction de la capacité de MDT. Les auteurs sont partis de l'idée suivante : plus les prémisses du syllogisme sont complexes, plus les modèles mentaux qui seront construits seront également complexes. Leur hypothèse sous-jacente était qu'une forte capacité de MDT permettrait d'être plus efficace dans la construction de modèles mentaux complexes, tandis qu'une faible capacité de MDT serait plus propice à l'adoption d'une stratégie plus simple fondée sur les heuristiques de probabilité.

Les résultats ont montré une corrélation positive entre la performance dans l'empan d'opérations et la performance de raisonnement syllogistique. Les résultats portant sur l'analyse de stratégies ont mené à plusieurs conclusions. D'une part, lorsque les prémisses d'un syllogisme étaient complexes, la relation avec la capacité de MDT augmentait. Cela semble indiquer que les participants avec une forte capacité de MDT avaient une plus forte tendance à utiliser une stratégie fondée sur les modèles mentaux, et étaient plus efficaces dans la construction et l'utilisation de modèles complexes. D'autre part, la relation entre capacité de MDT et utilisation des heuristiques de probabilités était plus subtile : certaines données suggéraient que les participants avec une faible capacité de MDT utilisaient plus souvent des heuristiques de probabilités, tandis que d'autres résultats suggéraient qu'ils utilisaient cette

stratégie de façon moins efficace que les participants avec une forte capacité de MDT. Dans l'ensemble, les auteurs ont conclu qu'une forte capacité de MDT était associée à l'utilisation de stratégies de résolution plus systématiques au sein de la tâche.

Une autre étude a retrouvé un pattern de résultats assez similaires dans le cadre du raisonnement conditionnel (Verschuere, Schaeken, & d'Ydewalle, 2005), un type de raisonnement fondé sur la suite logique « *Si... Alors...* ». Dans cette étude, les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient préférentiellement une stratégie complexe fondée sur les modèles mentaux, tandis que ceux avec une faible capacité de MDT utilisaient plutôt une stratégie plus simple fondée sur des heuristiques de probabilités. Les résultats de cette étude indiquent donc que la capacité en MDT prédit l'utilisation d'une stratégie de raisonnement efficace.

4. Synthèse

En résumé, un ensemble d'études se sont intéressées aux différences interindividuelles d'utilisation de stratégies dans le cadre de la mémoire à long terme, de la fluence verbale, de la résolution de problèmes et du raisonnement. Ces études ont montré une influence de la capacité de MDT sur l'utilisation de stratégies dans ces différents types de tâches. Dans l'ensemble, ces résultats soutiennent largement la conclusion qu'une capacité de MDT élevée est associée à l'utilisation de stratégies efficaces, de façon congruente avec les études portant sur l'utilisation de stratégies dans les empans complexes présentées dans le Chapitre 2.

On peut repérer quelques caractéristiques communes aux stratégies préférentiellement utilisées par les participants avec une forte capacité de MDT. D'une part, ces participants ont tendance à utiliser des stratégies complexes nécessitant un effort de mise en place (comme pour les stratégies d'encodage efficaces en mémoire à long terme, la stratégie de résolution passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques dans la tâche d'arithmétique modulaire, la correspondance constructive dans la tâche des Matrices Avancées, ou encore les stratégies fondées sur les modèles mentaux). De plus, ces participants utilisent des stratégies reposant sur leurs connaissances antérieures (comme pour les stratégies d'encodage efficaces, ainsi que les stratégies de récupération dans les tâches de fluence). Enfin, ces participants semblent utiliser des stratégies de traitement de l'information plus organisées (stratégies de récupération en mémoire à long terme et sur les tâches de fluence, stratégie de résolution passant par plusieurs enchaînements d'opérations logiques, et stratégie de correspondance constructive).

B. La relation MDT – cognition de haut niveau médiatisée par les stratégies

1. Contrôle statistique de la variance due à l'utilisation de stratégies

Nous avons vu que la capacité de MDT est reconnue comme un bon prédicteur de la cognition de haut niveau (Ackerman, Beier, & Boyle, 2005), mais qu'il n'existe pas de consensus sur la nature du système ou du processus à l'origine de ce lien entre les deux construits. Par ailleurs, nous avons également vu que les différences interindividuelles de performance dans les tâches mesurant la capacité de MDT sont liées à l'utilisation de stratégies considérées comme efficaces. Ce lien se retrouve dans des tâches de mémoire à long terme (Cokely et al., 2006 ; Spillers & Unsworth, 2011 ; Unsworth & Spillers, 2010a ; Unsworth et al., 2012a, 2012b), de fluence verbale (Rosen & Engle, 1997; Schelble et al., 2012; Unsworth et al., 2013), et de raisonnement (Beilock & DeCaro, 2007 ; Jarosz & Wiley, 2012 ; Copeland & Radvansky, 2004 ; Verschueren et al., 2005).

De là, il est possible de se demander si l'utilisation de stratégies efficaces dans des tâches de cognition de haut niveau pourrait être un médiateur de la relation entre MDT et cognition de haut niveau. Rappelons que plusieurs études ont conclu que l'utilisation de stratégies efficaces ne médiatisait pas cette relation et ne faisait qu'introduire du bruit dans la mesure de la MDT (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Friedman & Miyake, 2004a), mais que toutes ces études se sont intéressées à l'utilisation de stratégies dans les tâches d'empans complexes. Autrement dit, parmi les études que nous avons évoquées et qui ont conclu à une absence de médiation par l'utilisation des stratégies efficaces, aucune n'a cherché à tester le rôle des stratégies en cognition de haut niveau. Au vu de l'existence de stratégies plus ou moins efficaces en cognition de haut niveau et du lien existant entre capacité de MDT et mise en place de ces stratégies, il paraît pourtant plausible que l'utilisation de stratégies efficaces explique en partie le pouvoir prédicteur de la capacité de MDT. Un petit nombre d'études se sont intéressées à cette hypothèse. Nous nous présenterons dans un premier temps les études corrélationnelles.

Revenons tout d'abord sur l'étude d'Unsworth et Spillers (2010a) dans laquelle des participants avec une faible ou une forte capacité de MDT réalisaient une tâche de jugement « *vivant* » ou « *non vivant* » sur des listes de noms communs. Grâce à la méthode du report essai par essai en fin de tâche, les auteurs ont montré que les participants avec une forte

capacité de MDT utilisaient plus fréquemment l'autorépétition que les participants avec une faible capacité de MDT ; ils récupéraient également plus de mots. Dans cette étude, lorsque les différences interindividuelles d'utilisation de la stratégie d'autorépétition étaient statistiquement contrôlées, l'effet de la capacité de MDT sur la performance de rappel était réduit. On peut illustrer cette modification significative par la valeur de l'êta carré partiel qui passait de .22 à .11. Les auteurs ont donc conclu qu'une partie des différences de performance mnésique en fonction de la capacité de MDT s'expliquait par des différences d'utilisation de stratégies.

Dans les tâches de fluence catégorielle, une corrélation positive était retrouvée non seulement entre la capacité de MDT et le nombre d'exemplaires d'animaux récupérés, mais aussi entre capacité de MDT et utilisation de la stratégie efficace de classification (Schelble et al., 2012). Les auteurs ont réalisé une analyse de médiation, qui indiquait que l'utilisation de la stratégie de classification médiatisait la relation entre la capacité de MDT et la performance de récupération des exemplaires d'animaux.

De la même façon, dans l'étude proposée par Unsworth et collaborateurs (2013), on retrouvait des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT, et ce dans le cas de trois stratégies. Les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus fréquemment la stratégie allant du général au spécifique, ainsi que celle fondée sur les connaissances globales à propos des animaux. À l'inverse, les participants avec une faible capacité de MDT reportaient plus fréquemment n'utiliser aucune stratégie. Les résultats de cette étude ont montré que les différences interindividuelles dans le nombre d'exemplaires d'animaux récupérés en fonction de la capacité de MDT étaient éliminées lorsque les différences d'utilisation de stratégies étaient statistiquement contrôlées. Plus précisément, lorsque l'utilisation des stratégies allant du général au spécifique et fondée sur les connaissances globales, ainsi que l'utilisation d'aucune stratégie, étaient incluses comme covariables dans l'analyse statistique, l'effet de la capacité de MDT sur le nombre total d'exemplaires récupérés et sur le nombre de catégories d'animaux récupérées n'était plus significatif.

Contrairement à ce qui a été observé au sujet de l'utilisation de stratégies efficaces dans les empan complexes, les résultats de ces trois études vont donc plutôt dans le sens d'une médiation de la relation entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau. Malheureusement, le faible nombre d'études ayant testé directement ce lien de médiation implique qu'il est difficile de tirer une conclusion définitive à ce propos.

2. Perturbation expérimentale des stratégies

Nous allons maintenant présenter quelques études expérimentales dont les résultats peuvent être interprétés en faveur de l'hypothèse selon laquelle l'utilisation de stratégies efficaces représente une source de variance d'intérêt. Ces études ont pour point commun l'utilisation d'un paradigme de perturbation de la tâche principale, soit via un paradigme de double tâche dans lequel les participants sont invités à réaliser deux tâches simultanément, soit via un paradigme de « *Choking Under Pressure* » (CUP ; Beilock & DeCaro, 2007) visant à diviser l'attention des participants. L'intérêt de ce type de paradigme est d'observer comment une situation perturbatrice interfère avec la réalisation d'une tâche primaire, dite d'intérêt.

Lorsqu'on envisage l'utilisation d'un paradigme de ce type dans l'étude des différences interindividuelles en fonction de la capacité de MDT, on s'attend logiquement à observer une plus faible résistance à l'interférence de la part des participants avec une faible capacité de MDT ; il s'ensuit que ces participants devraient être plus perturbés par la double tâche. Cependant, les résultats observés dans toutes les études que nous allons présenter indiquent que ce sont les participants avec une forte capacité de MDT qui sont les plus perturbés par la double tâche. Plusieurs auteurs ont interprété ce résultat en se fondant sur la notion de stratégie : une hypothèse possible est que la perturbation de la tâche d'intérêt pourrait réduire ou empêcher l'utilisation de stratégies efficaces dans cette même tâche, faisant chuter spécifiquement la performance des participants qui utilisent ces stratégies efficaces.

Dans l'étude de Rosen et Engle (1997), les participants avec une forte capacité de MDT rappelaient plus d'exemplaires d'animaux dans une tâche de fluence verbale. Les auteurs ont supposé que ces participants utilisaient une stratégie de récupération efficace à partir d'une génération active d'indices ; les participants avec une faible capacité de MDT utiliseraient plutôt une stratégie d'activation automatique guidée par des associations sémantiques. Lorsque les participants réalisaient cette tâche de fluence catégorielle en même temps qu'une tâche secondaire (il s'agissait ici d'une tâche de détection de cible), il a été observé que la tâche secondaire ne réduisait la performance que pour des participants avec une forte capacité de MDT. Plus précisément, ces participants récupéraient 121 exemplaires en simple tâche contre 87 en double tâche, tandis que les participants avec une faible capacité de MDT récupéraient 67 exemplaires en simple tâche contre 61 en double tâche. Il a également été observé que la double tâche augmentait le temps requis pour évoquer de

nouvelles catégories d'animaux et le nombre total de catégories évoquées, mais uniquement pour les participants avec une forte capacité de MDT.

Afin d'expliquer ces résultats, les auteurs ont supposé que la double tâche empêchait les participants avec une forte capacité de MDT d'utiliser la stratégie de génération active d'indices, car cette stratégie serait trop complexe pour être réalisée en même temps qu'une autre tâche perturbatrice. Du coup, ces participants utiliseraient la stratégie d'activation automatique, moins complexe mais menant à récupérer un nombre d'exemplaires plus faible. Les participants avec une faible capacité de MDT, quant à eux, ne seraient pas perturbés par la double tâche car ils utiliseraient déjà cette stratégie d'activation automatique. Bien qu'expliquant de façon convaincante le pattern de résultats observés dans cette étude, cette interprétation formulée a posteriori reste spéculative.

Schelble et al. (2012) ont pallié cet aspect spéculatif en étudiant plus directement l'impact de la double tâche sur l'utilisation de stratégies dans la tâche de fluence catégorielle. Les résultats de l'expérience que nous avons présentée plus haut indiquaient qu'une stratégie de classification était liée à la récupération d'un plus grand nombre d'exemplaires, et que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus fréquemment cette stratégie efficace par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT. Dans une autre expérience (Étude 2b), les auteurs ont utilisé la même tâche secondaire de détection de cible que Rosen et Engle (1997). Lorsque les participants réalisaient la tâche de fluence catégorielle en même temps que la tâche secondaire, plus aucune différence n'était observée dans le nombre d'exemplaires récupérés entre les participants avec une forte et une faible capacité de MDT. Plus important encore, les participants avec une forte capacité de MDT n'utilisaient plus la stratégie de classification de façon plus fréquente que les participants avec une faible capacité de MDT.

Cette dernière étude apporte donc un argument fort en faveur de l'importance de l'utilisation de stratégies efficaces dans la détermination des différences interindividuelles en fonction de la capacité de MDT dans une tâche de fluence catégorielle. On peut considérer que lorsque la tâche de fluence catégorielle est réalisée seule, les participants avec une forte capacité de MDT mettent en place des stratégies efficaces qui les conduisent à augmenter leurs performances. Lorsque la tâche est réalisée en même temps qu'une tâche concurrente, c'est-à-dire lorsqu'on supprime les variations liées à l'utilisation de stratégies, les performances ne diffèrent plus en fonction de la capacité de MDT (Schelble et al., 2012).

Cet impact différencié de la double tâche en fonction de la capacité de MDT a également été retrouvé dans l'étude portant sur la résolution de problèmes mathématiques

(Beilock & DeCaro, 2007). Rappelons que dans cette étude, les participants réalisaient une tâche d'arithmétique modulaire de Gauss (Étude 1), ainsi que la tâche des jarres d'eau de Luchins (Étude 2). Dans les deux cas, les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient une stratégie de résolution fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques, tandis que les participants avec une faible capacité de MDT utilisaient une stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement.

Les auteurs ont choisi de perturber cette utilisation de stratégie grâce au paradigme de « *Choking Under Pressure* » ou CUP, qui consiste à appliquer une « *pression* » aux participants grâce à des scénarii stressants (impliquant par exemple un jugement par les pairs ou une incitation monétaire), une situation conceptuellement similaire à la double tâche. Lorsque les participants étaient soumis à cette situation de pression, la capacité de MDT ne prédisait plus l'utilisation de la stratégie efficace : à la place, les participants démontraient une utilisation généralisée de la stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement. Cette généralisation de l'utilisation de la stratégie la plus simple se traduisait par des performances d'arithmétiques modulaires similaires quelle que soit la capacité de MDT. Cette étude constitue donc un nouvel argument en faveur de l'importance de la variabilité stratégique dans le lien entre performance sur une tâche complexe et capacité de MDT.

Le CUP a également été utilisé pour étudier le raisonnement visuospatial à l'aide des Matrices Avancées (Gimmig, Huguet, Caverni, & Cury, 2006), que les participants réalisaient avec ou sans pression. Les résultats ont montré que sans pression, on observait une corrélation positive ($r = .60$) entre la performance dans l'empan de lecture et dans les Matrices. En revanche, avec pression, cette corrélation n'était plus significative ($r = .09$). Pour les auteurs, cela suggère que lorsqu'il n'y a aucune pression, une forte capacité de MDT est liée à la mise en place de stratégies efficaces, ce qui améliore en conséquence la performance. Dès lors qu'on ajoute une pression, l'utilisation de ces stratégies efficaces est perturbée, en particulier pour les participants avec une forte capacité de MDT, et la performance de raisonnement cesse de dépendre de la capacité de MDT.

Enfin, nous pouvons mentionner une étude dans laquelle on retrouve le même type de raisonnement appliqué à des enfants de 8 et 11 ans (Ang & Lee, 2010). Les deux groupes d'âge réalisaient une tâche de mémoire visuospatiale, la tâche des patterns visuels (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano, & Wilson, 1999). Cette tâche était réalisée soit seule, soit de façon concurrente avec une tâche de génération de chiffres au hasard. Les résultats ont montré que les enfants de 11 ans étaient les plus perturbés par la génération de chiffres au hasard. Les auteurs ont supposé que les enfants de 11 ans mettent en place des stratégies efficaces afin

d'améliorer leurs performances en tâche simple, ce qui explique pourquoi ils obtiennent de meilleurs scores que les enfants de 8 ans. La double tâche viendrait perturber ce mécanisme d'amélioration de la performance, réduisant ainsi les différences observées entre les deux groupes d'âge. D'après les auteurs, on peut considérer les enfants de 11 ans comme représentant plus généralement les participants avec une forte capacité de MDT, et les enfants de 8 ans comme représentant plus généralement les participants avec une faible capacité de MDT. Nous retrouvons donc ici la même interprétation a posteriori de ces résultats que celle qui a été développée dans les études précédentes.

À travers l'ensemble des résultats que nous avons présentés, une certaine consistance semble exister dans l'impact différentiel d'une situation perturbatrice sur la performance en fonction de la capacité de MDT. En situation simple, les participants avec une forte capacité de MDT obtiennent de meilleurs scores dans diverses tâches par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT. En situation de perturbation, en revanche, ce sont les participants avec une forte capacité de MDT dont les scores chutent le plus. Nous avons appelé cet effet le « *Hard Fall Effect* » (HFE ; Thomassin, Gonthier, Guerraz & Roulin, 2014). Les auteurs ayant observé cet effet ont généralement cherché à l'expliquer en invoquant une perturbation spécifique des stratégies complexes et efficaces utilisées par les participants avec une forte capacité de MDT (Beilock & DeCaro, 2007 ; Gimmig et al., 2006 ; Rosen & Engle, 1997 ; Schelble et al., 2012 ; Ang & Lee, 2010). Toutefois, cette interprétation était souvent formulée a posteriori. Parmi les études présentées, seulement deux d'entre elles avaient fait l'hypothèse de l'existence d'un HFE a priori, et avaient construit leur protocole expérimental de façon à évaluer directement l'impact de la situation perturbatrice sur l'utilisation de stratégies (Beilock & DeCaro, 2007 ; Schelble et al., 2012) ; les autres études ne testaient pas directement cette interprétation (Ang & Lee, 2010 ; Gimmig et al., 2006 ; Rosen & Engle, 1997).

Résumé du Chapitre 3 :

- Il existe des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces dans les tâches de cognition de haut niveau.

La capacité de mémoire de travail prédit l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau.

- Ces stratégies efficaces semblent médiatiser le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau.
- Cet effet de médiation s'observe :
 - en contrôlant statistiquement la variance associée à l'utilisation de stratégies efficaces ;
 - dans le cadre du paradigme de *Hard Fall Effect*.

Problématique

La MDT est un construit central dans l'étude et la compréhension de la cognition humaine : les différences interindividuelles de capacité de MDT sont liées aux variations de performance observées dans des tâches de cognition de haut niveau. Les modèles cherchant à expliquer ce lien se fondent généralement sur une approche paramétrique, qui considère que les individus diffèrent sur une ou plusieurs aptitudes impliquées à la fois dans les tâches de cognition de haut niveau et dans les tâches de MDT. Le modèle du contrôle attentionnel (Engle & Kane, 2004), puis le modèle des processus duels de mémoire primaire et de mémoire secondaire (Unsworth & Engle, 2007a), sont deux modèles de ce type. Une autre approche possible serait de considérer que les individus diffèrent non pas en termes d'aptitudes, mais plutôt dans les procédures qualitatives qu'ils mettent en œuvre pour résoudre une tâche donnée : il s'agit de l'approche par les stratégies.

Dans ce travail de recherche, nous avons considéré ces deux approches de façon conjointe : les stratégies ainsi que leur réalisation peuvent être limitées par les aptitudes (Kyllonen et al., 1984), et notamment par l'efficacité du contrôle attentionnel. Le contrôle attentionnel plus efficace chez les participants avec une forte capacité de MDT (Engle & Kane, 2004) devrait donc leur permettre d'utiliser des stratégies plus efficaces, et ces différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces devraient intervenir dans la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau.

Le Chapitre 2 a présenté le rôle des stratégies lorsqu'elles étaient considérées spécifiquement dans les tâches d'empans complexes. Dans l'ensemble, les participants avec une forte capacité de MDT reportent utiliser plus souvent des stratégies considérées comme efficaces par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT. Cependant, cette utilisation de stratégies efficaces dans les empans complexes ne semble pas médiatiser le lien entre la MDT et la cognition de haut niveau, et certains auteurs considèrent donc qu'ils s'agit d'une source de bruit dans la mesure de MDT.

Le Chapitre 3, quant à lui, a examiné le rôle des stratégies lorsqu'elles étaient étudiées directement dans les tâches de cognition de haut niveau. Les participants avec une forte capacité de MDT reportent également utiliser des stratégies plus efficaces dans les tâches de cognition de haut niveau ; en revanche, ces différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces semblent médiatiser la relation observée entre la MDT et la cognition de haut niveau.

La question soulevée par les chapitres 2 et 3 est donc la suivante : les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT représentent-elles une source de bruit dans la mesure, ou à l'inverse une source de variation d'intérêt ? À la lumière de la littérature que nous venons de présenter, il semble que les deux réponses soient valides. Les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies, lorsqu'elles concernent les tâches d'empans complexes, semblent ajouter du bruit dans les mesures de capacité de MDT en réduisant la validité prédictive des empans complexes ; un contrôle statistique ou expérimental de l'utilisation des stratégies dans les empans complexes améliore donc globalement leurs corrélations avec les tâches de cognition de haut niveau. En revanche, ces mêmes différences interindividuelles d'utilisation de stratégies, lorsqu'elles sont considérées directement dans le contexte de tâches de cognition de haut niveau, semblent représenter une source de variation d'intérêt et paraissent médialiser la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Nous voyons donc apparaître ici une position contradictoire au sujet de l'intérêt des différences interindividuelles dans l'utilisation de stratégies efficaces. L'hypothèse des stratégies comme introduisant du bruit dans les mesures de MDT est soutenue par une quantité raisonnable de données, tandis que l'hypothèse des stratégies en cognition de haut niveau comme source de différences interindividuelles impliquée dans la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau n'a été que peu étudiée directement.

Cependant, la mise en évidence du *Hard Fall Effect* – ou HFE –, dans lequel les performances des participants avec une forte capacité de MDT sont davantage diminuées par une situation perturbatrice par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT, propose un nouvel éclairage dans ce débat. En effet, le HFE peut être attribué aux différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT : les meilleures performances des participants avec une forte capacité de MDT, observées dans un grand nombre de tâches de cognition de haut niveau, seraient dues à une utilisation de stratégies plus efficaces. Lorsque ces stratégies sont perturbées, ces participants voient leurs performances grandement diminuées, et les différences interindividuelles de performance en fonction de la capacité de MDT sont alors réduites. Lorsque l'on se place dans le cadre de raisonnement du HFE, on voit apparaître le rôle central de l'utilisation des stratégies en cognition de haut niveau pour expliquer une partie des différences interindividuelles de performances en fonction de la capacité de MDT, ainsi qu'une partie du lien entre MDT et cognition de haut niveau.

Au cours de ce travail de thèse, nous allons tester plus avant l'hypothèse des stratégies en cognition de haut niveau comme source de variation d'intérêt. Nous défendons la position selon laquelle les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT, lorsqu'elles s'expriment dans des tâches de cognition de haut niveau, représentent l'un des déterminants de la validité prédictive de la MDT. L'enjeu de ce travail de recherche est double : apporter une meilleure compréhension du lien existant entre capacité de MDT et utilisation de stratégies efficaces dans les tâches de cognition de haut niveau, et évaluer dans quelle mesure l'utilisation de stratégies efficaces médiatise le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau. Nous chercherons à atteindre ces objectifs en nous appuyant notamment sur le paradigme de HFE.

- Notre premier chapitre expérimental, le Chapitre 4, présentera notre paradigme de HFE et son intérêt dans le cadre de l'étude de l'utilisation des stratégies ; nous mettrons en évidence un HFE dans le cadre d'une tâche de mémoire visuospatiale.
- Le Chapitre 5 cherchera à préciser la nature des stratégies qui pourraient être affectées par le HFE, ainsi que les conditions dans lesquelles l'effet apparaît.
- Dans le Chapitre 6, nous tenterons de généraliser le HFE à deux autres paradigmes expérimentaux : la tâche d'arithmétique modulaire utilisée par Beilock et DeCaro (2007), et le paradigme d'indication d'une partie de liste étudié par Cokely et collaborateurs (2006).
- Le Chapitre 7 utilisera une approche différente du HFE : nous chercherons à définir deux types de stratégies pouvant être utilisées dans des tâches de mémoire visuospatiale et verbale, dans le but de mettre en évidence un lien entre ces stratégies et la capacité de MDT, notamment à travers une analyse des patterns de réponse.
- Enfin, le Chapitre 8 s'intéressera au comportement stratégique dans la tâche des Matrices Avancées de Raven et proposera un test de médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces. Ce chapitre représentera donc un test direct de la position défendue dans cette thèse.

Partie expérimentale

Chapitre 4 : *Hard Fall Effet* et mémoire visuospatiale

Étude 1

(1) Introduction

Parmi les études qui ont reporté un HFE, quatre d'entre elles ont été conduites avec des participants adultes ; ces études ont utilisé des tâches de fluence verbale (Rosen & Engle, 1997 ; Schelble et al., 2012), de raisonnement visuospatial (Gimmig et al., 2006) et de raisonnement numérique (Beilock & DeCaro, 2007). Une seule étude impliquait une tâche de mémoire visuospatiale, mais cette étude a été réalisée avec un échantillon composé d'enfants (Ang & Lee, 2010). Autrement dit, le HFE n'a jamais été mis en évidence dans une tâche de mémoire chez l'adulte. Le premier objectif de cette étude était donc de généraliser le HFE observé dans la littérature en vérifiant son existence au sein d'une tâche de mémoire réalisée par des adultes.

Par ailleurs, seules deux études évaluaient directement l'implication des stratégies dans le HFE, et ce à partir de reports verbaux (Beilock & DeCaro, 2007 ; Schelble et al., 2012). Le second objectif de cette étude était donc de tester plus avant l'implication directe des stratégies dans le HFE en manipulant directement la possibilité de les mettre en place dans la tâche. Cette manipulation a été réalisée à l'aide de la méthode de contrainte temporelle, parfois utilisée dans la littérature pour limiter la possibilité d'utiliser des stratégies au sein d'une tâche. Cette méthode repose sur l'hypothèse que l'implémentation de stratégies demande du temps (Carpenter & Just, 1989 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a) ; l'utilisation de stratégies peut donc être perturbée en limitant le temps d'observation des informations pertinentes (Friedman & Miyake, 2004a ; Lépine et al., 2005 ; St Clair-Thompson, 2007). Nous proposons donc d'étudier le rôle de l'utilisation de stratégies en manipulant le temps de présentation des informations dans la tâche : si le HFE est dû à des différences d'utilisation de stratégies, il devrait être modulé par la possibilité de mettre en place ces stratégies.

Dans cette étude, les participants ont passé un empan d'opérations et une tâche de mémoire visuospatiale réalisée seule (situation de simple tâche) ainsi que conjointement avec une tâche perturbatrice (situation de double tâche). Nous nous attendions à observer un HFE classique : plus la capacité de MDT des participants était élevée, plus la diminution des

performances entre simple et double tâche devait être importante. Dans la mesure où les participants avec une forte capacité de MDT sont supposés utiliser leur contrôle attentionnel pour mettre en place des stratégies efficaces (voir p. 36), la tâche perturbatrice devait reposer de façon importante sur le contrôle attentionnel pour perturber la mise en place de ces stratégies. Nous avons donc choisi d'utiliser la tâche de génération de chiffres au hasard, car elle implique fortement le contrôle attentionnel (Jahanshahi, Saleem, Ho, Dirnberger, & Fuller, 2006).

Afin d'atteindre notre second objectif, consistant à limiter la possibilité de mettre en place des stratégies efficaces grâce à une contrainte temporelle, nous avons également manipulé le temps de présentation des informations à retenir dans la tâche de mémoire visuospatiale. Le HFE n'était pas supposé apparaître avec un temps de présentation court, car si l'apparition de l'effet dépend de l'utilisation de stratégies amélioratrices de la performance chez les participants avec une forte capacité de MDT, alors il devrait apparaître uniquement lorsque le temps de présentation permet la mise en place de ces stratégies.

(2) Méthode

(a) Participants

Quatre-vingt-dix-huit étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience ($M_{\text{âge}} = 21.1$ ans, $ET = 5.2$ mois ; 81 femmes et 17 hommes), en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux ne souffrait de troubles de la perception des couleurs. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de MDT : Empan d'opérations.

La capacité de MDT a été évaluée à l'aide d'une version française de l'empan d'opérations automatisé (Unsworth et al., 2005). Cette tâche a été traduite et adaptée à partir de la tâche initiale proposée par Unsworth et al. (2005), et présentée à l'aide du logiciel *E-prime* (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002). Elle se composait de trois parties successives : une phase d'entraînement à la mémorisation de lettres (mémorisation simple de lettres), une phase d'entraînement à la résolution des opérations (résolution d'opérations), et

la phase test comportant des lettres à mémoriser ainsi que des opérations à résoudre (phase test).

Mémorisation simple de lettres. Dans cette phase, les participants devaient mémoriser des séries de consonnes présentées séquentiellement. Chaque essai débutait par une croix de fixation placée au centre de l'écran, puis des consonnes apparaissaient successivement pendant 800 ms. À la fin de chaque essai, les participants devaient rappeler les consonnes dans l'ordre de présentation, en sélectionnant leurs réponses dans une matrice de quatre lignes par trois colonnes contenant l'ensemble des consonnes cibles ainsi que des consonnes distractrices. La position des consonnes au sein de la matrice variait aléatoirement d'essai en essai.

Cette première phase commençait par deux essais d'entraînement de deux et trois consonnes ; la longueur des séries augmentait ensuite progressivement de deux à huit consonnes, et trois essais étaient présentés pour chacune de ces longueurs. Au total, les participants passaient donc 21 essais de longueur croissante. Les participants qui réussissaient au moins un essai d'une longueur donnée passaient à la longueur suivante. La tâche se terminait quand les participants échouaient les trois essais d'une longueur donnée.

Résolution d'opérations. Dans cette phase, les participants devaient juger si le résultat d'opérations simples de type « $11 + 10 = 23$ » était correct ou incorrect. Les opérations étaient soit des additions, soit des soustractions. Cette tâche était constituée de 32 opérations, correctes dans 50% des cas. Le temps moyen de résolution était calculé pour chaque participant, afin de l'utiliser (à plus ou moins deux écarts-types) comme temps de réponse autorisé pour les opérations dans la phase test.

Phase test. Le score de MDT proprement dit était évalué pendant cette phase. Les participants devaient réaliser de façon coordonnée les deux tâches précédentes. Pour chaque essai, les participants commençaient par résoudre une opération, puis voyaient apparaître une consonne (800 ms), puis devaient résoudre une seconde opération suivie d'une autre consonne à retenir, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'ensemble des consonnes de l'essai ait été présenté. À la fin de chaque essai, les participants rappelaient l'ensemble des consonnes selon leur ordre de présentation, en utilisant la matrice de réponse.

Les participants réalisaient successivement quatre essais d'entraînement (deux listes de deux et trois consonnes), puis 21 essais test de difficulté croissante allant de deux à huit consonnes, avec trois essais pour chaque longueur. La tâche se terminait quand les participants échouaient les trois essais d'une longueur donnée. Le score des participants correspondait à la somme du nombre moyen de lettres correctement rappelées par niveau de difficulté (« *partial credit loading* » proposé par Conway et al., 2005). Les participants n'atteignant pas 85% de jugements corrects sur les opérations étaient exclus de l'échantillon (Unsworth et al., 2005).

Tâche de mémoire visuospatiale : localisation spatiale de couleurs (LSC).

La tâche de LSC constituait la tâche d'intérêt permettant d'évaluer l'existence du HFE. Dans cette tâche, les participants devaient mémoriser un pattern de cases colorées présentées dans une matrice de cinq lignes par cinq colonnes (voir la Figure 1). La complexité de la tâche

était assurée par le fait que les couleurs des cases d'un même pattern étaient toutes des nuances d'une même teinte.

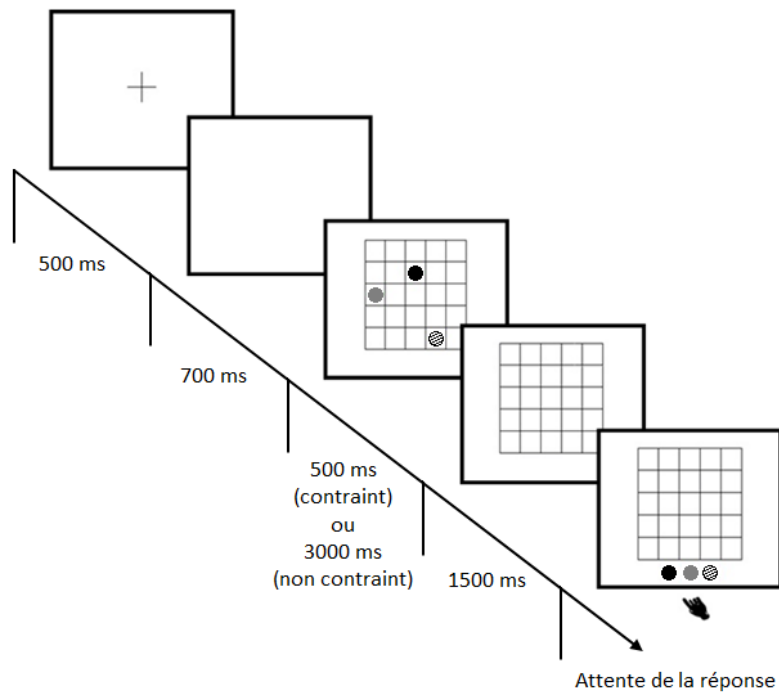


Figure 1. Déroulement d'un essai dans la tâche de LSC.

Les stimuli pour la tâche étaient constitués de deux séries de 25 patterns (l'ensemble des patterns utilisés est disponible en Annexe A). La première série de 25 patterns (patterns d'origine) a été construite de telle sorte que les patterns formés par les cases cibles soient des formes sans signification et non stéréotypées. La seconde série de patterns (patterns miroirs) a été construite en effectuant sur chaque pattern de la première série une rotation de 90° vers la gauche, constituant ainsi 25 patterns miroirs ayant exactement les mêmes caractéristiques structurales que les 25 patterns d'origine. Parmi ces deux listes de 25 patterns, la moitié étaient utilisés pour la condition simple tâche et l'autre moitié pour la condition double tâche.

Les couleurs des cases d'un pattern étaient toutes des nuances d'une même couleur (sélectionnée aléatoirement parmi six couleurs à chaque essai), et la nuance spécifique de chaque case était aléatoirement sélectionnée parmi six nuances de cette couleur initiale. Par exemple, pour un pattern dont la couleur initiale sélectionnée était le vert, les nuances de couleur des cases constituant le pattern pouvaient être vert clair, vert bouteille, bleu-vert, etc. Cette utilisation des variations d'une même couleur permettait de minimiser la possibilité d'un recodage verbal. Les palettes de nuances sont présentées en Annexe A.

Lors d'un essai, une croix de fixation apparaissait à l'écran pendant 1000 ms, puis l'affichage du pattern de cases colorées se faisait 1200 ms après disparition de la croix. Après un temps de présentation de 3000 ms (dans la condition sans contrainte temporelle) ou de 500 ms (dans la condition avec contrainte temporelle), le pattern disparaissait ; la matrice de réponse vierge s'affichait à l'écran 1500ms plus tard. Les participants devaient alors replacer les couleurs

(présentées en ligne en bas de l'écran ; voir Figure 1) à l'emplacement correct de façon à reproduire le pattern. Après leur réponse, les participants recevaient un feedback qui était fonction de la qualité du rappel, sous la forme d'une barre se remplissant plus ou moins de vert.

La tâche était constituée de trois niveaux de difficulté augmentant séquentiellement de trois à cinq cases colorées à retenir, avec six essais pour chaque niveau de difficulté. Chaque participant réalisait trois essais d'entraînement de niveau trois, puis trois essais d'entraînement de niveau quatre. Les participants réalisaient ensuite l'ensemble des essais de la tâche. Le score final des participants était calculé comme étant la proportion moyenne de cases colorées correctement replacées.

Tâche perturbatrice : génération de chiffres au hasard.

La tâche secondaire perturbatrice était une tâche de génération de chiffres au hasard (Baddeley, 1986). Nous l'avons choisie car elle a été utilisée dans l'unique étude ayant mis en évidence un HFE sur une tâche de mémoire visuospatiale chez l'enfant (Ang & Lee, 2010), ainsi que dans de nombreuses études portant sur la double tâche (Hegarty, Shah, & Miyake, 2000).

Pour réaliser cette tâche, les participants devaient produire verbalement des séries de chiffres le plus au hasard possible. Cette production devait suivre le rythme d'un métronome (calibré à 40 bpm) avec la consigne de générer un chiffre par battement. L'expérimentateur utilisait l'exemple du chapeau pour illustrer la tâche : on demandait aux participants d'imaginer les chiffres de un à neuf écrits chacun sur un morceau de papier différent, puis placés dans un chapeau. L'expérimentateur expliquait ensuite que le principe de la tâche consistait à s'imaginer tirer du chapeau un papier complètement au hasard, lire le chiffre qui était écrit puis remettre le papier dans le chapeau, et ainsi de suite. Pour mesurer la performance, nous avons utilisé 10 indicateurs d'aléatorisation : Erreurs (pourcentage de réponse de nombres), Runs, Coupon, RNG, RNG2, A comb, Turning Point Index (TPI), Repetition Gap (voir Towse & Neil, 1998 pour plus de détails sur ces indicateurs), PD, et PS (voir Sagaspe, Charles, Taillard, Bioulac, & Philip, 2003 pour plus de détails sur ces indicateurs). Ces indicateurs ont été choisis afin de représenter un grand nombre d'indices d'aléatorisation utilisés dans la littérature, tout en testant des aspects différents du caractère aléatoire de la production.

(c) Procédure

L'expérience était présentée aux participants comme portant sur une tâche de localisation de couleurs. Les participants réalisaient l'expérience (d'une durée de 45 minutes) de façon individuelle, en commençant par l'empan d'opérations. Une fois cette tâche terminée, les participants effectuaient la tâche de génération de chiffres au hasard pendant deux minutes, afin d'obtenir une ligne de base de la performance. L'expérimentateur recueillait les données en reportant directement sur un ordinateur les chiffres énoncés. Les participants réalisaient ensuite la tâche de LSC. Après les six essais d'entraînement, l'expérimentateur demandait aux participants de réaliser la tâche de localisation tout en

donnant des chiffres, en rythme et au hasard, comme ils l'avaient fait précédemment (situation de double tâche). L'expérimentateur insistait sur l'importance de réaliser au mieux les deux tâches, et sur le fait qu'aucune n'était plus importante que l'autre. Chaque pattern présenté pendant la condition double tâche était tiré au hasard parmi les deux listes de patterns possibles (patterns d'origine, patterns miroirs). À la fin de cette tâche, les participants étaient encouragés à prendre quelques minutes de repos.

Après ça, les participants réalisaient une nouvelle fois la tâche de localisation de couleurs, mais sans génération de chiffres au hasard (situation de simple tâche). Les patterns présentés dans la situation de simple tâche étaient ceux de la paire de patterns origine/miroir qui n'avaient pas été présentés dans la situation de double tâche. Tous les participants réalisaient les deux types de situations dans le même ordre, avec la situation de double tâche réalisée en premier et suivie de la situation de simple tâche. Pour la tâche de LSC, les participants étaient répartis de façon aléatoire entre deux conditions de temps de présentation : le pattern de cases colorées pouvait être présenté soit pendant 500 ms (temps de présentation court), soit pendant 3000 secondes (temps de présentation long).

(3) Résultats²

Sept participants ont été exclus de l'analyse de données car ils n'atteignaient pas le critère de 85% de jugements corrects dans l'empan d'opérations. L'échantillon final incluait donc 91 participants ($n = 46$ pour le temps de présentation contraint et $n = 45$ pour le temps de présentation non contraint). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. Le niveau de difficulté de la LSC (trois, quatre et cinq), le temps de présentation (contraint ou non) et la situation (simple et double tâche) étaient considérées comme des variables catégorielles ; la capacité de MDT était considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives sont présentées dans le Tableau 1 (temps de présentation court) et dans le Tableau 2 (temps de présentation long).

Analyses préliminaires.

Génération de chiffres au hasard. Pour chaque participant, nous avons calculé chacun des 10 indicateurs d'aléatorisation sur les données collectées pendant la ligne de base, et nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) avec rotation varimax sur les

² Toutes les analyses présentées dans ce travail de recherche ont été effectuées avec un seuil $\alpha = .05$. De plus, et pour chacune de nos analyses, nous avons effectué une recherche des observations déviantes (à l'aide des résidus supprimés studentisés et du D de Cook) qui étaient, le cas échéant, retirées de l'analyse concernée.

scores ainsi obtenus. Cette analyse avait pour but (1) de réduire le nombre d'indicateurs et (2) de vérifier la validité des mesures.

Tableau 1
Statistiques descriptives pour toutes les variables pour un temps de présentation court (500 ms)

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	56.57	11.60	29 – 75	-0.63	-0.32
Score de LSC – Simple tâche					
Niveau 3	0.62	0.14	0.33 – 0.94	0.17	-0.43
Niveau 4	0.45	0.13	0.04 – 0.71	-0.23	0.94
Niveau 5	0.28	0.10	0.07 – 0.57	0.20	0.38
Score de LSC – Double tâche					
Niveau 3	0.34	0.16	0.06 – 0.83	0.27	0.62
Niveau 4	0.23	0.11	0.00 – 0.46	0.33	-0.19
Niveau 5	0.15	0.07	0.00 – 0.37	0.33	0.67

Tableau 2
Statistiques descriptives pour toutes les variables pour un temps de présentation long (3000 ms)

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	55.40	12.66	27 – 75	-0.59	-0.70
Score de LSC – Simple tâche					
Niveau 3	0.81	0.15	0.44 – 1.00	-0.89	0.23
Niveau 4	0.64	0.14	0.38 – 0.92	0.16	-1.03
Niveau 5	0.42	0.15	0.17 – 0.73	0.43	-0.48
Score de LSC – Double tâche					
Niveau 3	0.43	0.21	0.06 – 0.94	0.33	-0.19
Niveau 4	0.31	0.14	0.00 – 0.67	0.42	0.51
Niveau 5	0.17	0.10	0.03 – 0.47	0.95	0.92

L'ACP a mis en évidence trois facteurs, expliquant 76.6% de la variance totale : Acomb, TPI, Runs et PS saturaient le premier facteur ; Erreurs, Coupon et Repetition Gap saturaient le second facteur ; RNG, RNG2 et PD saturaient le troisième facteur (nous n'avons pris en compte que les saturations supérieures à .70). Ces résultats sont cohérents avec ceux

observés dans la littérature (Friedman & Miyake, 2004b ; Towse & Neil, 1998). À partir de ces deux études et de nos propres résultats, nous avons interprété le premier facteur comme mesurant les associations prépondérantes (grand nombre de répétitions de paires de chiffres identiques), le second facteur comme mesurant l'égalité d'usage entre les réponses (fréquences différentes pour chaque réponse possible), et le troisième facteur comme mesurant l'aléatorisation (degré de hasard dans les réponses). Les résultats de l'ACP sont présentés en Annexe A (Tableau A1).

Ces résultats nous ont conduits à calculer trois scores factoriels résumant la performance des participants en génération de chiffres au hasard ; ces trois scores ont été calculés d'une part pour la ligne de base et d'autre part pour la condition double tâche. Les scores factoriels pour la situation de double tâche ont été calculés à partir des poids factoriels extraits pour la ligne de base. De cette façon, nous disposons d'un score comparable sur chacun des trois facteurs extraits de l'ACP, et ce pour chacune des deux situations.

Nous avons cherché à nous assurer qu'il n'existait pas d'effet différentiel de la situation (simple ou double tâche) en fonction de la capacité de MDT sur cette tâche de génération de chiffres au hasard. En effet, pour que les résultats observés dans la tâche de LSC ne puissent pas s'expliquer par une répartition des ressources attentionnelles différente entre les deux tâches, la performance dans la tâche de génération de chiffres au hasard en simple et double tâche ne devait pas être fonction des capacités de MDT. Nous nous sommes également intéressés à une interaction possible avec le temps de présentation.

Nous avons donc réalisé une analyse à l'aide du modèle linéaire général en considérant successivement chacun des trois facteurs issus de l'ACP comme variable dépendante, avec la capacité de MDT comme variable continue, la situation (simple ou double tâche) comme variable catégorielle intra-sujet, et le temps de présentation comme variable catégorielle inter-sujet. Aucune interaction n'a été observée entre la capacité de MDT et le temps de présentation ou entre la capacité de MDT et la situation, et aucune interaction double n'a été observée (voir les tableaux A2 à A4 en Annexe A pour les résultats complets des analyses de variance). Dans l'ensemble, ces résultats ne nous permettent pas de conclure à des variations importantes du lien entre capacité de MDT et performance, que ce soit en fonction du temps de présentation, du type de situation, ou des deux. Une différence d'effet de la double tâche en fonction de la capacité en MDT ne devrait donc pas pouvoir s'expliquer par une répartition différente des ressources attentionnelles entre les deux tâches en fonction de la capacité de MDT.

Capacité de MDT dans les groupes expérimentaux. Bien que les participants aient été répartis au hasard dans les conditions expérimentales avec et sans contrainte temporelle, nous sommes assurés qu'il n'y avait pas de différences sur la capacité de MDT en fonction du groupe expérimental. Une ANOVA à un facteur inter-sujet (temps de présentation : court ou long) a été réalisée sur les scores de capacité de MDT. Les scores de capacité de MDT pour un temps de présentation contraint ($M = 56.57$, $SD = 11.60$) étaient similaires aux scores de capacité de MDT pour un temps non contraint ($M = 55.40$, $SD = 12.66$), $t(87) = -0.45$, $p = .651$, $\eta^2_p = .00$. On peut donc considérer que les groupes expérimentaux étaient équivalents en termes de capacité de MDT moyenne ; un effet du temps de présentation ne devrait donc pas pouvoir s'expliquer par une différence de capacité de MDT entre les groupes.

Analyses principales.

Une analyse utilisant le modèle linéaire général a été réalisée sur les scores de LSC, avec comme facteurs intra-sujets le niveau de difficulté (trois, quatre et cinq) et la situation expérimentale (simple ou double tâche), comme facteur inter-sujet le temps de présentation (court ou long), et comme variable continue la capacité de MDT. Nous avons observé un effet principal du temps de présentation, avec une performance de LSC supérieure pour un temps long par rapport à un temps court, $F(1, 85) = 53.01$, $CME = 28152.40$, $p = .001$, $\eta^2_p = .38$. Nous avons également observé un effet principal du niveau de difficulté, avec une performance de LSC décroissant lorsque le niveau de difficulté augmentait, $F(2, 170) = 298.72$, $CME = 21891.32$, $p < .001$, $\eta^2_p = .78$, ainsi qu'un effet principal de la situation expérimentale, $F(1, 85) = 454.12$, $CME = 17502.27$, $p < .001$, $\eta^2_p = .84$, dans lequel la proportion de cases correctement replacées était supérieure dans la situation de simple tâche ($M = 0.54$; $ET = 0.14$) par rapport à la situation de double tâche ($M = 0.27$; $ET = 0.13$), reflétant un effet de double tâche classique. Enfin, la performance de LSC augmentait lorsque la capacité de MDT augmentait, $F(1, 85) = 16.42$, $CME = 28152.42$, $p < .001$, $\eta^2_p = .16$.

Une seconde analyse avait pour objectif de mettre en évidence un HFE dans la tâche de LSC. Dans la mesure où nous attendions uniquement un HFE dans la condition avec une faible contrainte temporelle, l'analyse a été restreinte à la condition temps de présentation long. De plus, on sait que l'apparition du HFE est fortement dépendante du niveau de difficulté de la tâche ; l'analyse a donc été réalisée séparément pour chacun des niveaux de difficulté de la tâche de LSC (trois, quatre et cinq). L'analyse a été effectuée avec le modèle linéaire général avec un facteur catégoriel intra-sujet (situation : simple et double tâche), ainsi que la capacité de MDT comme une variable continue.

Pour le niveau de difficulté le plus élevé, nous avons observé l'interaction attendue entre la capacité de MDT et la situation expérimentale, $F(1, 42) = 7.93$, $CME = 4976.62$, $p < .01$, $\eta^2_p = .16$. Cette interaction était dans le sens de nos hypothèses : la performance des participants avec une forte capacité de MDT diminuait plus que celle des participants avec une faible capacité de MDT entre la simple tâche et la double tâche. Afin d'appréhender cette interaction plus facilement, nous avons calculé un score de diminution de performance entre la simple et la double tâche en soustrayant le score en situation de double tâche au score en situation de simple tâche. Pour le niveau de difficulté le plus élevé, ce score de diminution de performance était plus important lorsque la capacité de MDT augmentait, $r(43) = .39$, $p = .007$, indiquant l'apparition d'un HFE dans la tâche.

De façon plus précise, nous nous attendions à ce que la capacité de MDT soit prédictive de la performance uniquement dans la situation de simple tâche, qui permet la mise en place de stratégies efficaces. Dans les faits, la performance de LSC était corrélée avec la capacité de MDT en situation de simple tâche (voir Figure 2, à gauche), $r(43) = .49$, $p < .001$, mais pas en situation de double tâche, $r(42) = .03$, $p = .869$ (voir Figure 2, à droite).

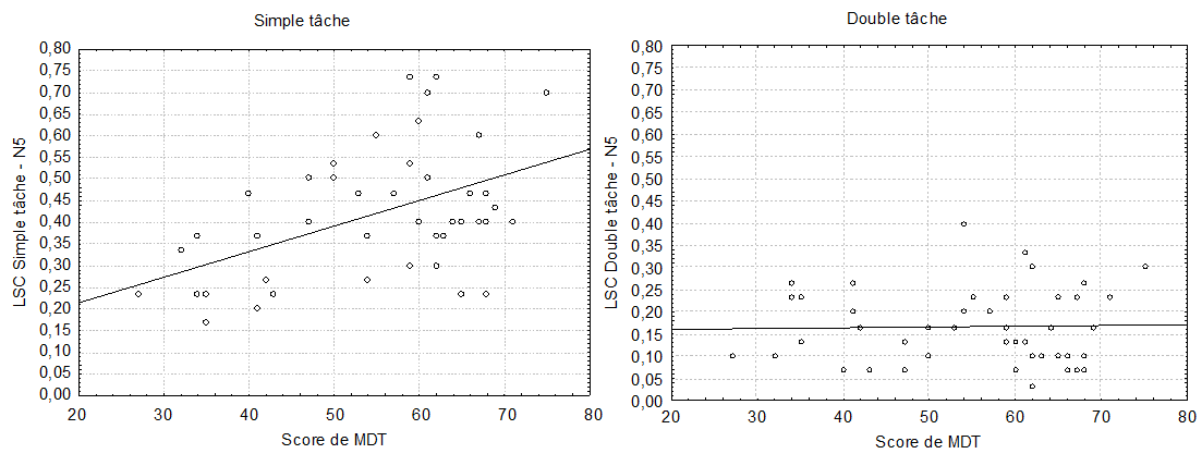


Figure 2. Corrélation entre le score de LSC en simple tâche (à gauche) et en double tâche (à droite) avec le score de MDT, pour le niveau cinq et pour un non temps contraint.

Contrairement au niveau de difficulté le plus élevé, l'interaction entre capacité de MDT et situation expérimentale n'était pas significative pour le niveau de difficulté intermédiaire, $F < 1$, $p = .712$, $\eta^2_p = .00$, ni pour le niveau de difficulté le plus faible, $F < 1$, $p = .579$, $\eta^2_p = .00$. Autrement dit, le HFE apparaissait lorsque le temps n'était pas contraint, mais uniquement pour le niveau de difficulté le plus élevé de la LSC.

Une dernière analyse avait pour objectif de vérifier si le HFE apparaissait uniquement lorsque le temps de présentation était long, permettant la mise en place de stratégies pour améliorer la performance. Dans la mesure où le HFE n'apparaissait que sur le niveau de

difficulté le plus élevé, l'analyse a été restreinte à ce niveau de difficulté. L'analyse a utilisé le modèle linéaire général et a été réalisée sur les scores de LSC avec un facteur catégoriel inter-sujet (temps de présentation : court ou long), un facteur catégoriel intra-sujet (situation : simple ou double tâche), et la capacité de MDT comme variable continue.

Nous avons observé une interaction double significative entre la capacité de MDT, la situation et le temps de présentation, $F(1, 85) = 4.00$, $CME = 0.01$, $p = .048$, $\eta^2_p = .04$, ce qui veut dire que le HFE dépendait de la contrainte temporelle. Alors que le HFE apparaissait pour un temps de présentation long, comme indiqué dans l'analyse précédente, l'interaction entre la capacité de MDT et la situation n'était pas significative pour un temps de présentation court, $F(1, 41) = 0.03$, $CME = 0.01$, $p = .871$, $\eta^2_p = .00$. Avec un temps de présentation court, la performance de LSC ne corrélait pas avec la capacité de MDT, que ce soit en situation de simple tâche (voir Figure 3, à gauche), $r(43) = .11$, $p = .454$, ou en situation de double tâche, $r(43) = .11$, $p = .486$ (voir Figure 3, à droite).

Nous avons également calculé un score de différence entre simple tâche et double tâche. De façon congruente avec notre hypothèse, une augmentation de la capacité de MDT n'était pas associée à une plus forte diminution des performances de LSC entre la simple et la double tâche lorsque le temps de présentation était court, $r(43) = .02$, $p = .871$.

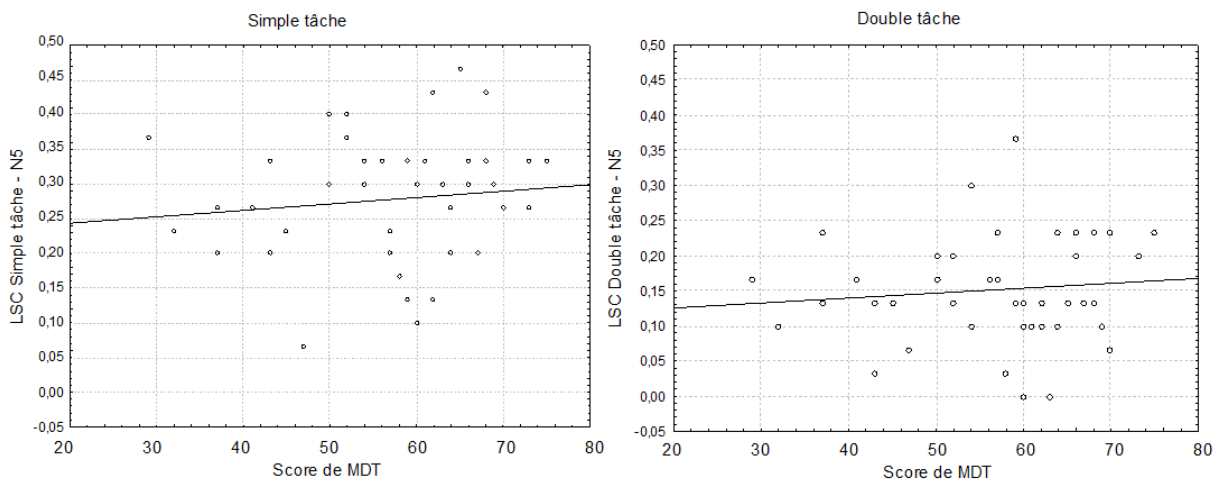


Figure 3. Corrélation entre le score de LSC en simple tâche (à gauche) et en double tâche (à droite) avec le score de MDT, pour le niveau cinq et pour un temps contraint.

(4) Discussion

Cette étude avait deux objectifs. Le premier était de mettre en évidence l'existence d'un HFE dans une tâche de mémoire visuospatiale avec des participants adultes. Le second était d'apporter un argument expérimental en faveur d'une explication en termes de

différences d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT en manipulant directement la possibilité de mettre en place des stratégies au sein de la tâche.

Nos résultats ont montré que pour le niveau de difficulté le plus important de la tâche de mémoire visuospatiale, la diminution de performance entre la simple et la double tâche était d'autant plus importante que la capacité de MDT était élevée, ce qui indique la présence d'un HFE dans ce type de tâche. Cet effet n'apparaissait pas lorsque le temps de présentation des informations à mémoriser était contraint de façon à empêcher l'utilisation de stratégies pour améliorer la performance, ce qui suggère que le HFE est effectivement sous-tendu par l'utilisation de stratégies.

Globalement, nos résultats indiquent donc que le HFE se retrouve dans une tâche de mémoire visuospatiale, tout comme il a été observé dans plusieurs tâches de cognition de haut niveau. Cela suggère que la relation entre capacité de MDT et utilisation de stratégies est un phénomène assez général ; les participants avec une forte capacité de MDT utiliseraient alors des stratégies afin d'améliorer leur performance dans des tâches très différentes comme la fluence verbale (Schelble et al., 2012), la résolution de problèmes mathématiques (Beilock & DeCaro, 2007), ou la mémoire visuospatiale comme le montre notre étude. Nos résultats apportent donc un argument en faveur de l'hypothèse des stratégies comme source de variation d'intérêt. Cette conclusion est d'ailleurs corroborée par la corrélation significative que nous retrouvons entre capacité de MDT et performance de LSC lorsque le temps est non contraint, et qui disparaît lorsque le temps est contraint (ce qui perturbe les stratégies). Autrement dit, la capacité de MDT prédit la performance de mémoire visuospatiale lorsqu'on laisse les stratégies varier librement, ce qui n'est plus le cas lorsque les stratégies sont empêchées par une contrainte temporelle.

L'observation selon laquelle le HFE n'apparaît que pour le niveau de difficulté le plus élevé est congruente avec les données de la littérature issues du paradigme de « *Choking Under Pressure* » (ou CUP), selon lesquelles le HFE n'émerge que lorsque la difficulté de la tâche est suffisamment importante (Beilock & Carr, 2005 ; Beilock & DeCaro, 2007). Plusieurs raisons peuvent expliquer que le HFE n'apparaisse pas dans les conditions les plus faciles. Il est possible que dans des conditions faiblement difficiles, l'utilisation de stratégies n'apporte pas d'avantage significatif, ou que les participants avec une faible capacité de MDT soient en mesure de mettre en place des stratégies pour améliorer leur performance du fait des caractéristiques peu complexes de la situation. Cette explication est soutenue par certaines données observées dans d'autres tâches, qui montrent que les participants avec une faible capacité de MDT sont capable d'utiliser des stratégies pour améliorer leur performance – bien

qu'ils le fassent de façon moins efficace que les participants avec une forte capacité de MDT (McNamara & Scott, 2001 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003).

De façon générale, nos résultats sont en accord avec l'hypothèse d'une utilisation de stratégies amélioratrices de la performance pour les participants avec une forte capacité de MDT. Cela suggère que les différences quantitatives (les participants avec une forte capacité de MDT ont de meilleures performances dans un large ensemble de tâches) sont bien associées à des différences qualitatives dans le traitement de l'information (les participants avec une forte capacité de MDT utilisent des stratégies pour améliorer leurs performances). En revanche, comprendre la nature de ces différences qualitatives demeure cependant difficile.

Dans les tâches de mémoire verbale, nous savons que les stratégies considérées comme efficaces sont de nature sémantique (Bailey et al., 2011) ; cela inclut la génération de phrases, l'imagerie mentale, ou le fait de lier les informations à mémoriser à des événements revêtant une signification personnelle. Cependant, ces stratégies sémantiques sont difficilement applicables aux patterns visuospatiaux non signifiants utilisés dans la tâche de LSC. Par ailleurs, nous avons utilisé des items qui présentaient des nuances de la même couleur pour de façon à éviter un recodage verbal des stimuli ; cette manipulation expérimentale devrait rendre les stratégies comme la génération de phrases très difficile à appliquer. L'enjeu de l'Étude 2 sera en partie de mieux comprendre quelles sont les stratégies pouvant être impliquées dans la performance dans la tâche de LSC.

Chapitre 5 : Origine du HFE dans la tâche de localisation spatiale de couleurs

Le premier objectif de ce chapitre était d'évaluer à quel moment – encodage ou récupération – interviennent les stratégies impliquées dans le HFE. Le second objectif était de préciser si le HFE peut être attribué à la complexité de la tâche de LSC, nécessitant un contrôle attentionnel pour mettre en place des stratégies d'encodage, ou si le même effet s'observe sur des tâches plus simples évaluant des processus plus élémentaires tels que le « *binding* » et la mémorisation de localisations spatiales.

A. Étude 2 : Stratégies d'encodage ou de récupération ?

(1) Introduction

L'Étude 1 a suggéré que le HFE observé dans la tâche de LSC pouvait être dû à des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT. On peut supposer que ces différences s'expriment spécifiquement lors de l'encodage, et ce pour trois raisons. Premièrement, dans le cadre du paradigme expérimental présenté dans l'Étude 1, la contrainte temporelle s'appliquait uniquement à la phase d'encodage puisque seuls les temps de présentation des stimuli étaient contraints. Deuxièmement, on sait que la contrainte temporelle réduit l'utilisation des stratégies d'encodage efficaces (Friedman & Miyake, 2004a ; St Clair-Thompson, 2007). Enfin, on sait également que dans les empan complexes, les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à utiliser des stratégies d'encodage considérées comme efficaces tandis que les participants avec une faible capacité de MDT ont plutôt tendance à utiliser des stratégies d'encodage considérées comme peu efficaces (Bailey et al., 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Kaakinen & Hyönä, 2007). Ces mêmes différences d'utilisation de stratégies d'encodage se retrouvent dans des tâches de rappel indicé de paires de mots et de rappel libre (Bailey et al., 2008), ainsi que de rappel épisodique (Unsworth & Spillers, 2010a).

Cependant, certains arguments pourraient conduire à envisager que les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT soient spécifiques à la phase de récupération. On sait en effet que les participants avec une forte capacité de MDT utilisent leurs indices de récupération de façon plus efficace que les participants avec une faible capacité de MDT (Spillers & Unsworth, 2011) et sont plus

stratégiques dans la recherche de ces indices (Unsworth et al., 2012a, 2012b). De plus, dans le paradigme présenté dans l'Étude 1, la présence de la génération de chiffres au hasard modulait l'apparition du HFE, tout comme la contrainte temporelle. Or, cette perturbation englobait l'ensemble de la réalisation de la tâche de mémoire visuospatiale, et incluait donc la phase de rappel. Il se pourrait donc que la génération de chiffres au hasard ait perturbé les stratégies de récupération.

Une troisième possibilité serait de considérer que les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT portent conjointement sur l'encodage et la récupération. On sait que la performance de rappel de listes de mots est déterminée par une interaction entre les stratégies d'encodage et de récupération (Unsworth & Spillers, 2010a). De plus, dans l'Étude 1, la double tâche était réalisée pendant l'ensemble de la tâche de la LSC ; elle a donc pu perturber à la fois les stratégies d'encodage et de récupération.

L'étude que nous allons présenter avait pour objectif principal de tester de façon plus spécifique le rôle des stratégies d'encodage et de récupération dans l'explication du HFE. Dans ce but, les participants ont réalisé la tâche de LSC soit sans perturbation, soit avec une perturbation lors de l'encodage, soit avec une perturbation lors de la récupération. Tout comme dans l'Étude 1, la tâche de génération de chiffres au hasard a été utilisée comme tâche perturbatrice.

Un objectif secondaire était de contrôler une explication alternative au HFE observé dans l'Étude 1 : puisque la tâche de génération de chiffres au hasard implique une production verbale rythmée, on pourrait imaginer que son caractère perturbateur soit dû à sa composante rythmique ou bien à l'utilisation de la boucle phonologique. Or, nous avons supposé que la génération de chiffres au hasard perturbait la mise en place de stratégies efficaces du fait qu'elle implique fortement le contrôle attentionnel. Cependant, si son caractère perturbateur était dû par exemple à l'utilisation de la boucle phonologique, cela remettrait en cause l'hypothèse que le HFE est dû à l'utilisation de stratégies. Pour contrôler ce problème, nous avons donc utilisé une tâche de suppression articulatoire comme tâche perturbatrice ; cette tâche n'implique pas de composante attentionnelle marquée et n'est donc pas supposée perturber le fonctionnement stratégique. Nous nous attendions à ce que seule la tâche de génération de chiffres au hasard diminue la performance sur la tâche de LSC.

Enfin et suite à la discussion de l'Étude 1 (p. 91), un autre objectif complémentaire de cette étude était de mieux comprendre la nature des différences qualitatives de stratégies

utilisées dans la tâche de LSC en fonction de la capacité de MDT. Pour réaliser cet objectif, les participants ont complété un report verbal de leurs stratégies.

(2) Méthode

(a) Participants

Soixante étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience ($M_{\text{âge}} = 19.9$ ans, $ET = 4.2$ mois ; 52 femmes et huit hommes), en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, aucun d'entre eux ne souffrait de troubles de la perception des couleurs, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de mémoire visuospatiale : localisation spatiale de couleurs.

Nous avons réutilisé la tâche de LSC présentée dans l'Étude 1 (pp. 81 à 83), mais tous les patterns étaient cette fois-ci présentés pendant 3000 ms, correspondant à un temps de présentation long dans l'Étude 1. Les participants ont complété deux essais de familiarisation (patterns de deux et trois cases), cinq essais d'entraînement adaptés à leur condition expérimentale (deux puis trois patterns de trois et quatre cases, respectivement), et 18 essais tests de difficulté croissante (six essais pour chaque niveau de difficulté allant de trois à cinq cases).

Tâche perturbatrice complexe : génération de chiffres au hasard.

Nous avons utilisé la même tâche de génération de chiffres au hasard que celle présentée dans l'Étude 1 (p. 83). Les participants devaient toujours donner un chiffre à chaque battement du métronome, calibré à 40 battements par minute.

Tâche perturbatrice simple : suppression articulatoire.

Dans cette tâche, les participants devaient simplement répéter à voix haute la syllabe « TA », en suivant les battements du métronome calibré à 40 battements par minute.

(c) Procédure

Les participants réalisaient l'étude (d'une durée de 20 minutes) de façon individuelle. Tous les participants commençaient par générer des chiffres au hasard pendant deux minutes (obtention de la ligne de base), après que l'expérimentateur leur ait expliqué les consignes et présenté la métaphore du chapeau. Ils étaient ensuite répartis aléatoirement dans l'une des cinq conditions expérimentales de l'étude, et effectuaient donc la tâche de LSC soit sans perturbation, soit avec une suppression articulatoire lors de l'encodage ou de la récupération, soit avec une génération de chiffres au hasard lors de l'encodage ou de la récupération.

Les participants réalisaient la tâche de LSC soit seule pour la condition sans perturbation, soit en double tâche pour les autres conditions. En condition de double tâche, l'expérimentateur précisait qu'aucune des deux tâches n'était plus importante que l'autre. Pendant toute la durée de la phase d'entraînement et de la phase test, les participants entendaient les battements du métronome, quelle que soit leur condition expérimentale. Pour les quatre conditions de double tâche, les participants devaient commencer à générer des chiffres ou à répéter « TA » lorsqu'ils entendaient un premier bip sonore, et devaient s'arrêter lorsque ce bip retentissait à nouveau. Les deux bips sonores retentissaient une seconde avant l'apparition puis une seconde après la disparition du pattern de cases colorées pour les perturbations à l'encodage, et une seconde avant que les couleurs ne soient disposées en bas de l'écran puis une seconde après que les participants aient validé leur réponse pour les perturbations lors de la récupération. Une fois la tâche de LSC terminée, l'expérimentateur demandait aux participants de rapporter oralement les stratégies qu'ils avaient utilisées. Les réponses orales des participants étaient alors directement retranscrites par l'expérimentateur.

(3) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. Le niveau de difficulté de la LSC (trois, quatre et cinq), le moment de la perturbation (encodage ou récupération), et le type de perturbation (complexe ou articulatoire) étaient considérées comme des variables catégorielles.

Analyse préliminaire.

Afin de déterminer si les prochaines analyses devaient être, comme dans l'Étude 1, réalisées séparément pour chaque niveau de difficulté de la tâche de LSC, nous avons commencé l'analyse par une ANOVA prenant en compte trois facteurs : le niveau de

difficulté (trois, quatre et cinq) comme variable catégorielle intra-sujet, ainsi que le moment de la perturbation (encodage ou récupération) et le type de perturbation (complexe ou articulatoire) comme variables catégorielles inter-sujet.

L'effet du niveau de difficulté était significatif, $F(2, 84) = 9.67$, $CME = 74.09$, $p < .001$, $\eta^2_p = .19$, avec 40% ($ET = 11\%$), 35% ($ET = 14\%$) et 32% ($ET = 15\%$) de cases correctement remplacées pour les niveaux de difficulté trois, quatre et cinq, respectivement. Cependant, ce facteur n'interagissait ni avec le moment de la perturbation, $F(2, 84) = 1.14$, $CME = 74.09$, $p = .326$, $\eta^2_p = .03$, ni avec le type de perturbation, $F(2, 84) = 1.07$, $CME = 74.09$, $p = .346$, $\eta^2_p = .02$. De plus, l'interaction double entre ces trois facteurs était également non significative, $F(2, 84) = 1.87$, $CME = 74.09$, $p = .161$, $\eta^2_p = .04$. Du fait de ces résultats, nous avons choisi de continuer l'analyse tous niveaux de difficulté confondus.

Analyse principale des scores de LSC.

Une ANOVA prenant en compte deux facteurs, le moment de la perturbation (encodage ou récupération) et le type de perturbation (complexe ou articulatoire) comme variables catégorielles inter-sujet, a ensuite été menée sur les scores de LSC, et ce tous niveaux de difficulté confondus. L'objectif était de déterminer le rôle des stratégies d'encodage et de récupération dans l'explication du HFE, ainsi que le type de perturbation impliqué (complexe ou articulatoire).

D'une part, l'effet principal du moment de la perturbation n'était pas significatif, $F(1, 42) = 1.09$, $CME = 76.70$, $p = .302$, $\eta^2_p = .03$. D'autre part, l'effet principal du type de perturbation était quant à lui significatif, $F(1, 42) = 27.84$, $CME = 76.70$, $p < .001$, $\eta^2_p = .40$. Les participants en condition de perturbation complexe rappelaient moins de cases ($M = 29\%$; $ET = 10\%$) que les participants en condition de suppression articulatoire ($M = 42\%$; $ET = 9\%$). De plus, ces deux facteurs interagissaient, $F(1, 42) = 7.45$, $CME = 76.70$, $p = .009$, $\eta^2_p = .15$ (voir la Figure 4).

Nous avons décomposé cette interaction en évaluant les effets simples du type de perturbation à l'encodage, puis à la récupération. Lors de l'encodage, la perturbation complexe réduisait significativement les performances de LSC ($M = 24\%$; $ET = 8\%$) par rapport à la suppression articulatoire ($M = 45\%$; $ET = 8\%$), $F(1, 42) = 7.13$, $CME = 76.70$, $p = .011$, $\eta^2_p = .15$. En revanche, il n'y avait pas de différence entre les deux types de perturbation lors de la récupération, $F(1, 42) = 1.42$, $CME = 76.70$, $p = .240$, $\eta^2_p = .03$, avec respectivement 34% ($ET = 9.5\%$) et 40% ($ET = 9.5\%$) de cases rappelées pour la perturbation complexe et la suppression articulatoire. En d'autres termes, la perturbation complexe à

l'encodage avait un effet délétère sur la performance supérieur à celui de la suppression articulaire, mais ce n'était pas le cas de la perturbation complexe à la récupération.

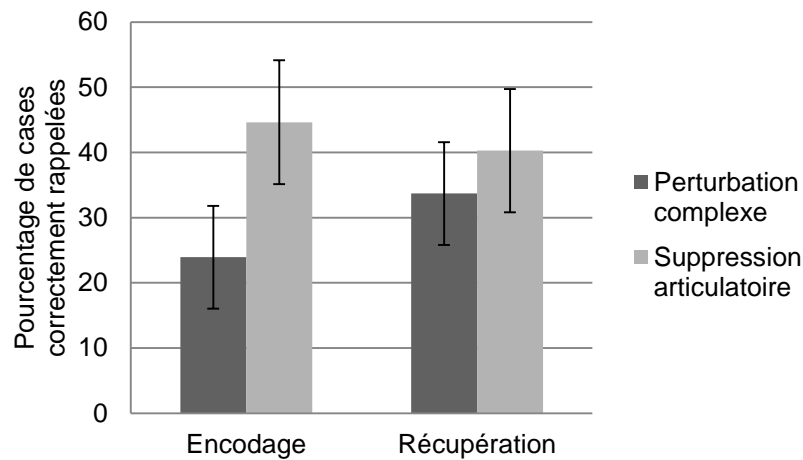


Figure 4. Pourcentage de couleurs correctement rappelées dans la tâche de LSC en fonction du moment et du type de perturbation; les barres d'erreurs représentent les écart-types.

Comparaison à la condition contrôle.

Une comparaison de l'ensemble des conditions expérimentales à la condition contrôle (sans perturbation) a été réalisée grâce au test de Dunnett. D'après les résultats de ce test ($CM_{inter} = 78.93$; $ddl = 53$), la performance était significativement plus faible dans les conditions avec une génération de chiffres au hasard à l'encodage ($p < .001$) ainsi qu'à la récupération ($p = .001$) que dans la condition contrôle, c'est-à-dire sans perturbation. En revanche, les résultats n'ont pas mis en évidence de différences avec la condition contrôle pour les deux groupes de suppression articulaire ($p = .871$ et $p = .169$ pour la suppression à l'encodage et à la récupération, respectivement). La performance dans la tâche de LSC était donc inférieure à la condition contrôle pour les deux conditions de perturbation complexe, mais similaire à la condition contrôle dans les deux conditions de suppression articulaire.

Analyse des reports verbaux rétrospectifs.

Classification. Les reports verbaux ont été analysés par trois juges indépendants. Six stratégies possibles ont ainsi été identifiées (des exemples de reports verbaux correspondant à chacune de ces stratégies sont disponibles en Annexe C) :

- aucune stratégie ou stratégie élémentaire (le participant n'utilisait aucune stratégie ou utilisait une stratégie de recodage verbal) ;

- stratégie basée sur les localisations (le participant se concentrait prioritairement sur la mémorisation des localisations) ;
- stratégie basée sur une simplification de l'espace (le participant simplifiait l'espace en le découpant en plusieurs sous-parties) ;
- stratégie basée sur la forme (le participant repérait des formes avec une signification personnelle ou géométrique) ;
- stratégie basée sur un chemin (le participant reliait les cases colorées par un chemin, en allant de la plus foncée jusqu'à la plus claire ou inversement) ;
- et la stratégie de compromis (le participant mémorisait en priorité une ou plusieurs cases saillantes, comme la plus foncée ou la plus claire).

Deux juges aveugles aux conditions expérimentales ont ensuite indépendamment catégorisé les reports verbaux en utilisant cette classification stratégique ($r = .68$ pour l'accord inter-juges). Tout désaccord entre les juges a été discuté jusqu'à l'obtention d'un consensus. Les distributions de chacune des stratégies en fonction de la condition expérimentale sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3

Fréquence d'utilisation de chaque type de stratégie en fonction de la condition expérimentale

	Sans perturbation	Chiffres à l'encodage	Chiffres à la récupération	Suppression à l'encodage	Suppression à la récupération
Aucune stratégie ou stratégie élémentaire	0.08	0.42	0.08	0.17	0.17
Stratégie basée sur les localisations	0	0.08	0.08	0.08	0
Stratégie basée sur une simplification de l'espace	0.17	0	0.08	0.08	0.17
Stratégie basée sur la forme	0.08	0.25	0	0	0.17
Stratégie basée sur un chemin	0.17	0.08	0.25	0.42	0.33
Stratégie de compromis	0.50	0.17	0.50	0.25	0.17

Afin de mieux comprendre l'effet de la perturbation sur l'utilisation de stratégies, nous avons choisi de comparer la distribution des stratégies dans la condition sans perturbation, considérée comme condition contrôle, avec la distribution des stratégies dans chacune des autres conditions expérimentales à l'aide d'un chi carré d'égalité de distributions. Nous avons ainsi observé que la distribution des stratégies dans la condition de génération de chiffres au

hasard à l'encodage différait de la distribution observée dans la condition contrôle, $\chi^2(5) = 25.17, p < .001$. L'examen des données descriptives (voir Tableau 3) suggère que les participants dans la condition de génération de chiffres à l'encodage avaient plus tendance à n'utiliser aucune stratégie ou à utiliser des stratégies élémentaires, et moins tendance à utiliser une stratégie de compromis. Cette différence entre distributions n'a pas été retrouvée ni pour la condition de génération de chiffres au hasard à la récupération, $\chi^2(5) = 2.00, p = .849$, ni pour la condition de suppression articulaire à l'encodage, $\chi^2(5) = 8.50, p = .131$, ni pour la condition de suppression articulaire à la récupération, $\chi^2(5) = 6.67, p = .247$. La condition de perturbation complexe lors de l'encodage était donc la seule condition pour laquelle les stratégies étaient distribuées différemment par rapport à la condition contrôle.

Analyses complémentaires des données de génération de chiffres au hasard.

Nous avons cherché à vérifier la consistance des données de génération au hasard par rapport à l'Étude 1 (pp. 85 à 86) et par rapport à la littérature (Friedman & Miyake, 2004b ; Towse & Neil, 1998). Nous avons donc appliqué la même méthode d'analyse que celle détaillée dans le chapitre précédent. Comme dans l'Étude 1, nous avons dégagé une structure en trois facteurs et expliquant 77.42% de la variance totale. Les résultats de l'ACP sont présentés en Annexe C (Tableau C1). La seule différence concerne l'indicateur RNG2, qui ne saturait aucun facteur dans cette étude alors qu'il saturait le second facteur dans l'Étude 1 ainsi que dans les autres études de la littérature (Friedman & Miyake, 2004b ; Towse & Neil, 1998). Les données de génération au hasard suivaient donc une structure globalement cohérente avec les études antérieures. Nous n'avons pas effectué d'analyse complémentaire sur les données de génération de chiffres au hasard, par exemple en testant l'effet de la condition expérimentale, car le peu de chiffres générés par essais lors de la situation de double tâche rendait toute exploitation impossible.

(4) Discussion

Cette étude avait pour objectif de tester de façon spécifique le rôle des stratégies d'encodage ou de récupération dans l'explication du HFE. Nous avons utilisé un paradigme de double tâche, afin de perturber l'utilisation de stratégies, et ce soit à l'encodage, soit à la récupération. La perturbation pouvait être de nature complexe (génération de chiffres au hasard), ou de nature articulaire (suppression articulaire).

Le résultat le plus intéressant de cette étude est la diminution de performance spécifique à la condition de perturbation complexe lorsqu'elle avait lieu au moment de

l'encodage, par rapport à la condition de suppression articulatoire au même moment. Cela indique que la phase d'encodage est celle durant laquelle les traitements sont les plus complexes et les plus fragiles, ce qui pourrait correspondre à la mise en place de stratégies d'encodage considérées comme efficaces. D'après ce résultat, on peut donc supposer que les stratégies d'encodage jouent un rôle prépondérant dans la performance de LSC, et donc que le HFE que nous avons précédemment mis en évidence (Étude 1) était d'abord la conséquence d'une perturbation des stratégies d'encodage. Pour la phase de récupération, au contraire, la perturbation complexe avait le même effet délétère sur la performance que la perturbation articulatoire. Cela suggère que la perturbation à la récupération n'affectait pas la mise en place de stratégies, mais peut-être plutôt un autre processus intervenant dans la performance et qui serait sensible à une perturbation articulatoire simple.

Ces résultats sont cohérents avec d'autres études portant sur l'effet de la double tâche appliqué sélectivement lors de l'encodage ou de la récupération. En effet, il a déjà été montré que ces deux phases de mémoire étaient différenciellement perturbées par une tâche secondaire (Fernandes & Moscovitch, 2000 ; Naveh-Benjamin, Craik, Gavrilescu, & Anderson, 2000 ; Troyer, Winocur, Craik, & Moscovitch, 1999). De la même façon que ce qui a été observé dans notre étude, il semblerait qu'on observe un coût important lié à la réalisation d'une tâche secondaire pendant l'encodage (Baddeley, Lewis, Eldridge, & Thomson, 1984 ; Craik, Govoni, Naveh-Benjamin, & Anderson, 1996 ; Craik, Naveh-Benjamin, Ishaik, & Anderson, 2000 ; Murdock, 1965 ; Naveh-Benjamin, Craik, Guez, & Dori, 1998 ; Naveh-Benjamin & Guez, 2000 ; Naveh-Benjamin, Kilb, & Fisher, 2006 ; Park, Smith, Dudley, & Lafronza, 1989), tandis que ce coût semble être plus faible lorsque la tâche secondaire est réalisée pendant la récupération (Baddeley et al., 1984 ; Craik et al., 1996 ; Craik et al., 2000 ; Kellogg, Cocklin, & Bourne, 1982 ; Naveh-Benjamin et al., 2006 ; Park et al., 1989). Cette différence peut s'interpréter en termes de stratégies : il est possible que l'effet plus important de la double tâche sur la phase d'encodage soit dû au rôle plus important des stratégies dans cette phase.

Comparativement à une situation contrôle sans aucune perturbation, la performance de LSC était particulièrement réduite pour les deux conditions de perturbation complexe avec génération de chiffres au hasard ; en revanche, les deux conditions de suppression articulatoire ne semblaient pas avoir d'influence sur la performance. Ces résultats indiquent que la diminution des performances dans la tâche de LSC en situation de double tâche ne provient pas de la production verbale rythmée en soi, mais bien de la difficulté apportée par la génération de chiffres au hasard. Cela soutient également l'idée que l'utilisation des nuances

de couleur a bien permis de minimiser le recours au recodage verbal : si un tel recodage avait lieu, la suppression articulatoire aurait probablement un effet délétère sur la performance. Enfin, le fait que la performance ne soit pas affectée par la suppression articulatoire indique que ce type de perturbation n'a pas affecté la mise en place des stratégies d'encodage. Cela suggère que l'implémentation des stratégies d'encodage serait spécifiquement liée au contrôle attentionnel, qui est affecté par la tâche de génération de chiffres au hasard.

L'analyse des reports verbaux nous apporte également d'intéressantes informations. Nous avons pu construire six catégories de stratégies à partir des informations que nous avons à disposition, ce qui dénote une variété intéressante dans les stratégies employées. Sur les six stratégies d'encodage reportées, seules deux – stratégie basée sur un chemin et stratégie de compromis – prennent clairement en compte les deux dimensions des stimuli à encoder, c'est-à-dire la localisation et la couleur. Les trois autres se concentrent principalement sur la dimension de localisation. De façon intéressante, les participants ne reportaient que des stratégies d'encodage, et aucune stratégie de récupération. La première possibilité serait qu'il n'y ait que des stratégies d'encodage impliquées dans la tâche de LSC, ce qui semble peu probable, même si nos données suggèrent que ce sont bien ces stratégies qui sont perturbées dans le HFE. La seconde possibilité, plus probable, serait de considérer que les stratégies de récupération sont difficiles à reporter verbalement, notamment parce que ces stratégies ne sont pas conscientes.

Certaines stratégies n'étaient pas du tout représentées dans certaines conditions expérimentales, ce qui était par exemple le cas de la stratégie basée sur les localisations dans la condition sans perturbation (voir le Tableau 3). Nous n'avons donc pas pu réaliser d'analyse pour déterminer quelles étaient les stratégies les plus efficaces. En revanche, nous avons analysé la distribution de ces six stratégies pour chacune des conditions, et observé que par rapport à la situation sans perturbation, il n'y avait que la condition de génération de chiffres au hasard à l'encodage qui différait. Cela signifie qu'une perturbation complexe à l'encodage, en plus de diminuer de façon importante la performance, conduit également à une modification du pattern de stratégies que les participants utilisent. Ce résultat va dans le sens d'une perturbation des stratégies d'encodage dans le HFE. L'absence d'effet de la suppression articulatoire sur les stratégies d'encodage confirme que la mise en place des stratégies est bien liée au contrôle attentionnel.

Ces résultats reposant sur les reports verbaux, bien qu'apportant d'intéressantes informations, sont tout de même à considérer avec prudence. Le petit nombre de participants par condition expérimentale ($n = 12$), ainsi que les importantes inégalités de fréquence

d'utilisation de chaque stratégie au sein de ces conditions, rendent nos conclusions peu robustes. Une analyse des stratégies sur un plus grand nombre de participants serait nécessaire pour corroborer nos conclusions.

Dans cette étude, nous avons recherché quel était le processus mnésique, encodage ou récupération, le plus influencé par l'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT. L'objectif de l'étude suivante (Étude 3) était de mieux comprendre les conditions d'émergence du HFE dans la tâche de localisation spatiale de couleurs.

B. Étude 3 : Processus élémentaires et HFE dans la tâche de localisation spatiale de couleurs

(1) Introduction

Dans l'Étude 1, nous avons montré que la suppression des stratégies dans la tâche de LSC faisait disparaître la relation entre la performance observée dans cette tâche et la capacité de MDT (p. 88) ; l'Étude 2 a suggéré que le HFE affectait spécifiquement les stratégies d'encodage en mémoire.

Cependant, la performance dans la tâche de LSC n'implique pas uniquement la mémoire, mais dépend d'une combinaison de plusieurs fonctions élémentaires. En plus de la composante de mémorisation de localisations spatiales (ou de patterns), on peut citer la « *capacité à faire et maintenir des liens* » (ou *binding* ; Oberauer, 2005 ; Oberauer, Süß, Wilhelm, & Sander, 2007). Le *binding* repose sur la création et la mémorisation en MDT d'une ou plusieurs représentations mentales combinant plusieurs dimensions, ce qui nécessite de construire des liens entre des représentations distinctes ou des caractéristiques distinctes d'un même objet. Or, la tâche de LSC implique typiquement de lier un objet – la couleur – avec sa position spatiale dans la matrice. Par ailleurs, certains auteurs considèrent que le *binding* serait associé aux différences interindividuelles de MDT (Oberauer, 2005 ; Oberauer, Süß, Wilhelm, & Sander, 2007).

Dans la mesure où la performance dans la tâche de LSC dépend de plusieurs fonctions élémentaires associées à des différences interindividuelles, on peut se demander si le HFE est lié à l'une de ces fonctions en particulier, ou si l'effet naît de la complexité de la tâche qui implique toutes les fonctions simultanément. Nous avons fait l'hypothèse que le HFE est dû à la plus grande aptitude des participants avec une forte capacité de MDT à mettre en place des stratégies amélioratrices de la performance, du fait de leur contrôle attentionnel plus efficace. D'après cette hypothèse, le HFE ne devrait s'observer que lorsque la mise en place de

stratégies efficaces nécessite un contrôle attentionnel efficace, ce qui devrait dépendre de la complexité de la tâche. On s'attend donc à ce que le HFE n'apparaisse que quand la tâche est suffisamment complexe et implique une combinaison de fonctions élémentaires. Cette prédiction est congruente avec le fait que le HFE n'apparaît que lorsque la tâche est suffisamment difficile (Beilock & Carr, 2005 ; Beilock & DeCaro, 2007).

L'objectif de cette étude était d'évaluer si l'on retrouve un HFE dans des tâches impliquant séparément les fonctions élémentaires constituant la tâche de LSC, ou si l'effet n'apparaît que lorsque la combinaison de plusieurs fonctions élémentaires rend la tâche suffisamment complexe pour nécessiter un contrôle attentionnel. Nous avons cherché à dissocier les fonctions élémentaires de mémorisation de localisations spatiales et de *binding*, tout en maintenant le niveau de difficulté le plus élevé possible.

Pour décomposer la tâche de LSC selon les deux fonctions élémentaires de mémorisation de localisations spatiales et de *binding*, nous avons construit deux nouvelles versions de cette tâche. Dans la première version, nous avons réduit au maximum le rôle de la mémorisation de localisations dans la performance, pour que la tâche soit principalement une tâche de *binding*. Concrètement, les localisations spatiales des cases colorées constituant le pattern étaient indiquées aux participants au moment de la récupération ; la tâche consistait uniquement à replacer les couleurs dans les bonnes localisations. Dans la seconde version, nous avons réduit au maximum le rôle du *binding*. Pour atteindre cet objectif, nous avons retiré la dimension de couleur et nous avons uniquement gardé la dimension de mémorisation des localisations. Concrètement, les participants devaient se rappeler de patterns de cases noires.

Si le HFE est dû à des différences interindividuelles dans l'aptitude de contrôle attentionnel liée à la mise en place de stratégies d'encodage, alors on ne devrait pas retrouver de HFE dans ces deux tâches impliquant uniquement des fonctions élémentaires.

(2) Méthode

(a) Participants

Cent deux étudiants de l'Université de Grenoble ont participé à cette expérience ($M_{\text{âge}} = 21.3$ ans, $ET = 1.87$ mois ; 90 femmes et 12 hommes), en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, aucun d'entre eux ne souffrait de troubles de la

perception des couleurs, et aucun d'entre eux ne prenait de traitement psychotrope. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de MDT : Empan complexe composite.

Afin d'obtenir une mesure plus valide de la capacité de MDT que la mesure obtenue à partir d'un empan d'opérations seul, nous avons utilisé l'empan complexe composite (ECC ; présenté en Annexe B, pp. 241 à 260), une tâche récemment développée par notre équipe. Dans cette tâche, trois empan complexes sont combinés (empan d'opérations, de symétrie et de lecture) afin d'obtenir une mesure de la capacité de MDT qui soit aussi indépendante que possible du type de matériel utilisé (verbal ou spatial). Un score est calculé pour chaque empan complexe et transformé en note z par rapport à la population sur laquelle la tâche a été validée ($N = 974$) ; cette méthode permet de comparer directement notre échantillon à la performance de la population parente. Le score final de mémoire de travail correspond à la moyenne des notes z calculées sur chaque empan complexe.

Tâche de *binding* (voir Figure 5).

Cette tâche consistait à mémoriser l'emplacement de cases colorées présentées simultanément dans une matrice de six lignes par six colonnes. Les participants devaient ensuite replacer chaque couleur dans la case de la matrice lui correspondant, sachant que les emplacements pertinents étaient indiqués. Cette tâche ne nécessitait donc pas de mémoriser des localisations spatiales, mais simplement d'associer chaque couleur à la localisation appropriée.

Cette tâche était composée de 26 essais, avec trois essais de familiarisation à la simple tâche, trois essais de familiarisation à la double tâche, et 20 essais test. Chaque essai présentait au participant un pattern de cinq cases colorées ; les patterns étaient présentés pendant 3000 ms. Nous avons choisi de n'utiliser que des patterns de cinq cases car il s'agissait du niveau de difficulté dans lequel nous avons mis en évidence un HFE (chapitre 4). Les douze patterns de cinq cases utilisés dans la tâche de LSC ont été repris, et 14 nouveaux patterns ont été créés de façon à ne représenter aucune forme signifiante. Les couleurs et les nuances de couleurs utilisées étaient les mêmes que dans la tâche de LSC originale. Pour chaque participant, nous avons mesuré la proportion de cases correctement replacées.

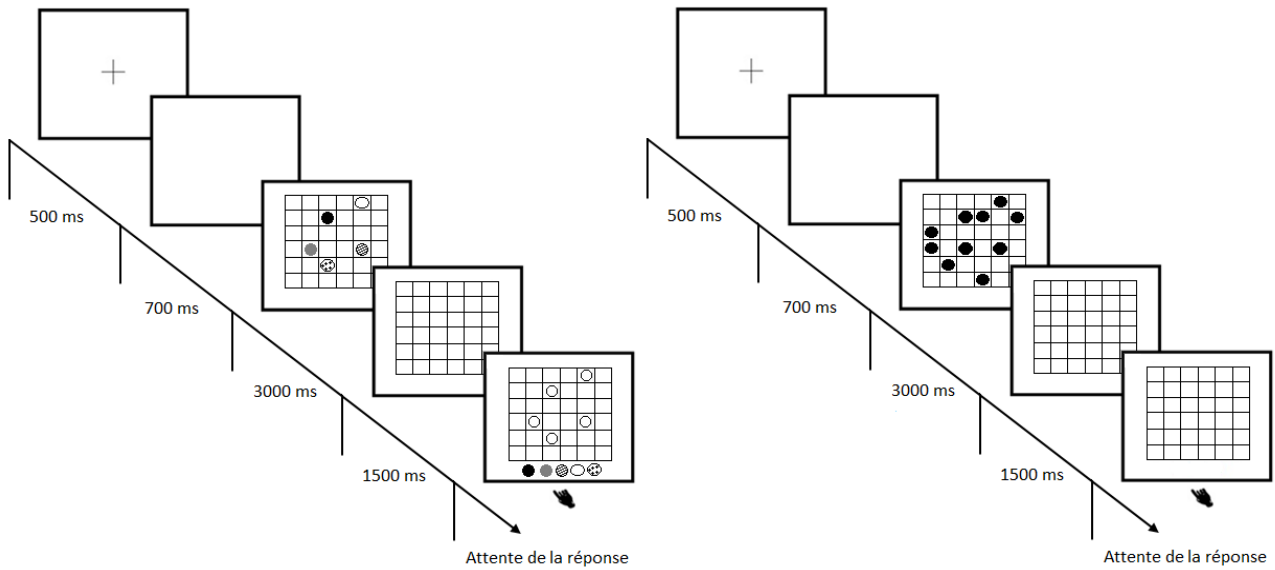


Figure 5. Procédures pour les tâches de *binding* (à gauche) et de mémorisation de localisations (à droite).

Tâche de mémorisation de localisations spatiales (voir Figure 7).

Dans cette tâche, les participants devaient mémoriser des patterns de 10 cases noires dans une matrice de six lignes par six colonnes. Les participants devaient ensuite rappeler l'ensemble des cases noires en indiquant leurs emplacements dans la matrice.

Cette tâche était composée de 26 essais, avec trois essais de familiarisation à la simple tâche, trois essais de familiarisation à la double tâche, et 20 essais test. Chaque pattern était présenté pendant 3000 ms. Ces patterns ne représentaient aucune forme globalement significative. Le nombre de cases par pattern – 10 – a été sélectionné sur la base d'un pré-test mené sur 8 participants et visant à s'assurer d'une difficulté suffisante pour pouvoir être comparé au niveau de difficulté correspondant à cinq cases colorées dans la tâche de LSC. À titre descriptif, dans l'Étude 1, le pourcentage moyen de cases colorées correctement replacées dans le niveau de difficulté le plus élevé (pour un temps de présentation non contraint et en simple tâche) était de 42% ($ET = 15\%$). Dans notre pré-test, le pourcentage moyen de cases noires correctement replacées était de 60.62% ($ET = 9.89\%$), lorsque le niveau de difficulté était de 10 cases. Bien que cette moyenne reste supérieure à celle observée pour cinq cases colorées à retenir, nous avons considéré la difficulté comme suffisante étant donné que la tâche de *binding* constituait également une simplification de la tâche de LSC originale. Pour chaque participant, nous avons mesuré la proportion de cases correctement rappelées.

Tâche perturbatrice : génération de chiffres au hasard.

Nous avons utilisé la tâche de génération de chiffres au hasard telle que présentée dans l'Étude 1 (p. 83).

(c) Procédure

Les participants réalisaient l'étude (d'une durée de 60 minutes) de façon individuelle. Dans un premier temps, tous les participants effectuaient deux minutes de génération de chiffres au hasard (afin d'obtenir la ligne de base), après que l'expérimentateur leur ait expliqué la tâche et exposé la métaphore du chapeau. Les participants étaient ensuite répartis aléatoirement dans l'une des deux conditions expérimentales, c'est-à-dire qu'ils réalisaient soit la tâche de *binding*, soit la tâche de mémorisation de localisations spatiales. Les participants commençaient par réaliser les trois premiers essais de familiarisation avec la tâche (condition simple tâche). Ils recevaient ensuite les consignes de double tâche, dans lesquelles on leur indiquait qu'ils devaient réaliser la tâche principale en même temps que la génération de chiffres au hasard, puis réalisaient les trois essais de familiarisation à la double tâche. Après ces essais de familiarisation, les participants réalisaient 20 essais de la phase test en condition de double tâche. Ils étaient ensuite invités à prendre une courte pause, avant de terminer l'expérience par les 20 essais de la condition simple tâche, sans génération concurrente de chiffres au hasard. Tout comme dans l'Étude 1, les stimuli présentés dans la condition simple tâche étaient une version pivotée à 90° des stimuli présentés dans la condition double tâche.

(3) Résultats

Deux participants ont été exclus des analyses car ils n'atteignaient pas le critère de performance minimum dans les phases de traitement de l'ECC. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. Le type de tâche (tâche de mémorisation des localisations spatiale ou tâche de *binding*) et le type de perturbation (double tâche et simple tâche) étaient considérées comme des variables catégorielles. La capacité de MDT était considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour chacune des variables sont présentées dans le Tableau 4 (tâche de *binding*) et dans le Tableau 5 (tâche de mémorisation de localisations spatiales).

Analyses préliminaires.

Génération de chiffres au hasard. Les données de génération de chiffres au hasard ont été analysées selon la même procédure que celle utilisée dans l'Étude 1 (pp. 85 à 86). Nous avons obtenu exactement la même structure en trois facteurs que dans les Études 1 et 2 et que dans la littérature (Friedman & Miyake, 2004b ; Towse & Neil, 1998), ce qui dénote une

grande robustesse de cette structure factorielle sous-jacente aux performances de génération de chiffres au hasard. Cette structure factorielle expliquait 79.59% de la variance totale ; les différents indices saturaient les mêmes facteurs que précédemment. Les résultats de l'ACP sont présentés en Annexe C (Tableau C2).

Tableau 4

Statistiques descriptives pour le score de capacité de MDT et la performance sur la tâche de binding

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	-0.19	0.78	-1.78 – 1.36	-0.12	-0.56
Proportion de cases correctement replacées					
Simple tâche	0.72	0.09	0.47 – 0.91	0.29	-0.59
Double tâche	0.53	0.10	0.29 – 0.76	-0.14	-0.05

Tableau 5

Statistiques descriptives pour le score de capacité de MDT et la performance sur la tâche de mémorisation de localisations

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.21	0.74	-1.48 – 1.53	-0.50	-0.23
Proportion de cases correctement replacées					
Simple tâche	0.64	0.10	0.47 – 0.88	-0.62	0.00
Double tâche	0.47	0.11	0.29 – 0.76	0.39	-0.35

À nouveau, nous avons calculé les scores factoriels résumant la performance en simple tâche ainsi qu'en double tâche. Tout comme dans l'Étude 1, notre objectif était de nous assurer qu'il n'existait pas d'effet différentiel de la situation (simple ou double tâche) en fonction de la capacité de MDT sur la tâche de génération de chiffres au hasard. En effet, afin de s'assurer que les effets observés dans la tâche considérée comme principale ne s'expliquaient pas par une répartition des ressources attentionnelles différente entre les deux tâches, la performance dans la tâche de génération de chiffres au hasard en fonction de la situation expérimentale ne devait pas être fonction des capacités de MDT. Nous nous sommes également intéressés à une interaction possible avec le type de tâche (*binding* ou mémorisation de localisations spatiales).

Nous avons donc réalisé une analyse à l'aide du modèle linéaire général en considérant successivement chacun des trois scores factoriels issus de l'ACP comme variable dépendante,

avec la capacité MDT comme variable continue, la situation (simple et double tâche) comme variable catégorielle intra-sujet, et le type de tâche (mémorisation de localisations spatiales ou *binding*) comme variable catégorielle inter-sujet.

Aucune interaction impliquant la capacité de MDT n'était significative (voir les tableaux C2 à C4 en Annexe C pour les résultats complets des analyses de variance). Dans l'ensemble, ces résultats ne nous permettent pas de conclure à des différences importantes de modification de performances en fonction de la capacité de MDT, que ce soit en fonction de la tâche, du type de situation, ou des deux. Une différence d'effet de la double tâche en fonction de la capacité en MDT ne devrait donc pas pouvoir s'expliquer par une répartition différente des ressources attentionnelles entre les deux tâches en fonction de la capacité de MDT.

Capacité de MDT dans les groupes expérimentaux. Bien que les participants aient été répartis au hasard pour réaliser la tâche de mémorisation de localisations spatiales ou la tâche de *binding*, nous avons cherché à vérifier l'équivalence de ces deux groupes expérimentaux en termes de capacité de MDT. Une ANOVA prenant en compte un facteur inter-sujet (tâche de mémorisation des localisations spatiale ou tâche de *binding*) a été réalisée sur les scores de capacité de MDT. Contrairement à nos attentes, les scores de capacité de MDT pour les participants ayant réalisé la tâche de mémorisation des localisations spatiales ($M = -0.19$, $SD = 0.78$) étaient inférieurs aux scores de capacité de MDT des participants ayant réalisé la tâche de *binding* ($M = 0.21$, $SD = 0.74$), $F(1, 97) = 6.89$, $p = .010$, $\eta^2_p = .07$. Les deux groupes expérimentaux n'étaient donc pas équivalents en termes de capacité de MDT moyenne.

Analyses de la performance dans la tâche de *binding*.

Nous avons mené une analyse à l'aide du modèle linéaire général sur le pourcentage de cases correctement replacées dans la tâche de *binding*, avec la capacité de MDT comme variable continue et la situation (simple et double tâche) comme variable catégorielle intra-sujet.

Dans cette tâche, l'effet de la capacité de MDT était tendanciellement significatif, $F(1, 46) = 2.93$, $p = .093$, $\eta^2_p = .06$; la performance augmentait sur la tâche augmentait avec la capacité de MDT ($r = .25$, voir Figure 6).

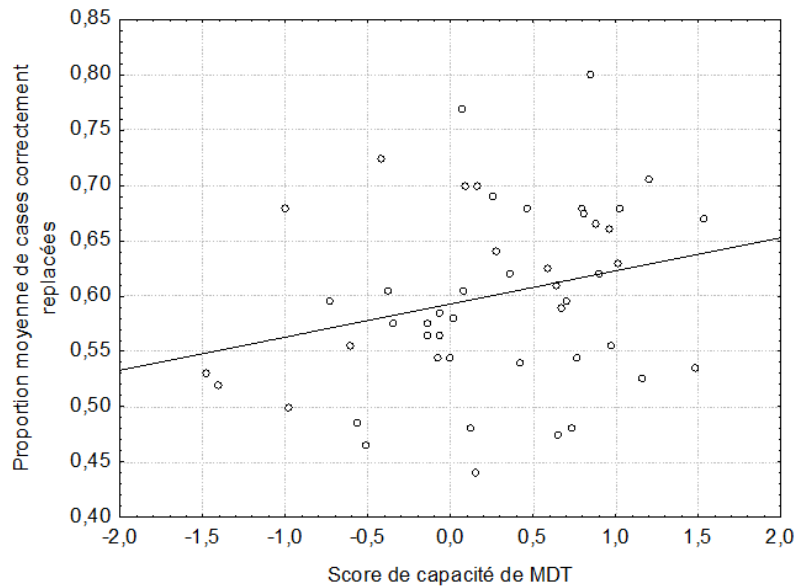


Figure 6. Proportion moyenne de cas correctement remplacés dans la tâche de *binding*, en fonction de la capacité de MDT.

L'effet de la perturbation était également significatif, $F(1, 46) = 220.49$, $p < .001$, $\eta^2_p = .83$, avec un nombre de cas correctement rappelés plus faible en situation de double tâche ($M = 0.53$; $ET = 0.10$) qu'en situation de simple tâche ($M = 0.72$; $ET = 0.09$). En revanche, nous n'avons pas observé de HFE, l'interaction entre ces deux variables n'étant pas significative, $F(1, 46) = 0.35$, $p = .557$, $\eta^2_p = .01$ (voir Figure 7).

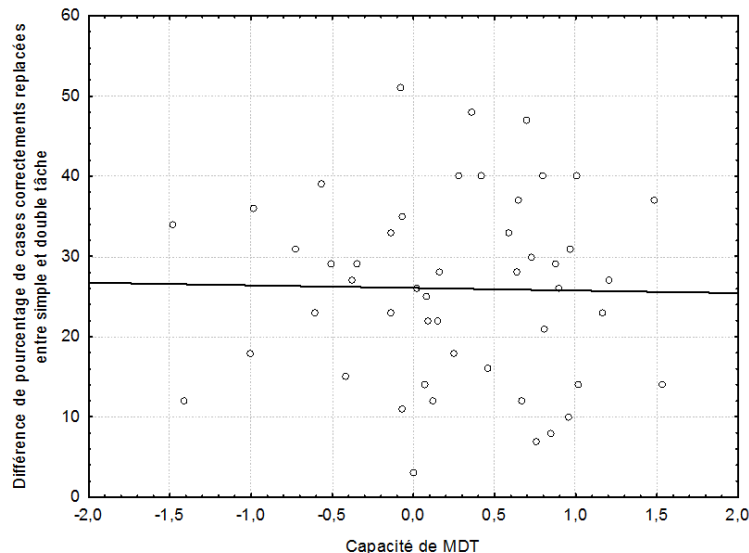


Figure 7. Différence de pourcentage de cas correctement remplacés entre la simple et la double tâche pour la tâche de *binding*, en fonction de la capacité de MDT.

Analyses de la performance dans la tâche de mémorisation de localisations spatiales.

À l'aide du modèle linéaire général, nous avons mené une analyse sur le pourcentage de cases correctement replacées dans la tâche de mémorisation de localisations spatiales, avec la capacité MDT comme variable continue et la situation (simple tâche et double tâche) comme variable catégorielle intra-sujet.

L'effet de la capacité de MDT était significatif, $F(1, 45) = 14.52$, $p < .001$, $\eta^2_p = .24$; la performance augmentait avec la capacité de MDT augmentait ($r = .49$, voir Figure 8).

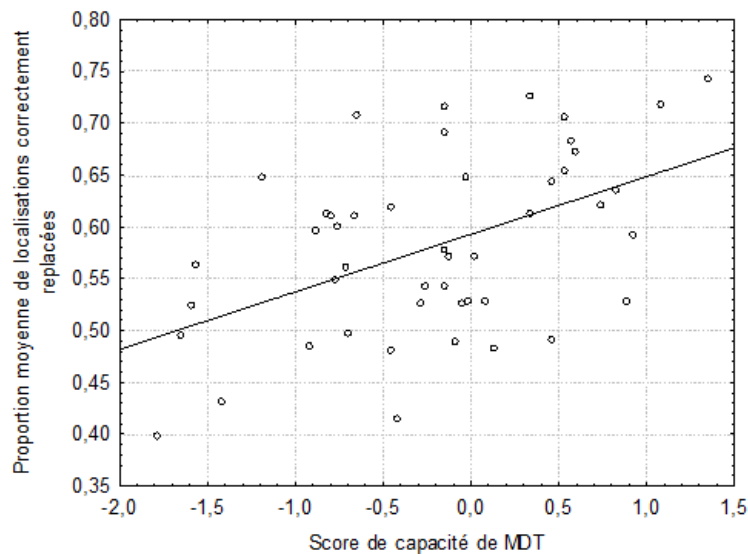


Figure 8. Proportion moyenne de cases correctement replacées dans la tâche de *binding*, en fonction de la capacité de MDT.

Le nombre de cases correctement rappelées était plus faible en situation de double tâche ($M = 0.47$; $ET = 0.11$) qu'en situation de simple tâche ($M = 0.64$; $ET = 0.10$), $F(1, 45) = 110.87$, $p < .001$, $\eta^2_p = .71$. Cependant et comme dans la tâche de *binding*, nous n'avons pas observé de HFE, l'interaction entre la capacité de MDT et la situation expérimentale n'étant pas significative, $F(1, 45) = 0.14$, $p = .706$, $\eta^2_p = .00$ (voir Figure 9).

Analyses complémentaires : comparatif de la difficulté entre les deux tâches.

Afin d'évaluer la difficulté relative de chacune des deux tâches, nous avons comparé uniquement les situations de simple tâche, dans lesquelles les participants réalisaient les tâches sans contrainte extérieure. Nous avons réalisé une ANOVA comprenant un facteur inter-sujet, le type de tâche (*binding* ou mémorisation de localisations spatiales), sur le pourcentage de réponses correctes dans la condition simple tâche. Nous avons observé un effet du type de tâche, $F(1, 96) = 10.56$, $CME = 87.75$, $p = .001$, $\eta^2_p = .10$. La performance

moyenne observée pour la tâche de *binding* ($M = 72\%$, $ET = 9.33\%$) était supérieure à la performance moyenne observée pour la tâche de mémorisation de localisations spatiales ($M = 64\%$, $ET = 10.36\%$; voir Figure 10).

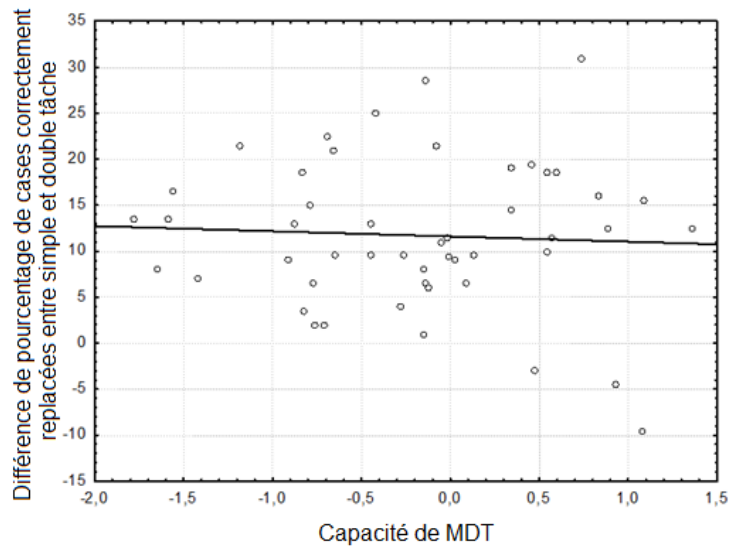


Figure 9. Différence de pourcentage de cas correctement remplacés entre la simple et la double tâche pour la tâche de mémorisation de localisations spatiales, en fonction de la capacité de MDT.



Figure 10. Pourcentage de cas correctement remplacés en simple tâche pour la tâche de mémorisation de localisations spatiales et la tâche de *binding* ; les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%.

(4) Discussion

Nous avons supposé que le HFE observé dans la tâche de LSC était dû à des différences interindividuelles d'efficacité du contrôle attentionnel affectant la mise en place de stratégies d'encodage. Nous avons également supposé que ces différences n'apparaîtraient que

lorsque la tâche était suffisamment complexe pour que la mise en place de stratégies d'encodage nécessite du contrôle attentionnel. L'objectif de cette étude était donc de tester si le HFE apparaîtrait sur des épreuves évaluant séparément deux des fonctions élémentaires constituant la tâche de LSC, le *binding* et la mémorisation de localisations spatiales.

Bien que la capacité de MDT ait été positivement liée à la performance globale dans chacune des deux tâches ainsi construites, nous n'avons pas mis en évidence de HFE pour la tâche de *binding*, ni pour la tâche de mémorisation de localisations spatiales. Dans les deux cas, tous les participants étaient perturbés par la situation de double tâche, et ce indépendamment de leur capacité de MDT. L'effet significatif de la double tâche indique que la génération de chiffres au hasard a bien perturbé la performance ; nous étions donc dans de bonnes conditions pour constater l'apparition d'un HFE.

Les résultats de cette étude semblent indiquer que le HFE n'apparaît pas lorsque les tâches dans lesquelles il est étudié reposent principalement sur des fonctions élémentaires. Il est possible que seule l'articulation de plusieurs fonctions élémentaires dans la tâche de LSC – ce qui fait de la LSC une tâche de cognition de haut niveau (König et al., 2013) – permette l'apparition des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces à l'origine du HFE. Les tâches élémentaires étant plus faciles, elles pourraient permettre à tous les participants de mettre en place des stratégies d'encodage efficaces, et ce indépendamment de leur capacité de MDT. Dans ce cas de figure, les stratégies de tous les participants seraient pareillement perturbées par la double tâche, ce qui est ce que nous avons observé. Nous sommes cependant conscients qu'il s'agit ici d'une absence d'effet, et qu'une situation contrôle dans laquelle les participants réalisaient la LSC originale en situation de simple et de double tâche serait nécessaire pour appuyer ces conclusions.

Bien que les tâches aient été a priori construites dans le but d'être équivalentes au niveau de leurs difficultés respectives, les résultats ont montré que la performance en simple tâche dans la tâche de *binding* était plus élevée que dans la tâche de mémorisation de localisations spatiales. Cela pourrait indiquer un déséquilibre dans la difficulté des deux tâches dans le sens où la tâche de *binding* semblait plus difficile que la tâche de mémorisation de localisations spatiales. Cependant, la capacité de MDT moyenne était plus élevée pour le groupe ayant réalisé la tâche de *binding*, ce qui peut expliquer cette différence de performance. Dans tous les cas, cette différence de difficulté aurait été problématique si nous avions observé un HFE dans la tâche de *binding* et pas dans la tâche de mémorisation de localisations spatiales, ce qui n'est pas le cas.

Conclusion du chapitre 5

Dans ce chapitre, nous avons apporté des arguments en faveur de l'utilisation de stratégies d'encodage (Étude 2) comme processus sous-tendant le HFE : il semble que la perturbation complexe lors de l'encodage perturbe particulièrement à la fois les performances dans la tâche de LSC et la distribution des stratégies d'encodage reportées verbalement.

Il semblerait également que le HFE observé dans la tâche de LSC repose sur l'articulation des fonctions élémentaires de *binding* et de mémorisation de localisations spatiales : lorsque ces deux fonctions sont dissociées, aucun HFE n'apparaît sur la tâche, ce qui suggère que tous les participants parviennent à mettre en place des stratégies d'encodage efficaces lorsque le besoin en contrôle attentionnel est plus faible.

Une piste possible pour de futures études serait d'examiner plus en détail la question des stratégies d'encodage en lien avec la capacité de MDT. En effet, l'Étude 2 ne prenait pas en compte les différences interindividuelles de capacité de MDT et n'étudiait pas directement le HFE, contrairement à l'Étude 1. Il serait donc intéressant de répliquer le HFE dans la tâche de LSC originale en étudiant les stratégies en fonction de la capacité de MDT, en simple et en double tâche, et ce en s'appuyant sur la classification des stratégies d'encodage développée dans l'Étude 2.

Les études présentées jusqu'à présent ont étudié le HFE dans le cadre de la tâche de localisation spatiale de couleurs. Dans le chapitre suivant, nous avons cherché à étudier l'utilisation de stratégies dans d'autres contextes en lien avec la capacité de MDT.

Chapitre 6 : Généralisation du HFE à d'autres paradigmes expérimentaux

L'objectif de ce chapitre était d'étudier le lien entre capacité de MDT et utilisation de stratégies efficaces dans d'autres contextes que la tâche de localisation spatiale de couleurs. Pour ce faire, nous avons cherché à répliquer et à intégrer dans le cadre du HFE deux effets déjà mis en évidence dans la littérature, ce qui permettait ainsi d'étendre le HFE à d'autres paradigmes expérimentaux que la tâche de LSC. L'Étude 4 a tenté de mettre en lien le HFE et le paradigme de « *Choking Under Pressure* » en utilisant une tâche de raisonnement, et l'Étude 5 s'est penchée sur le lien entre le HFE et l'effet d'indilage d'une partie de liste dans une tâche de MLT verbale.

A. Étude 4 : « *Choking Under Pressure* » et HFE dans une tâche de raisonnement

(1) Introduction

Le « *Choking Under Pressure* » (CUP) est l'effet que l'on observe lorsque la performance d'un participant chute en situation de « pression », telle que l'existence d'un enjeu monétaire ou une situation de comparaison sociale (Beilock & DeCaro, 2007). De façon intéressante, cette chute de performance est plus importante pour les participants dont le niveau d'aptitude est élevé (Beilock & DeCaro, 2007). Le HFE est quant à lui défini comme le phénomène dans lequel les performances des participants avec une forte capacité de MDT sont davantage diminuées par une situation de double tâche par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT. Il existe donc une similarité conceptuelle entre le HFE et le CUP. Les résultats présentés dans le cadre du CUP (Beilock & DeCaro, 2007 ; Gimmig et al., 2006) sont d'ailleurs très proches de ceux observés dans le cadre du HFE avec double tâche. Par exemple, l'étude proposée par Gimmig et ses collaborateurs (2006) montre que dans la tâche des Matrices Avancées, les participants les plus perturbés par une situation de pression³ sont ceux avec la plus forte capacité de MDT. L'étude de Beilock et DeCaro (2007) reproduit ce phénomène dans une tâche de raisonnement, la tâche d'arithmétique modulaire, et

³ Pour induire de la pression, la tâche des Matrices Avancées était décrite comme mesurant le raisonnement analytique, explicitement associé avec la réussite dans des matières comme les mathématiques ou les sciences. Ces matières étaient particulièrement importantes pour les participants de l'étude, car ils avaient tous obtenu un baccalauréat scientifique.

l'interprète comme étant consécutif à la perturbation des stratégies de résolution de problèmes plus efficaces des participants avec une forte capacité de MDT.

L'objectif de cette étude était de reproduire le HFE dans cette tâche d'arithmétique modulaire, en remplaçant la situation de pression par une situation de double tâche. D'une part, reproduire le HFE dans une tâche d'arithmétique modulaire permettrait d'étendre cet effet dans le domaine du raisonnement. D'autre part, cela permettrait de comparer les résultats obtenus dans le cadre des paradigmes de CUP et de HFE afin de déterminer si les phénomènes sous-jacents à ces deux effets pourraient être interprétés au sein d'un même cadre théorique.

Afin de réunir ces deux champs de la littérature, nous avons cherché à savoir si les performances d'arithmétique modulaire et l'utilisation de stratégies au sein de cette tâche étaient perturbées de la même façon par la situation de double tâche que par la pression. Dans la tâche d'arithmétique modulaire utilisée dans l'étude de Beilock et DeCaro (2007), les participants avec une forte capacité de MDT mettaient en place une stratégie complexe de résolution fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques, ce qui les conduisait à avoir de bonnes performances, tandis que les participants avec une faible capacité de MDT utilisaient une stratégie plus simple fondée sur des raccourcis de raisonnement, ce qui les conduisait à des performances moindres. Lorsque les participants étaient soumis à une situation de pression, ils utilisaient tous une stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement, et avaient tous de faibles performances. Si le HFE intervient sur les mêmes processus que ceux impliqués dans les résultats de Beilock et DeCaro (2007), alors la double tâche devrait particulièrement réduire la performance des participants avec une forte capacité de MDT en les empêchant d'utiliser la stratégie fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques. Nous avons testé cette hypothèse en évaluant directement les stratégies mises en place par les participants grâce à la méthode du report verbal.

(2) Méthode

(a) Participants

Quarante-cinq étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience ($M_{\text{âge}} = 20.5$ ans, $ET = 1.94$ mois ; 35 femmes et 10 hommes), en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous

traitement psychotrope. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

Nous avons utilisé l'ECC, présenté en Annexe B (pp. 241 à 260), pour obtenir une mesure de la capacité de MDT.

Tâche de raisonnement : tâche d'arithmétique modulaire.

Nous avons utilisé le même matériel que dans l'étude de Beilock et DeCaro (2007), c'est-à-dire la tâche d'arithmétique modulaire de Gauss. Dans cette tâche, les participants devaient répondre par vrai ou faux à des problèmes mathématiques de la forme $45 = 27 \pmod{9}$.

La tâche était composée 38 problèmes, dont 12 problèmes d'entraînement simple (avec feedback sur la performance), deux problèmes d'entraînement au report de stratégie, et 24 problèmes test. Dans chaque problème, la valeur des deux premiers nombres était toujours inférieure à 100, et la valeur du dernier nombre (le modulo) toujours comprise entre 1 et 9. La moitié des problèmes étaient faux, l'autre moitié vraie. De plus, à chaque problème correct correspondait un problème incorrect, la différence entre les deux reposant sur le modulo. Par exemple, si le problème correct était $51 = 19 \pmod{4}$, alors le problème incorrect correspondant était $51 = 19 \pmod{3}$. Pour chaque participant, la performance d'arithmétique modulaire était mesurée par le nombre de problèmes correctement résolus.

Tout comme dans l'expérience de Beilock et DeCaro (2007), les consignes de cette tâche présentaient une stratégie complexe permettant de résoudre la tâche. Ces consignes indiquaient que pour résoudre des problèmes de type $45 = 27 \pmod{9}$, il était possible de soustraire le second nombre au premier ($45 - 27 = 18$) et de diviser le résultat par le modulo ($18 / 9 = 2$). Si ce résultat était un entier, alors le problème était correct. Dans le cas contraire, le problème était incorrect. Un exemple de problème correct et de problème incorrect, résolus avec cette méthode, étaient ensuite présentés.

Report des stratégies dans la tâche d'arithmétique modulaire.

Au cours de la tâche d'arithmétique modulaire, les participants ont effectué huit reports verbaux différents concernant les stratégies qu'ils avaient utilisées pour résoudre les problèmes mathématiques.

Les consignes pour le report des stratégies ont été traduites à partir de celles utilisées par Beilock et DeCaro (2007) : « *Ecrivez sur la feuille placée devant vous comment vous avez obtenu la réponse à l'équation précédente. Il n'y a pas de bon ou de mauvais procédé pour résoudre les problèmes. Toutes les réponses sont acceptées. Vous disposez du temps que vous voulez pour reporter par écrit comment vous avez résolu le problème, en respectant bien ce que vous avez vraiment utilisé.* »

Nous avons utilisé le même système de codage que celui proposé par Beilock et DeCaro (2007). Pour chacun des huit reports de stratégies, nous avons appliqué le codage suivant : « 1 » pour les reports impliquant des algorithmes fondés sur des enchaînements d'opérations logiques, « 2 » pour des estimations n'impliquant pas le calcul explicite de la solution (comme par exemple les estimations fondées sur la parité des nombres impliqués), et « 3 » pour les reports incompréhensibles ou ne donnant pas assez de détails pour être codés.

Tâche perturbatrice : poursuite de cible.

Nous avons utilisé une tâche de poursuite de cible dans laquelle les participants devaient maintenir le curseur de la souris sur une balle verte de 20 pixels se déplaçant aléatoirement à l'écran (voir Figure 11).⁴

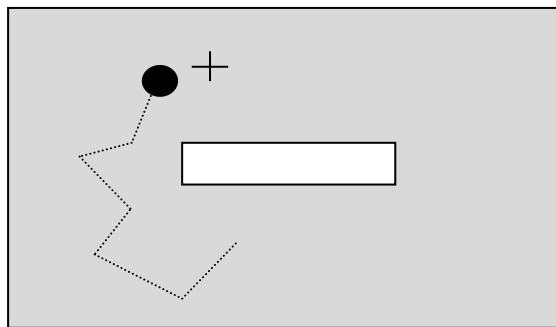


Figure 11. Tâche de poursuite de cible. La croix représente le curseur de la souris qui doit être dirigé sur la balle, et les pointillés représentent une trajectoire possible pour la balle.

La vitesse de la balle était de 100 pixels par seconde, avec un faible changement de direction toutes les 0.4 secondes (changement compris entre -17 et $+17$ degrés). La tâche des participants était de conserver le curseur de la souris au centre de la balle, et on mesurait la distance moyenne séparant le curseur du centre de la balle en pixels.

(c) Procédure

Les participants réalisaient l'expérience (d'une durée de 60 minutes) de façon individuelle. Au début de l'expérience, chaque participant était affecté aléatoirement à la condition simple tâche ou à la condition double tâche. L'expérimentateur commençait par présenter le contexte global de l'expérience, qui se déroulait en trois parties différentes (poursuite de cible, tâche d'arithmétique modulaire, mesure de la capacité de MDT). Les participants réalisaient d'abord un bref entraînement à la poursuite de cible pendant 15 secondes, après avoir reçu les consignes de la tâche. Ils réalisaient ensuite 60 secondes de poursuite afin d'avoir une mesure de la performance en simple tâche.

⁴ Nous avons choisi de ne pas utiliser la tâche de génération de chiffres au hasard en tant que tâche perturbatrice dans cette étude : cette tâche utilisant un contenu numérique, elle aurait risqué d'interférer avec la tâche d'arithmétique modulaire.

Après cela, on expliquait aux participants la tâche d'arithmétique modulaire, présentée comme une tâche de résolution de problèmes, ainsi que les consignes proposant la méthode de résolution pas à pas. Il était indiqué aux participants que cette méthode ne constituait que l'une des multiples façons de résoudre les problèmes, qu'ils étaient libre d'en changer et qu'il n'y avait ni bonne ni mauvaise méthode. Les participants réalisaient les 12 problèmes d'entraînement ; ils devaient répondre correctement à au moins huit problèmes pour terminer l'entraînement (dans le cas contraire, ils le recommençaient). Les problèmes apparaissaient un par un au centre de l'écran, séparés par une croix de fixation présentée pendant 2000 ms, et le temps de réponse était libre.

Après les 12 problèmes d'entraînement, on présentait ensuite les consignes de report des stratégies, et les participants réalisaient les deux essais d'entraînement au report de stratégies. Les participants dans la condition simple tâche résolvaient ensuite les 24 problèmes tests, avec pour consigne de ne pas faire attention à la balle qui se déplaçait à l'écran. Les participants dans la condition double tâche résolvaient les 24 mêmes problèmes, mais avaient pour consigne de suivre la balle avec la souris. Les 24 problèmes étaient divisés en huit blocs de trois essais ; un problème par bloc était tiré au hasard pour le report verbal de stratégies (huit reports au total). Enfin, les participants réalisaient 60 nouvelles secondes de poursuite de cible seule, avant de terminer l'expérience par l'ECC.

(3) Résultats

Toutes les analyses statistiques, sauf mention contraire, ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. Le type de perturbation (double tâche ou simple tâche) était considéré comme une variable catégorielle, et la capacité de MDT était considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 6.

Tableau 6
Statistiques descriptives pour le score de MDT, la performance de poursuite initiale en simple tâche et en double tâche, et la performance d'arithmétique

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.03	0.68	-1.87 – 1.36	-0.30	0.52
Poursuite initiale	20.27	3.01	13 – 24	-0.89	-0.29
Poursuite en double tâche	31.54	45.22	10.8 – 193.80	2.59	5.75
Arithmétique	33.24	33.67	12.65 – 141.62	2.27	4.44

Analyses préliminaires sur les performances de poursuite de cible.

Performance de poursuite de cible initiale en fonction des groupes expérimentaux. Bien que les participants aient été répartis au hasard dans les conditions expérimentales avec et sans double tâche, nous nous sommes assurés qu'il n'y avait pas de différences sur la performance de poursuite de cible initiale en fonction du groupe expérimental. Une ANOVA à un facteur inter-sujet (type de situation : simple ou double tâche) a été réalisée sur les scores de poursuite de cible initiaux. Les participants assignés à la condition de simple tâche avaient une performance de poursuite initiale similaire ($M = 56.57$, $SD = 11.60$) aux participants assignés à la condition de double tâche ($M = 56.57$, $SD = 11.60$), $F(1, 39) = 0.38$, $CME = 626.49$, $p = .542$, $\eta^2_p = .00$. On peut donc considérer que les groupes expérimentaux étaient équivalents en termes de performance de poursuite de cible.

Performance de poursuite initiale en fonction de la capacité de MDT. Nous avons également évalué si la performance initiale de poursuite de cible était fonction de la capacité de MDT. Une régression de la capacité de MDT sur la performance de poursuite initiale a donc été conduite. Cette régression n'était pas significative, $r(35) = -0.13$, $p = .457$. Cela veut dire que la performance dans la tâche de poursuite de cible ne dépendait pas de la capacité de MDT.

Enfin, une dernière analyse effectuée à l'aide du modèle linéaire général sur la performance de poursuite initiale, avec la capacité de MDT comme variable continue et le type de situation (simple ou double tâche) comme variable catégorielle inter-sujet, n'a pas montré d'interaction entre ces deux variables, $F(1, 38) = 1.50$, $CME = 768.91$, $p = .228$, $\eta^2_p = .04$.

Effet perturbateur de la double tâche sur la poursuite de cible. Une ANOVA à un facteur intra-sujet (type de situation : simple et double tâche) a été menée sur les scores de poursuite des participants dans la condition de double tâche. L'effet de la situation sur la performance de poursuite n'était pas significatif, $F(1, 20) = 2.48$, $CME = 34.70$, $p = .133$, $\eta^2_p = .11$, c'est-à-dire que la situation de double tâche n'a pas significativement perturbé la réalisation de la tâche de poursuite de cible.

Capacité de MDT et effet perturbateur de la double tâche dans la poursuite de cible. Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été effectuée sur la performance de poursuite des participants de la condition de double tâche, avec la capacité de MDT comme variable continue et la situation (simple ou double tâche) comme variable catégorielle inter-sujet. L'interaction entre ces deux variables n'était pas significative, $F(1, 20) = 0.26$,

$CME = 34.70$, $p = .618$, $\eta^2_p = .01$. Une différence d'effet de la double tâche en fonction de la capacité de MDT sur la tâche d'arithmétique modulaire ne devrait donc pas pouvoir s'expliquer par une répartition différente des ressources attentionnelles entre les deux tâches en fonction de la capacité de MDT.

HFE dans la performance d'arithmétique modulaire.

Une analyse utilisant le modèle linéaire général a été réalisée sur les scores d'arithmétique modulaire, avec la capacité de MDT comme variable continue et la situation expérimentale (simple ou double tâche) comme variable catégorielle inter-sujet. Nous avons observé l'effet classique de la capacité de MDT, $F(1, 40) = 5.24$, $CME = 8.22$, $p = .027$, $\eta^2_p = .12$, soit une augmentation de la performance avec la capacité de MDT, $r = .34$, mais pas d'effet principal de la situation expérimentale, $F(1, 40) = 2.13$, $CME = 8.22$, $p = .152$, $\eta^2_p = .05$. Enfin, nous n'avons pas observé d'interaction entre la capacité de MDT et la situation expérimentale, $F(1, 40) = 1.83$, $CME = 8.22$, $p = .184$, $\eta^2_p = .04$, indiquant l'absence de HFE sur la tâche (voir Figure 12).

Bien que cette interaction soit non significative, une observation descriptive des résultats semble indiquer une tendance inverse à l'effet attendu, avec une perturbation plus importante des participants avec une faible capacité de MDT en situation de double tâche (voir Figure 12). Un examen de la relation entre la performance et la capacité de MDT a révélé que la corrélation était non significative en situation de simple tâche, $r(20) = .16$, $p = .486$ (voir Figure 12, à gauche), mais significative en situation de double tâche, $r(24) = .46$, $p = .024$ (voir Figure 12, à droite).

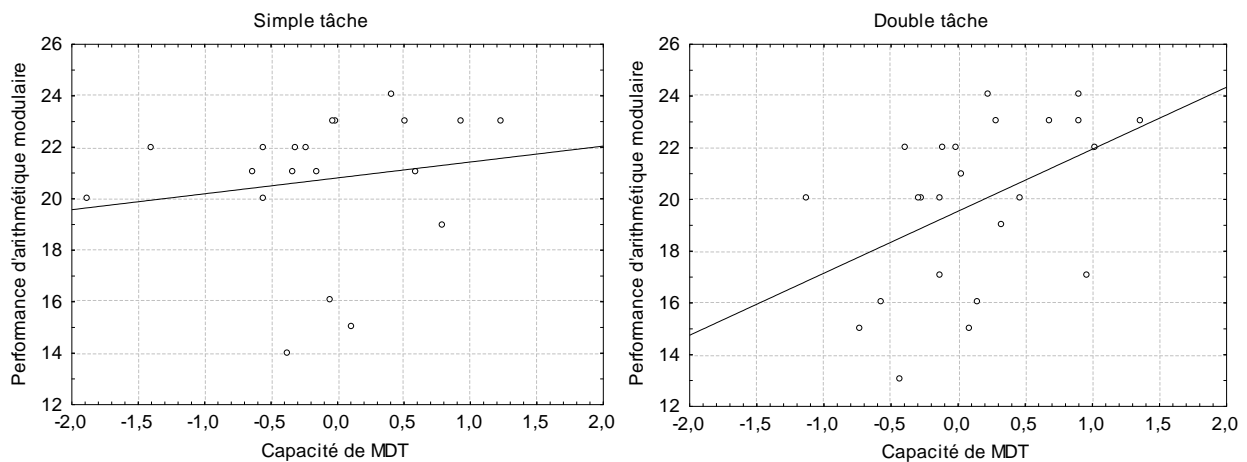


Figure 12. Performance d'arithmétique en fonction de la capacité de MDT et de la situation.

Analyse des reports de stratégie.

Le faible nombre de participants ayant reporté utiliser au moins une fois une stratégie de type « 2 » ne nous a pas permis d'utiliser la même variable dépendante que dans l'étude de Beilock et DeCaro (2007). Nous avons donc pris le parti de séparer les participants en deux groupes : ceux ayant utilisé au moins une fois une stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement (type 2 ; $n = 13$) et ceux ayant uniquement utilisé qu'une stratégie fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques (type 1 ; $n = 30$), en excluant ceux dont les reports étaient tous incompréhensibles ($n = 2$).

Stratégies et performances. Nous avons conduit une ANOVA comprenant deux facteurs, le groupe correspondant au report de stratégie (type 2 ou type 1) et la situation expérimentale (simple ou double tâche) comme facteurs inter-sujets, sur la performance d'arithmétique modulaire. Nous n'avons pas observé d'effet du report de stratégie, $F(1, 37) = 0.15$, $CME = 7.89$, $p = .697$, $\eta^2_p = .00$, ni d'effet d'interaction entre cette variable et la situation, $F(1, 37) = 1.15$, $CME = 7.89$, $p = .290$, $\eta^2_p = .03$. La performance dans la tâche d'arithmétique modulaire n'était donc pas statistiquement meilleure pour les participants qui reportaient utiliser systématiquement la stratégie efficace fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques, par rapport aux participants qui reportaient au moins une fois utiliser une stratégie fondée sur des raccourcis de raisonnement. Ces résultats ne permettent donc pas de mettre en relation l'utilisation de stratégies avec la performance d'arithmétique modulaire.

Stratégies, capacité de MDT et double tâche. Nous avons conduit une dernière analyse afin d'examiner l'effet de la capacité de MDT, de la situation, et l'interaction entre ces deux variables sur le report de stratégie. Le report de stratégie (variable dépendante de l'analyse) étant codé de façon binaire, nous avons appliqué un modèle de régression logistique avec la capacité de MDT comme variable continue et la situation (simple ou double tâche) comme variable catégorielle inter-sujet. Nous avons observé un effet tendanciel de la situation, $b = .77$, $W = 3.13$, $p = .077$; la stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement était donc tendanciellement plus utilisée en situation de double tâche par rapport à la situation de simple tâche. L'effet de la capacité de MDT n'était pas significatif, $b = .42$, $W = 0.21$, $p = .648$; les participants avec une faible capacité de MDT n'avaient donc pas plus tendance à utiliser – au moins une fois – la stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement. L'interaction entre ces deux variables était également non significative, $b = .83$, $W = 1.42$, $p = .233$.

(4) Discussion

Cette étude avait pour objectif de mettre en évidence un HFE dans une tâche de raisonnement et de réunir la littérature à propos du CUP et celle sur le HFE au sein d'un même cadre explicatif global portant sur l'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT. Nous avons donc cherché à reproduire l'étude de Beilock et DeCaro (2007), réalisée dans le cadre du CUP sur une tâche d'arithmétique modulaire, en remplaçant la situation de pression par une double tâche afin de reproduire le paradigme du HFE. Nous nous attendions à ce que la situation de double tâche perturbe l'utilisation de stratégies efficaces ainsi que la performance sur la tâche d'arithmétique modulaire, et nous nous attendions à observer un HFE.

Nous n'avons pas observé de perturbation significative des performances d'arithmétique modulaire et de poursuite de cible en situation de double tâche par rapport à la simple tâche. Cependant, nous avons observé que l'utilisation de la stratégie fondée sur les raccourcis de raisonnement augmentait tendanciellement en situation de double tâche. Cela pourrait indiquer que la perturbation a eu un léger effet sur l'utilisation de stratégies, mais que cet effet n'était pas suffisamment important pour avoir une influence sur la performance observée dans la tâche d'arithmétique modulaire. Il est donc probable que la situation de double tâche n'ait pas été suffisamment difficile pour créer des conditions favorables à l'apparition du HFE. Une explication possible est que la poursuite de cible n'implique pas fortement le contrôle attentionnel et permette donc aux participants de continuer à utiliser des stratégies complexes, au même titre que la suppression articuloire dans l'Étude 2.

Par ailleurs, nous n'avons pas observé de HFE dans la tâche d'arithmétique modulaire, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas d'interaction entre la situation de perturbation et la capacité de MDT, bien que la capacité de MDT ait été positivement liée aux performances. Les résultats de cette étude ne répliquaient donc pas ceux obtenus par Beilock et DeCaro (2007). De plus, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de lien entre la capacité de MDT et l'utilisation de la stratégie efficace fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques.

Au cours de la réalisation des expériences composant ce travail de thèse, nous avons remarqué que les participants impliqués dans nos études étaient très peu à l'aise avec les mathématiques en général, et très peu d'entre eux avaient des connaissances sur le concept de modulo. Cela pourrait expliquer pourquoi l'utilisation de stratégie ne variait pas en fonction de la capacité de MDT. En effet, la plupart des participants pourraient avoir volontairement appliqué une stratégie fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques car il

s'agissait de la méthode donnée en exemple dans les consignes de la tâche. Le manque de maîtrise des opérations mathématiques et le manque de connaissances arithmétiques auraient empêché les participants, notamment ceux avec une faible capacité de MDT, d'utiliser des raccourcis de raisonnement. De plus, si tous les participants utilisaient des stratégies efficaces en situation de simple tâche, il est normal que nous n'ayons pas observé de HFE. Cette explication impliquerait cependant de grandes différences de caractéristiques d'échantillons par rapport à l'étude de Beilock et DeCaro (2007), car nous avons utilisé exactement les mêmes consignes.

Une autre limite de nos résultats est que les participants avec une faible capacité de MDT paraissent descriptivement les plus perturbés par la situation de double tâche. Cette tendance est contraire à nos hypothèses, mais elle n'est pas incohérente avec l'absence de différences d'utilisation de la stratégie efficace en fonction de la capacité de MDT. Dans ce contexte, la différence de performances arithmétiques entre les participants en fonction de leur capacité de MDT peut en effet être attribuée à d'autres facteurs que l'utilisation de stratégies, comme par exemple à des différences interindividuelles de contrôle attentionnel. On peut donc supposer qu'en situation de double tâche, les participants avec une faible capacité de MDT ont été perturbés car leur contrôle attentionnel peu efficace ne leur permettait pas de concilier les demandes des deux tâches. En revanche, ceux avec une forte capacité de MDT ont maintenu un niveau de performance plus élevé du fait de leur contrôle attentionnel plus efficace.

Il semble toutefois que la manipulation expérimentale choisie comme perturbation n'ait pas rendu la tâche d'arithmétique modulaire suffisamment complexe, ce qui explique notre pattern de résultats. Nous tenons tout de même à souligner un point encourageant, à savoir le léger effet de la perturbation sur l'utilisation de stratégies. Cela nous donne un premier indice selon lequel la double tâche pourrait perturber l'utilisation de stratégies de résolution de problèmes mathématiques de la même façon que le CUP. Cette étude gagnerait donc à être développée avec un paradigme expérimental où la double tâche serait suffisamment complexe.

Dans cette étude, nous ne parvenons donc pas à faire le lien entre le HFE et le paradigme de CUP. Dans l'étude suivante, nous nous sommes intéressés à une tâche de MLT plutôt qu'à une tâche de raisonnement, et nous avons tenté de montrer la correspondance entre le HFE et un second paradigme expérimental largement documenté dans la littérature, à savoir l'effet d'indiciage d'une partie de liste.

B. Étude 5 : Effet d'indiciage d'une partie de liste et HFE dans une tâche de MLT verbale

1. Introduction Générale

L'effet d'indiciage d'une partie de liste correspond à une perturbation des performances de rappel dans une tâche de MLT par la présentation inattendue d'une partie du matériel étudié au moment de la récupération. Par exemple, on demande à un participant de mémoriser une série de 20 mots, puis on lui présente 10 des mots étudiés en lui demandant de rappeler les autres. On observe alors que dans une telle situation, la proportion de mots non indicés correctement rappelés est inférieure à celle observée quand le participant doit simplement rappeler les 20 mots. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer ce phénomène (pour des exemples, voir Serra & Oswald, 2006) ; l'une d'entre elles propose notamment que l'indiciage lors de la récupération perturbe le plan stratégie de récupération construit au moment de l'encodage (D. R. Basden & Basden, 1995 ; D. R. Basden et al., 1977). Selon cette hypothèse, les participants encodent l'information de façon à faciliter la récupération subséquente, et cet encodage orienté va passer par un processus de réorganisation de l'information (par exemple un regroupement des stimuli en catégories). Quand la moitié du matériel encodé est présentée comme indice au moment du rappel, le plan de récupération n'est plus pertinent et les performances de récupération sont diminuées.

Deux études se sont intéressées aux différences interindividuelles de sensibilité à cet effet en fonction de la capacité de MDT (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006). Dans l'étude proposée par Barber et Rajaram (2011), les performances en MLT des participants avec une forte capacité de MDT étaient significativement diminuées par la présentation d'indices au moment de la récupération, tandis que les performances de ceux avec une faible capacité de MDT ne semblaient pas souffrir de l'indiciage. Ces résultats ont également été obtenus dans une autre étude (Cokely et al., 2006).

Il semblerait donc que les indices dans une tâche de MLT jouent le même rôle que la double tâche dans le HFE : ils perturbent particulièrement les participants avec une forte capacité de MDT. Cette perturbation pourrait s'interpréter en termes de différences interindividuelles d'utilisation de stratégies d'encodage efficaces, et ce pour deux raisons.

Premièrement, Basden, Basden et Stephens (2002) ont montré que l'effet perturbateur des indices était plus important lorsque les associations entre les informations à mémoriser étaient importantes (voir également Bäuml & Aslan, 2006). Ce résultat soutient l'idée que

l'effet d'indigage d'une partie de liste est dû à la perturbation d'un plan de récupération fondé sur la création de liens entre les stimuli à mémoriser. Or, les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à mieux intégrer les informations durant l'apprentissage (Cantor & Engle, 1993 ; Radvansky & Copeland, 2006), et utilisent donc des stratégies d'encodage naturelles qui favorisent la création de ces associations entre les informations à mémoriser (comme dans la stratégie de génération de phrases ou dans le regroupement ; (voir par exemple Dunlosky & Kane, 2007). Par opposition, les participants avec une faible capacité de MDT n'utilisent pas (ou peu) ces stratégies fondées sur les associations entre informations (McNamara & Scott, 2001 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003).

Deuxièmement, Cokely et al. (2006) ont montré que lorsque les participants recevaient des consignes qui favorisaient un encodage associatif, en l'occurrence faire des histoires liant des mots les uns aux autres dans une tâche de MLT, tous les participants étaient fortement perturbés par les indices, y compris ceux avec une faible capacité de MDT. Il semblerait donc que les participants avec une faible capacité de MDT n'utilisent pas spontanément de stratégies d'encodage associatives, ce qui pourrait expliquer qu'ils soient plus faiblement perturbés par l'indigage.

La modulation de l'effet d'indigage d'une partie de liste par la capacité de MDT pourrait donc être considérée comme une sorte de HFE, où les indices perturbent l'utilisation de stratégies efficaces de façon similaire à la double tâche. Le premier objectif de cette étude était de reproduire ce HFE conceptuel, dans lequel les participants avec une forte capacité de MDT devaient être les plus perturbés par la présentation d'indices de récupération. L'observation de ce HFE conceptuel répliquerait les résultats des études antérieures (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006).

Pour aller plus loin, le second objectif de cette étude était de supprimer les différences interindividuelles de sensibilité à l'effet d'indigage d'une partie de liste en utilisant une tâche perturbatrice pour créer une situation de double tâche. Cokely et al. (2006) ont en effet montré que le HFE causé par la présence d'indices pouvait être réduit en induisant tous les participants à utiliser des stratégies d'encodage efficaces ; dans ce cas, tous les participants devenaient alors sensibles aux indices. Or, nous supposons que la double tâche perturbe l'utilisation de stratégies efficaces. Par conséquent, l'ajout d'une double tâche dans un paradigme d'indigage d'une partie de liste devrait également réduire le HFE causé par la présence d'indices en rendant tous les participants insensibles aux indices, quelle que soit leur capacité de MDT.

a) Expérience 5A

(1) Méthode

(a) Participants

Soixante-douze étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience ($M_{\text{âge}} = 21.6$ ans, $ET = 3.84$ mois ; 60 femmes et 12 hommes), en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. Nous n'avons inclus aucun participant dyslexique. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de MLT verbale : Tâche d'apprentissage de listes de mots.

Dans cette tâche, les participants devaient retenir et rappeler des listes de mots. Des indices de récupération (correspondant à la moitié de la liste apprise) étaient parfois proposés au moment du rappel, de façon à créer un effet d'indication d'une partie de liste.

Huit listes de 16 mots ont été utilisées. Ces mots étaient issus de la base de données Lexique 3 (New, Pallier, Ferrand, & Matos, 2001). Les mots de chaque liste étaient appariés en termes de fréquence moyenne d'apparition du lemme dans la langue (entre 8 et 11 occurrences sur 1.000.000 extraits d'un corpus de sous-titres de films), de nombre moyen de lettres et de nombre moyen de syllabes. De plus, aucun mot ne contenait de « Y » (afin d'éviter les erreurs sur la tâche secondaire), et aucun mot ne contenait deux fois la même voyelle (ex : **HORAIRE** et non **PEINE**). Les listes de mots sont présentées en Annexe D (Tableaux D1 à D8). Chacun des 16 mots d'une liste était présenté pendant 2500 ms au centre de l'écran, avec un délai de 100 ms séparant deux mots d'une même liste. Après la présentation du dernier mot, 8 des 16 mots de la liste étaient parfois présentés à l'écran ; ces huit mots étaient tirés au hasard et restaient affichés pendant toute la durée de la phase de récupération. Les participants devaient reporter tous les mots dont ils se souvenaient (à l'exception des mots présentés à l'écran) par écrit, sur un carnet composé de huit pages avec 16 cases blanches par page. Pour chaque participant, on mesurait la proportion de mots correctement rappelés pour les listes non indicées ainsi que pour les listes indicées. Tout mot indicé recopié sur le carnet comptait comme une faute dans le score final.

Tâche perturbatrice : tâche de comptage de voyelles.

La tâche perturbatrice était une tâche de comptage de voyelles. Au moment de la présentation de chaque mot, les participants devaient indiquer le nombre de voyelles

contenues dans ce mot à l'aide du pavé numérique. Pour chaque participant, on comptabilisait le nombre de mots pour lesquels les voyelles avaient été correctement comptées.

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

Nous avons utilisé l'ECC, présenté en Annexe B (pp. 241 à 260), pour obtenir une mesure de la capacité de MDT.

(c) Procédure

Tous les participants réalisaient l'expérience (d'une durée de 45 minutes) en groupes de deux à huit personnes dans une salle de passation collective. Les participants commençaient par réaliser la tâche d'apprentissage de listes de mots. Ils étaient informés que parfois, au moment de la restitution, la moitié des mots de la liste qu'ils venaient d'apprendre serait présentée en tant qu'indice, et qu'il ne fallait pas les inscrire sur le carnet de réponse. Pour chaque liste, l'ordre de présentation des mots était aléatoire. Le temps alloué à la récupération n'était pas contraint, et les participants déclenchaient eux-mêmes la présentation d'une nouvelle liste en appuyant sur une touche du clavier.

Tous les participants commençaient par apprendre deux listes de familiarisation à la situation de double tâche, c'est-à-dire avec le comptage de voyelles réalisé en même temps que la tâche de MLT. Cette familiarisation était suivie de l'apprentissage de quatre listes (deux listes indicées et deux listes non indicées) en situation de double tâche, puis de quatre listes (deux indicées et deux non indicées) en situation de simple tâche. L'ordre de présentation des listes était contrebalancé dans les deux situations expérimentales ; de plus, les listes concernées par l'indication étaient déterminées aléatoirement. Les participants terminaient enfin l'expérience par la réalisation de l'ECC.

(2) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. Le type de perturbation (double tâche et simple tâche) et l'indication de la liste (avec indices, sans indices) étaient considérées comme des variables catégorielles et la capacité de MDT comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 7.

Tableau 7
Statistiques descriptives pour le score de MDT, le comptage de voyelles, et la performance de rappel en fonction de l'indiçage de la liste et de la situation

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	-0.09	0.75	-1.93 – 1.33	-0.57	0.01
Comptage de voyelles					
Listes indicées	12.70	2.91	3.5 – 16	-1.49	1.87
Listes non indicées	12.94	2.92	3.5 – 16	-1.79	2.56
Proportion de mots rappelés					
Simple tâche					
Listes indicées	0.38	0.18	0.06 – 0.88	0.50	0.10
Listes non indicées	0.47	0.15	0.13 – 0.81	0.21	0.15
Double tâche					
Listes indicées	0.22	0.11	0 – 0.56	0.43	0.44
Listes non indicées	0.28	0.11	0.03 – 0.50	-0.21	-0.57

Analyse de la répartition des ressources attentionnelle entre les deux tâches en fonction de la capacité de MDT.

La tâche de comptage de voyelles devait perturber la performance de rappel en mettant les participants en situation de double tâche. Cependant, la capacité de MDT ne devait pas influencer l'évolution des performances de comptage de voyelles entre listes indicées et non indicées. Dans le cas contraire, cela aurait signifié que les participants allouaient différemment leurs ressources entre la tâche de MLT et la tâche de comptage de voyelles, et ce en fonction de l'indiçage de la liste et de la capacité de MDT.

Une analyse utilisant le modèle linéaire général, avec la capacité de MDT comme variable continue et l'indiçage de la liste (avec et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet, a été réalisée sur le nombre moyen de mots pour lesquels les voyelles avaient été correctement comptées. L'interaction entre la capacité de MDT et l'indiçage de la liste n'était pas significative, $F(1, 67) = 1.99$, $CME = 1.53$, $p = .163$, $\eta^2_p = .03$. Une différence d'effet de la double tâche en fonction de la capacité de MDT et de l'indiçage de la liste ne devrait donc pas pouvoir s'expliquer par une répartition différente des ressources attentionnelles entre les deux tâches en fonction de la capacité de MDT.

Réplication conceptuelle du HFE en simple tâche.

Le premier objectif de cette étude portait sur la réplication du HFE dans la tâche d'apprentissage de listes de mots, en utilisant les indices à la place de la double tâche. Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été menée sur la proportion de mots correctement rappelés en situation de simple tâche, avec la capacité de MDT comme variable continue et l'indiquage de la liste (avec et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet.

Dans cette analyse, l'effet de la capacité de MDT était significatif, $F(1, 69) = 8.05$, $CME = 0.04$, $p = .006$, $\eta^2_p = .10$; la capacité de MDT corrélait positivement avec la performance de rappel ($r = .32$). Nous avons également répliqué l'effet d'indiquage d'une partie de liste, $F(1, 69) = 31.41$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .31$, avec une proportion de mots correctement rappelés plus importante pour les listes non indicées ($M = 0.47$; $ET = 0.15$) par rapport aux listes indicées ($M = 0.38$; $ET = 0.18$). Enfin, l'interaction attendue entre la capacité de MDT et l'indiquage de la liste était tendanciellement significative, $F(1, 69) = 2.85$, $CME = 0.01$, $p = .096$, $\eta^2_p = .04$, suggérant la présence d'une interaction entre effet d'indiquage d'une partie de liste et MDT – et donc la présence d'une forme de HFE conceptuel.

Pour comprendre le sens de cette interaction, nous avons examiné la corrélation entre la capacité de MDT et la performance pour les listes indicées et non indicées (voir Figure 13). La capacité de MDT corrélait positivement et significativement avec la performance de rappel dans le cas des listes non indicées, $r(71) = .25$, $p = .036$, ce qui était conforme à nos attentes. En revanche, alors que nous nous attendions à ce que cette relation disparaisse dans le cas des listes indicées, nous avons observé qu'elle était toujours présente, et même descriptivement plus élevée, $r(71) = .35$, $p = .003$. L'interaction observée était donc qualifiée par une relation plus forte entre la capacité de MDT et la performance de rappel pour les listes indicées, dans le sens inverse de nos hypothèses et indiquant l'absence de HFE.

Réduction du HFE conceptuel en situation de double tâche.

Le second objectif de cette étude était de mettre en évidence une réduction du HFE – c'est-à-dire une réduction de l'interaction entre MDT et effet d'indiquage d'une partie de liste – dans la situation de double tâche, par rapport à la situation de simple tâche.

Évolution du HFE entre simple et double tâche. Une analyse avec le modèle linéaire général a été réalisée pour rechercher une interaction double entre la capacité de MDT, l'indiquage de la liste et le type de perturbation, afin d'évaluer si l'interaction entre capacité de MDT et effet d'indiquage d'une partie de liste variait en situation de simple et de double tâche. Cette analyse a été effectuée sur la proportion de mots non indicés correctement rappelés,

avec la capacité de MDT comme variable continue, ainsi que l'indiçage de la liste (avec et sans indices) et le type de perturbation (simple et double tâche) comme variables catégorielles intra-sujet. L'interaction double entre la capacité de MDT, l'indiçage de la liste et la situation était tendanciellement significative, $F(1, 69) = 3.45$, $CME = 0.01$, $p = .067$, $\eta^2_p = .05$. Le HFE conceptuel représenté par l'interaction entre la capacité de MDT et l'effet d'indiçage d'une partie de liste était donc tendanciellement modulé par la situation. L'analyse suivante avait pour objectif de décomposer cette interaction double.

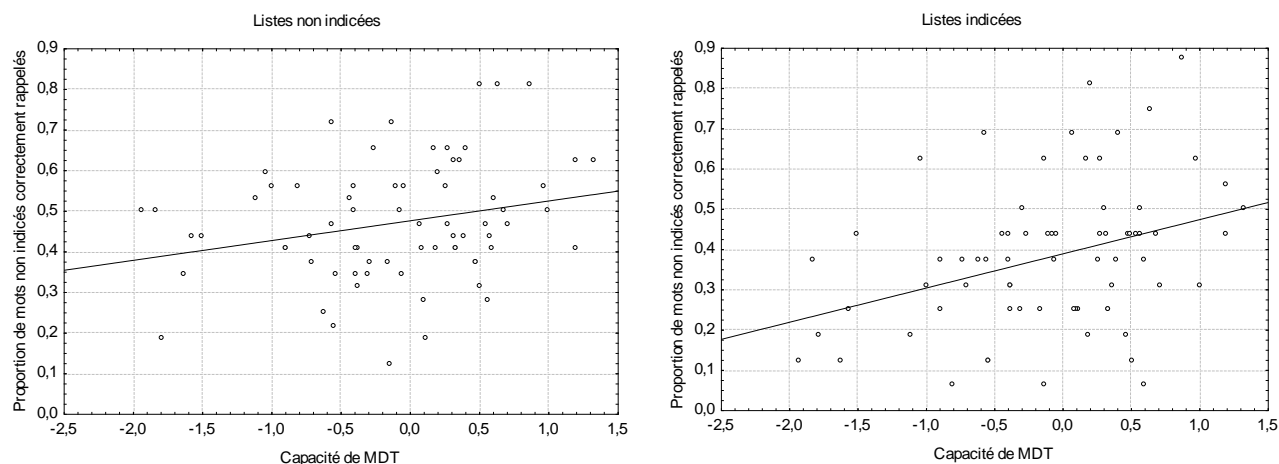


Figure 13. Corrélation entre la capacité de MDT et la proportion de mots non indicés correctement rappelés pour les listes indicées et non indicées en simple tâche.

HFE en situation de double tâche. Le HFE conceptuel représenté par l'interaction entre la capacité de MDT et la présence d'indices était significatif en situation de simple tâche, mais dans le sens inverse de nos hypothèses. Nous avons donc cherché à savoir si cette même interaction était significative en situation de double tâche. Nous nous attendions à ce que la double tâche induise l'utilisation de stratégies d'encodage peu efficaces chez tous les participants et fasse disparaître l'interaction entre capacité de MDT et présence d'indices.

Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été effectuée sur la proportion de mots correctement rappelés en situation de double tâche, avec la capacité de MDT comme variable continue et l'indiçage de la liste (avec et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet. D'une part, nous avons observé un effet de la capacité de MDT, $F(1, 69) = 12.30$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .15$, la capacité de MDT étant positivement corrélée avec la performance de rappel, $r = .39$. D'autre part, nous avons observé l'effet d'indiçage d'une partie de liste, $F(1, 69) = 17.09$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .20$, avec une proportion de mots non indicés correctement rappelés plus importante pour les listes non indicées ($M = 0.28$; $ET = 0.11$) par rapport aux listes indicées ($M = 0.22$; $ET = 0.10$). Enfin, l'interaction entre la

capacité de MDT et l'indiçage de la liste était non significative, $F(1, 69) = 1.09$, $CME = 0.01$, $p = .299$, $\eta^2_p = .02$, conformément à nos attentes.

Pour aller plus loin dans la compréhension de cette interaction, nous nous sommes intéressés à la corrélation entre capacité de MDT et performance en fonction de la présence d'indices. Nous avons observé une corrélation positive entre la capacité de MDT et la proportion de mots correctement rappelés pour les listes non indicées, $r(71) = .37$; $p = .001$. Cette même corrélation était tendancielle pour les listes indicées, $r(71) = .20$; $p = .097$ (Figure 14). Cela signifie que la capacité de MDT prédisait globalement la performance de rappel pour les deux types de listes.

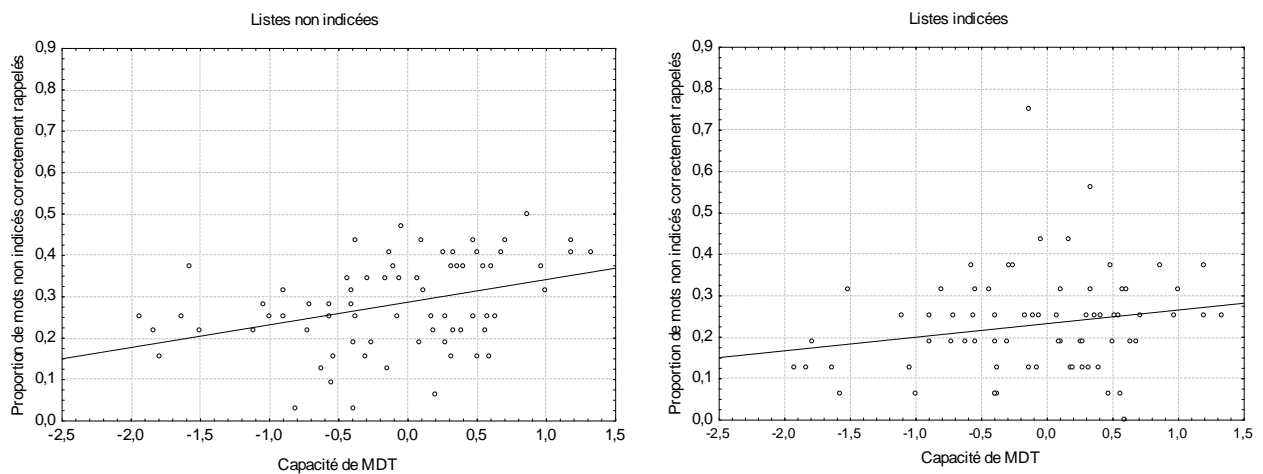


Figure 14. Corrélation entre la capacité de MDT et la proportion de mots correctement rappelés pour les listes indicées et non indicées en double tâche.

Analyse complémentaire : effet perturbateur de la situation de double tâche sur la performance.

Afin de vérifier que la double tâche a bien eu un rôle perturbateur global de la performance, une analyse avec le modèle linéaire général a été effectuée sur la proportion de mots correctement rappelés, avec la capacité de MDT comme variable continue ainsi que l'indiçage de la liste (avec et sans indices) et le type de perturbation (simple et double tâche) comme variables catégorielles intra-sujet. La double tâche a bien perturbé les performances des participants, $F(1, 69) = 99.91$, $CME = 0.02$, $p < .001$, $\eta^2_p = .59$, avec une proportion de mots non indicés correctement rappelés plus élevée en situation de simple tâche ($M = 0.43$; $ET = 0.17$) qu'en situation de double tâche ($M = 0.26$; $ET = 0.12$).

(3) Discussion

L'objectif de cette première expérience était d'une part de reproduire un HFE conceptuel, en montrant une interaction entre capacité de MDT et effet d'indilage d'une partie de liste dans une situation de simple tâche. D'autre part, nous avons cherché à supprimer ce HFE conceptuel grâce à une situation de double tâche induisant tous les participants à utiliser des stratégies d'encodage peu efficaces.

Nous avons observé un effet de la capacité de MDT, dans le sens où plus les participants avaient une forte capacité de MDT, plus ils rappelaient un nombre de mots important. De plus, la manipulation expérimentale visant à complexifier la tâche semble avoir été efficace puisqu'elle a fait diminuer les performances de rappel. Enfin, nous avons reproduit la littérature sur l'effet d'indilage d'une partie de liste, puisque la performance de rappel de mots était plus faible en présence d'indices de récupération. Dans l'ensemble, le protocole semble donc avoir fonctionné correctement.

En revanche, nous n'avons pas répliqué le HFE conceptuel observé dans la littérature, selon lequel les participants avec une forte capacité de MDT seraient les plus sensibles à l'effet d'indilage d'une partie de liste (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006). Nous avons même obtenu le pattern de résultats inverse : la chute de performance due à l'effet d'indilage d'une partie de liste était tendanciellement plus importante pour les participants à faible capacité de MDT. Autrement dit, non seulement les indices ne semblent pas avoir particulièrement perturbé les participants avec une forte capacité de MDT, mais il semblerait même que les participants avec une faible capacité de MDT aient été les plus perturbés.

Dans la situation de double tâche, les résultats semblaient cohérents avec nos hypothèses. Comme attendu, l'effet d'indilage d'une partie de liste en situation de double tâche ne semble pas avoir été modulé par la capacité de MDT. Autrement dit, le HFE conceptuel n'apparaissait pas en double tâche. Ce résultat pourrait indiquer que la double tâche a eu l'effet attendu en réduisant l'utilisation de stratégies efficaces pour tous les participants, supprimant ainsi l'interaction avec la capacité de MDT. Toutefois, deux éléments pourraient contredire cette interprétation. D'une part, la capacité de MDT était positivement liée à la performance de rappel pour les deux types de listes. Cela pourrait indiquer que même si la double tâche a réduit l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces, les participants avec une forte capacité de MDT ont continué à utiliser ce type de stratégies. D'autre part, l'effet d'indilage d'une partie de liste était toujours significatif en situation de double tâche, indiquant que la présentation d'indices de récupération continuait à perturber les stratégies

d'encodage efficaces. Malgré la disparition de l'interaction entre capacité de MDT et indiçage en situation de double tâche, il n'est donc pas certain que nous ayons réussi à réduire l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces dans cette condition. Un report des stratégies essai par essai aurait été nécessaire pour pouvoir déterminer dans quelle mesure les stratégies d'encodage ont été perturbées par la double tâche.

L'incohérence de notre pattern de résultats en situation de simple tâche, par rapport à ce qui avait été observé dans la littérature (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006), nous a conduits à mener une seconde tentative de répliation. L'Expérience 5B a donc tenté de reproduire le HFE conceptuel figuré par l'interaction entre la capacité de MDT et l'effet d'indiçage d'une partie de liste, et ce uniquement dans la situation de simple tâche. Cette seconde répliation nous a également permis de combiner les données des expériences 5A et 5B de façon à augmenter notre puissance statistique.

b) Expérience 5B

(1) Méthode

(a) Participants

Soixante-six étudiants en licence de psychologie de l'Université de Grenoble 2 ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie. Un participant a été exclu de l'échantillon pour n'avoir pas terminé le protocole ; l'échantillon final comptait donc 65 participants ($M_{\text{âge}} = 21.6$ ans, $ET = 4.53$ mois ; 50 femmes et 16 hommes). Les critères d'inclusion étaient identiques à l'expérience 5A.

(b) Matériel

Le matériel était identique à l'Expérience 5A.

(c) Procédure

La procédure était identique à celle de l'Expérience 5A, à l'exception du fait que les participants ne réalisaient que les quatre liste de la situation de simple tâche, toujours avec deux listes indicées et deux listes non indicées, ce qui réduisait le temps de passation à 40 minutes.

(2) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. L'indiciage de la liste (avec indices et sans indices) était considérée comme une variable catégorielle intra-sujet, et la capacité de MDT était considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives sont disponibles dans le Tableau 8.

Tableau 8
Statistiques descriptives pour le score de MDT et la performance de rappel en fonction de l'indiciage de la liste

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	-0.05	0.74	-1.70 – 1.32	-0.08	-0.75
Proportion de mots rappelés					
Listes indicées	0.35	0.17	0.06 – 0.81	0.24	-0.42
Listes non indicées	0.43	0.15	0.13 – 0.78	0.39	-0.11

Analyses préliminaires.

Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été réalisée sur la proportion de mots correctement rappelés, afin de vérifier que nous observions l'effet d'indiciage d'une partie de liste, ainsi que l'effet global de la capacité de MDT. Cette analyse comprenait la capacité de MDT comme variable continue et l'indiciage de la liste (avec indices et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet.

D'une part, nous avons observé un effet d'indiciage d'une partie de liste, avec une proportion de mots non indicés correctement rappelés plus élevée pour les listes non indicées ($M = 0.43$; $ET = 0.15$) que pour les listes indicées ($M = 0.35$; $ET = 0.17$), $F(1, 63) = 19.54$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .24$. D'autre part, nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur la performance, $F(1, 63) = 0.13$, $CME = 0.04$, $p = .719$, $\eta^2_p = .00$.

Réplication conceptuelle du HFE en simple tâche.

L'objectif principal de cette étude était de répliquer la littérature en mettant en évidence un HFE conceptuel, c'est-à-dire une interaction entre capacité de MDT et indiciage de la liste. Cette hypothèse a été testée à l'aide de la même analyse que dans l'Expérience 5A. Dans cette expérience, l'interaction entre capacité de MDT et indiciage n'était pas significative, $F(1, 63) = 0.28$, $CME = 0.01$, $p = .597$, $\eta^2_p = .00$, indiquant l'absence d'un HFE :

tous les participants étaient perturbés de la même façon par l'indiçage, quelle que soit leur capacité de MDT. Ce résultat va à l'encontre de la littérature aussi bien que de l'Expérience 5A. Par ailleurs, la corrélation entre la capacité de MDT et la performance de rappel n'était significative ni pour les listes non indicées, $r(63) = .08$, $p = .542$, ni pour les listes indicées, $r(63) = .01$, $p = .945$.

Combinaison des échantillons des expériences 5A et 5B.

Nous avons combiné les données des deux expériences pour réaliser une évaluation globale de l'interaction d'intérêt sur un échantillon plus important ($N = 137$). Nous avons réalisé cette analyse à l'aide du modèle linéaire général sur la proportion de mots non indicés correctement rappelés (les données de l'Expérience 5A étant restreintes à la condition simple tâche), avec la capacité de MDT comme variable continue, l'indiçage de la liste (avec et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet, et l'expérience (5A ou 5B) comme variable contrôlée.

Lorsque les données des deux expériences étaient regroupées, l'interaction d'intérêt entre la capacité de MDT et l'indiçage d'une partie de liste n'était pas significative, $F(1, 133) = 0.34$, $CME = 0.01$, $p = .560$, $\eta^2_p = .00$, indiquant l'absence d'un HFE. Toutefois, il est à noter que l'effet de la capacité de MDT était significatif, $F(1, 133) = 4.81$, $CME = 0.04$, $p = .030$, $\eta^2_p = .03$, la capacité de MDT corrélant positivement avec la performance de rappel $r = .19$. L'effet d'indiçage d'une partie de liste était également significatif, $F(1, 133) = 49.51$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .27$; la proportion de mots non indicés correctement rappelés était plus élevée pour les listes non indicées ($M = 0.45$; $ET = 0.15$) que pour les listes indicées ($M = 0.36$; $ET = 0.18$).

(3) Discussion

Les résultats de l'expérience 5B n'ont permis de répliquer ni le HFE conceptuel (interaction entre capacité de MDT et effet d'indiçage d'une partie de liste) observé dans la littérature (Barber & Rajaram, 2011; Cokely et al., 2006), ni les résultats obtenus dans l'expérience 5A. Cette absence de l'interaction d'intérêt pourrait théoriquement s'expliquer par l'absence d'effet de la capacité de MDT sur la performance de rappel dans cette expérience. En effet, dans la mesure où nous nous attendions à ce que l'effet d'indiçage d'une partie de liste perturbe la meilleure performance des participants avec une forte capacité de MDT du fait de leur plus grande utilisation de stratégies d'encodage efficaces, il semble

difficile d'observer une telle perturbation si ces participants n'obtiennent pas une meilleure performance.

Notre analyse mettant en commun les données des expériences 5A et 5B n'a toujours pas permis de mettre en évidence l'interaction d'intérêt représentant le HFE conceptuel. Au vu de la taille de l'échantillon combiné ($N = 137$), il semble difficile d'expliquer cette non-réplication par une puissance statistique trop faible. Dans la mesure où notre procédure était extrêmement similaire à celle de Cokely et al. (2006), l'explication la plus probable semble être un problème de matériel. Un examen des fréquences de rappel par mot à partir des résultats de l'expérience 5A (Figures D1 à D4, Annexe D) semble indiquer que l'échantillon de mots sélectionnés était satisfaisant, mais il est cependant toujours possible que certaines caractéristiques du matériel qui n'ont pas été contrôlées puissent entrer en interaction avec la capacité de MDT. Dans l'Expérience 5C, nous avons cherché à reproduire la méthode de l'Expérience 5A en modifiant le matériel et en apportant plusieurs améliorations à la procédure.

c) Expérience 5C

(1) Introduction

Cette troisième expérience avait deux objectifs. Le premier objectif était de répliquer l'interaction observée dans la littérature entre la capacité de MDT et l'effet des indices, c'est-à-dire le HFE conceptuel (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006). Pour ce faire, nous avons utilisé un nouveau matériel créé en contrôlant la fréquence subjective et la valeur d'imagerie des mots, deux facteurs connus pour influencer la performance mnésique (Desrochers & Bergeron, 2000).

Le second objectif de l'expérience était de résoudre une limite de l'Expérience 5A : la perturbation par la tâche de comptage de voyelles ne semblait pas perturber l'utilisation de stratégies efficaces de façon adéquate, dans la mesure où l'effet d'indilage d'une partie de liste était toujours significatif dans la condition double tâche et où la capacité de MDT était toujours corrélée avec la performance dans cette expérience. Nous avons donc cherché à valider un nouveau type de perturbation, plus efficace que la tâche de comptage de voyelles, pour réduire l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces.

Cokely et al. (2006) ont réussi à faire apparaître l'effet d'indilage d'une partie de liste chez les participants avec une faible capacité de MDT en forçant tous les participants à utiliser une stratégie efficace d'élaboration sémantique. Pour faire disparaître l'effet d'indilage d'une

partie de liste chez les participants avec une forte capacité de MDT, nous avons choisi d'utiliser une méthode similaire et de forcer l'utilisation de la stratégie peu efficace préférentiellement utilisée par les participants avec une faible capacité de MDT, à savoir l'auto-répétition (McNamara & Scott, 2001 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). Induire cette stratégie devrait conduire tous les participants à utiliser une stratégie peu efficace ; cela devrait donc diminuer l'utilisation de stratégies efficaces des participants à forte capacité de MDT et diminuer la corrélation entre MDT et performance. L'efficacité de ce nouveau mode de perturbation a été testée grâce à un report de stratégies essai par essai en fin de tâche.

(2) Méthode

(a) Participants

Soixante-cinq étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 22.6$ ans, $ET = 3.28$ mois ; 54 femmes et 11 hommes). Les critères d'inclusion étaient identiques aux expériences 5A et 5B.

(b) Matériel

Tâche de MLT verbale : Tâche d'apprentissage de listes de mots.

La tâche de MLT verbale était identique aux expériences 5A et 5B, à l'exception d'un changement concernant le matériel.

Nous avons construit (toujours à l'aide de Lexique 3) neuf nouvelles listes de 16 mots. Comme pour le matériel des expériences 1A et 1B, nous avons apparié la fréquence moyenne d'apparition du lemme dans les films ($M_{\text{toutes listes}} = 45.47$; $ET_{\text{toutes listes}} = 20.04$), $F(1, 142) = 0.27$, $CME = 406.56$, $p = .603$, $\eta^2_p = .00$, le nombre moyen de lettres ($M_{\text{toutes listes}} = 6.42$; $ET_{\text{toutes listes}} = 1.24$), $F(1, 142) = 0.10$, $CME = 1.57$, $p = .758$, $\eta^2_p = .00$, et le nombre moyen de syllabes des mots ($M_{\text{toutes listes}} = 1.81$; $ET_{\text{toutes listes}} = 0.63$), $F(1, 142) = 0.95$, $CME = 0.40$, $p = .331$, $\eta^2_p = .01$. En plus de cela, nous avons contrôlé l'équivalence des listes en termes de fréquence subjective ($M_{\text{toutes listes}} = 5.22$; $ET_{\text{toutes listes}} = 0.60$), $F(1, 142) = 0.003$, $CME = 0.36$, $p = .957$, $\eta^2_p = .00$, et de valeur d'imagerie des mots ($M_{\text{toutes listes}} = 6.24$; $ET_{\text{toutes listes}} = 0.52$), $F(1, 142) = 0.04$, $CME = 0.28$, $p = .836$, $\eta^2_p = .00$. Les listes de mots sont présentées en Annexe D (tableaux D9 à D17).

Tâche perturbatrice : répétition à voix haute.

Afin de forcer une stratégie d'auto-répétition, la tâche perturbatrice consistait à répéter à voix haute le mot affiché à l'écran, et ce jusqu'à l'affichage du mot suivant.

Mesure des stratégies d'encodage : report essai par essai en fin de tâche.

Nous avons utilisé le report essai par essai en fin de tâche tel que présenté dans Dunlosky et Kane (2007).

Les participants devaient indiquer quelle stratégie ils avaient utilisé parmi la liste suivante : Lire chaque mot au moment où il apparaissait, se répéter les mots autant que possible, faire des phrases pour lier les mots ensemble, se représenter les mots grâce à des images mentales, faire des groupes avec les mots qui allaient bien ensemble, une autre stratégie, aucune stratégie. Tout comme dans l'étude de Dunlosky et Kane (2007), les réponses des participants ont été classées en stratégies considérées comme peu efficaces (lire chaque mot au moment où il apparaissait, se répéter les mots autant que possible et aucune stratégie) et en stratégies considérées comme efficaces (faire des phrases pour lier les mots ensemble, se représenter les mots grâce à des images mentales et faire des groupes avec les mots qui allaient bien ensemble). Les réponses « autre stratégie » n'ont pas été prises en compte étant donné qu'il était impossible de savoir s'il s'agissait de stratégies considérées comme peu efficaces ou comme efficaces. Pour chaque participant, nous avons mesuré la proportion d'utilisation de stratégies efficaces et peu efficaces pour chaque type de liste (indicée et non indicée), et pour chaque situation (avec et sans tâche perturbatrice).

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

La tâche de MDT était identique aux expériences 5A et 5B.

(c) Procédure

Tous les participants ont réalisé l'expérience (d'une durée de 45 minutes) de façon individuelle (contrairement aux deux expériences précédentes). Les participants commençaient par réaliser la tâche d'apprentissage de listes de mots. La procédure et les consignes de cette tâche étaient identiques aux expériences 5A et 5B, avec une exception : en plus de la pénalité de score associée au report d'un indice et pour nous assurer que les indices étaient effectivement traités, nous avons demandé aux participants de lire les indices à voix haute avant de commencer la phase de rappel.

Les participants commençaient par une liste d'entraînement, puis devaient apprendre et rappeler les mots des six listes de la situation de simple tâche (trois listes indicées et trois listes non indicées). L'ordre de présentation des listes et les listes concernées par l'indiçage étaient déterminés aléatoirement. Les participants réalisaient ensuite l'apprentissage d'une liste d'entraînement à la répétition à voix haute, puis effectuaient la tâche avec trois nouvelles listes en auto-répétant chacun des mots pendant sa durée de présentation (situation perturbatrice). L'un des objectifs de l'expérience étant de vérifier l'effet de la situation perturbatrice sur l'utilisation de stratégies efficaces, toutes les listes présentées dans la situation perturbatrice étaient non indicées. À la fin de la tâche d'apprentissage de listes de mots, les participants complétaient un report essai par essai des stratégies utilisées : chaque liste était à nouveau présentée aux participants, et pour chacune de ces listes, ils devaient

indiquer la stratégie d'encodage qu'ils avaient utilisée. Les participants terminaient enfin l'expérience par la réalisation de l'ECC.

(3) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. L'indication de la liste (avec indices, sans indices) et la situation (simple tâche ou situation perturbatrice) étaient considérées comme des variables catégorielles, et la capacité de MDT était considérée comme une variable continue. Un participant a été exclu de l'analyse à cause de scores trop faibles dans les trois tâches de traitement des empans complexes. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 9.

Tableau 9
Statistiques descriptives pour le score de MDT et la performance de rappel en fonction de l'indication de la liste et de la situation

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	-0.09	0.83	-1.89 – 1.34	-0.09	-0.75
Proportion de mots rappelés					
Simple tâche					
Listes indicées	0.48	0.22	0.08 – 1	0.47	-0.40
Listes non indicées	0.42	0.17	0.15 – 0.83	0.51	-0.07
Situation perturbatrice					
Listes non indicées	0.43	0.11	0.27 – 0.65	0.38	-1.03

Analyses préliminaires en simple tâche.

Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été réalisée sur la proportion de mots correctement rappelés en simple tâche, afin de vérifier que les effets de la capacité de MDT et de l'indication d'une partie de liste étaient significatifs. Cette analyse a été effectuée avec la capacité de MDT comme variable continue et l'indication de la liste (avec et sans indices) comme variable catégorielle intra-sujet. L'effet de la capacité de MDT sur la performance n'était pas significatif, $F(1, 61) = 1.33$, $CME = 0.04$, $p = .254$, $\eta^2_p = .02$. L'effet d'indication d'une partie de liste était tendanciellement significatif, $F(1, 61) = 3.62$, $CME = 0.03$, $p = .062$, $\eta^2_p = .06$. Cependant et contre toute attente, l'examen des moyennes indiquait que la proportion de mots non indicés correctement rappelés était tendanciellement plus élevée pour

les listes indicées ($M = 0.48$; $ET = 0.22$) que pour les listes non indicées ($M = 0.42$; $ET = 0.17$; voir la Figure 15 et le Tableau 12).

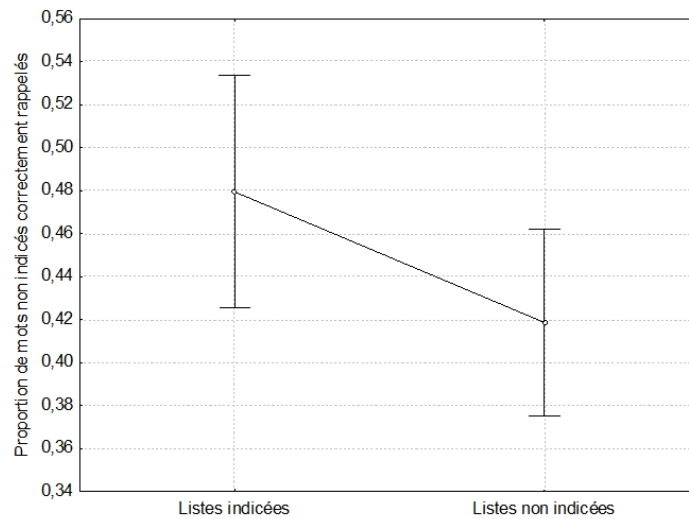


Figure 15. Proportion de mots non indicés correctement rappelés en fonction de l'indication de la liste en simple tâche ; les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%.

Réplication conceptuelle du HFE en simple tâche.

Le premier objectif de cette étude était de répliquer le HFE conceptuel observé dans la littérature. À l'aide de la même analyse que dans les expériences 5A et 5B, nous avons cherché à mettre en évidence ce HFE conceptuel représenté par l'interaction entre la capacité de MDT et l'effet d'indication d'une partie de liste. Cette interaction n'était pas significative, $F(1, 61) = 0.45$, $CME = 0.03$, $p = .505$, $\eta^2_p = .01$, indiquant l'absence d'un HFE conceptuel.

Effet de la situation perturbatrice.

Le second objectif de cette étude était de vérifier l'impact de la situation perturbatrice sur l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces.

Impact de la situation perturbatrice sur l'utilisation de stratégies efficaces. Dans une analyse reposant sur le modèle linéaire général, nous avons comparé la proportion d'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces (génération de phrases, imagerie et regroupement) dans la situation de double tâche par rapport à la situation de simple tâche restreinte aux listes non indicées. Cette analyse a été réalisée avec la situation (situation perturbatrice et simple tâche restreinte aux listes non indicées) comme variable catégorielle intra-sujet et la capacité de MDT comme variable continue. Nous avons observé un effet tendanciellement significatif de la situation, $F(1, 63) = 3.99$, $CME = 0.09$, $p = .050$,

$\eta^2_p = .06$, avec une proportion d'utilisation de stratégies considérées comme efficaces tendanciellement plus faible dans la situation perturbatrice ($M = 0.54$; $ET = 0.41$) que dans la situation de simple tâche ($M = 0.63$; $ET = 0.36$; voir Figure 16). En revanche, l'interaction avec la capacité de MDT n'était pas significative, $F(1, 63) = 1.71$, $CME = 0.09$, $p = .196$, $\eta^2_p = .03$. Cela indique que la situation perturbatrice n'a pas particulièrement affecté l'utilisation de stratégies efficaces pour les participants à forte capacité de MDT, contrairement à nos hypothèses.

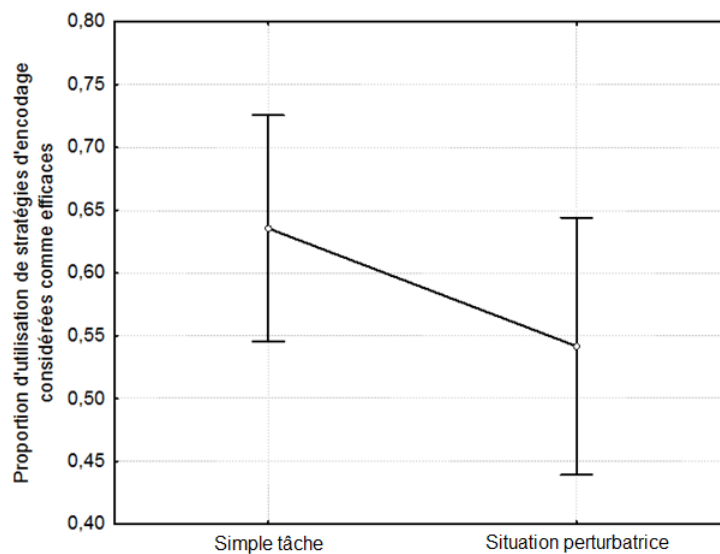


Figure 16. Proportion d'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces en fonction de la situation ; les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%.

Impact de la situation perturbatrice sur la performance de rappel. La performance de rappel avec situation perturbatrice a été comparée à la performance de rappel sans situation perturbatrice en prenant en compte uniquement les listes non indicées. Pour réaliser cette comparaison, une analyse utilisant le modèle linéaire général a été conduite sur la proportion de mots correctement rappelés, avec la capacité de MDT comme variable continue, et la situation (simple tâche restreinte aux listes non indicées et situation perturbatrice) comme variable catégorielle intra-sujet. Nous n'avons pas observé d'effet perturbateur de la situation, $F(1, 62) = 0.91$, $CME = 0.01$, $p = .344$, $\eta^2_p = .01$, ni d'interaction entre la capacité de MDT et la situation, $F(1, 62) = 0.03$, $CME = 0.01$, $p = .870$, $\eta^2_p = .00$. La répétition à voix haute n'a donc pas diminué les performances de rappel de façon globale, et n'a pas particulièrement affecté la performance des participants à forte capacité de MDT.

Analyses complémentaires portant sur l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces.

Proportion d'utilisation de stratégies efficaces et performance de rappel. Nous avons observé une corrélation positive entre la proportion de mots correctement rappelés et la proportion d'utilisation des stratégies considérées comme efficaces pour les listes non indicées, $r(65) = .27, p = .032$, pour les listes indicées, $r(64) = .28, p = .028$, et pour les listes de la situation perturbatrice, $r(65) = .27, p = .028$ (voir Figure 17, p. 143).

Capacité de MDT et utilisation de stratégies d'encodage efficaces. Nous n'avons pas observé de corrélation significative entre la capacité de MDT et la proportion d'utilisation des stratégies considérées comme efficaces, que ce soit pour les listes non indices, $r(65) = -.02, p = .894$, pour les listes indicées, $r(65) = .01, p = .906$, ou pour les listes de la situation perturbatrice, $r(65) = .11, p = .377$.

(4) Discussion

Dans cette expérience, nous avons observé un effet tendanciel d'indiçage d'une partie de liste dans le sens inverse à ce qui était attendu, avec une performance de rappel plus élevée en présence d'indices de récupération. Autrement dit, nous observons un effet tendanciellement facilitateur de la présentation d'indices lors du rappel, ce qui va à l'encontre du fondement théorique du paradigme d'indiçage d'une partie de liste, dans lequel les indices sont supposés perturber la mise en place du plan de récupération. Avec l'Expérience 5B, il s'agit donc de la seconde tentative de réplification de l'effet d'indiçage d'une partie de liste qui n'a pas abouti. Il ne semble pas exister d'explication évidente à ce résultat, dans la mesure où notre procédure était équivalente aux tâches utilisées dans la littérature et où toutes les caractéristiques pertinentes du matériel étaient contrôlées.

Le premier objectif de cette étude était de répliquer le HFE conceptuel, qui devait s'exprimer par une interaction entre la capacité de MDT et l'effet d'indiçage d'une partie de liste. Cependant, cet effet n'a pas été observé : les participants étaient affectés de la même façon par l'indiçage, indépendamment de leur capacité de MDT. Cette interaction non significative était liée à une absence plus générale de différences de comportement sur la tâche en fonction de la capacité de MDT : contrairement à ce qui était attendu, les différences interindividuelles de capacité de MDT dans cette expérience ne semblaient en lien ni avec la performance globale de rappel, ni avec l'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces. L'absence de HFE conceptuel est donc plutôt cohérente avec le pattern global de résultats : puisque les participants avec une forte capacité de MDT n'ont pas utilisé

plus de stratégies efficaces et n'ont pas obtenu une performance supérieure, il est logique qu'aucune modulation par l'indice ne soit apparue.

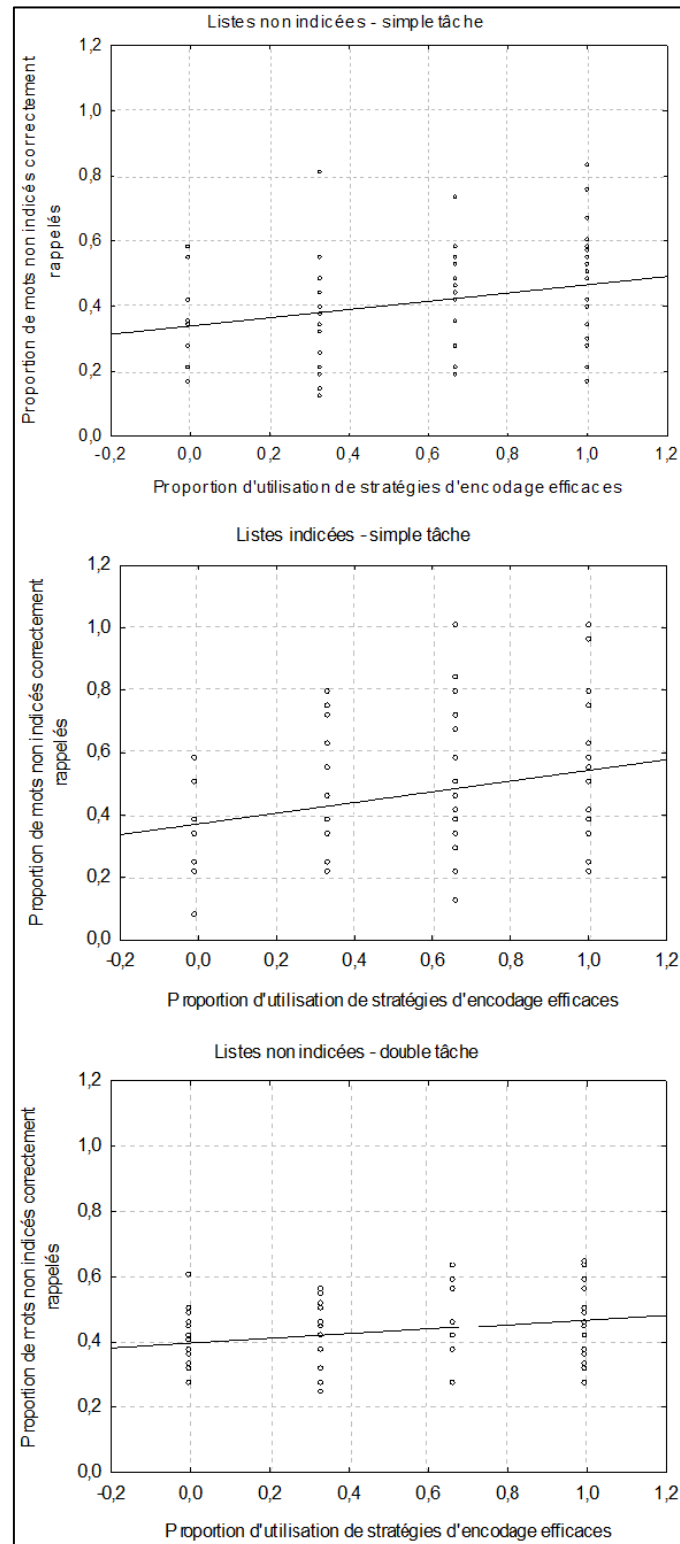


Figure 17. Corrélations entre la proportion de mots non indicés correctement rappelés et la proportion d'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces pour les listes non indicées et indicées de la situation de simple tâche et pour les listes non indicées de la situation perturbatrice.

Le second objectif de cette étude était de valider la situation perturbatrice de répétition à voix haute pour perturber l'utilisation de stratégies efficaces et de vérifier si cette situation diminuait sélectivement la performance des participants avec une forte capacité de MDT. Nous avons observé que la situation de répétition à voix haute perturbait tendanciellement l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces, conformément à nos hypothèses. En revanche, cette situation perturbatrice n'affectait pas la performance de rappel et n'interagissait pas avec la capacité de MDT.

Le fait que cette situation n'ait pas plus particulièrement affecté les participants avec une forte capacité de MDT peut s'expliquer par le fait que ces participants n'utilisaient pas plus de stratégies efficaces et n'obtenaient pas une meilleure performance de rappel, même en l'absence de perturbation. En revanche, il est plus difficile d'expliquer que la situation perturbatrice ait diminué l'utilisation de stratégies efficaces sans affecter la performance. Il est possible d'envisager que l'utilisation d'une stratégie d'auto-répétition conduise à une performance de rappel aussi bonne que la ou les stratégies endogène(s) des participants. Cependant, l'examen des reports essai par essai en fin de tâche ne soutient pas cette position. On observe en effet que plus les participants reportent utiliser des stratégies efficaces, meilleure est leur performance de rappel, et ce pour chaque type de liste. Ce résultat est cohérent avec plusieurs études montrant que les stratégies efficaces sont liées à une meilleure récupération des informations encodées (Bailey et al., 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Unsworth & Spillers, 2010a). La seule explication que nous pouvons apporter pour rendre compte de la globalité du pattern de résultats est donc que la diminution de la fréquence d'utilisation des stratégies d'encodage considérées comme efficaces n'était pas suffisante pour avoir une influence détectable sur les performances de rappel.

En résumé, le premier objectif de cette expérience, qui portait sur la réplication de l'interaction entre la capacité de MDT et l'indiçage de liste, n'a pas été atteint. Le second objectif, qui reposait sur la validation d'un nouveau type de perturbation afin de diminuer l'utilisation de stratégies efficaces, en particulier pour les participants à forte capacité de MDT, ne semble que partiellement atteint : la manipulation a certes permis de diminuer l'utilisation de stratégies efficaces mais n'a pas eu d'effet sur la performance. Quant à son effet en fonction de la capacité de MDT, il n'a pu être correctement évalué du fait d'une absence de lien entre la capacité de MDT et l'utilisation de stratégies d'encodage considérées comme efficaces en situation de simple tâche.

2. Discussion générale de l'Étude 5

Dans une série d'expériences portant sur l'effet d'indilage d'une partie de liste, nous avons cherché à répliquer la perturbation plus importante en situation d'indilage pour les participants avec une forte capacité de MDT observée dans la littérature (Barber & Rajaram, 2011 ; Cokely et al., 2006). L'objectif de cette réplification était d'établir un lien conceptuel entre effet d'indilage d'une partie de liste et HFE : les indices étaient supposés avoir le même impact négatif sur les performances des participants avec une forte capacité de MDT que la double tâche dans le HFE classique. Pour aller plus loin, nous avons également cherché à faire disparaître cet impact différentiel en perturbant l'utilisation des stratégies d'encodage à l'aide d'une situation de double tâche.

Premièrement, bien que l'effet d'indilage d'une partie de liste constitue un effet robuste apparaissant dans de nombreuses études publiées, nous ne l'avons observé que dans deux expériences sur trois. Les deux expériences dans lesquelles nous retrouvons cet effet classique partagent le même matériel, ce qui n'est pas le cas de la troisième expérience dans laquelle le matériel a été modifié dans le but d'être amélioré. Dans cette troisième expérience, nous avons observé un effet tendanciellement facilitateur de la présence d'indices ; nous pouvons donc supposer que le matériel utilisé dans cette expérience comportait certaines caractéristiques qui permettaient aux indices d'aider à la récupération. Comme le montrent Basden et al. (2002 ; voir aussi Bäuml & Aslan, 2006) l'effet perturbateur des indices est d'autant moins marqué lorsque les associations entre les informations à mémoriser sont faibles. Il est possible que malgré notre vigilance, nous ayons construit des listes de mots dans lesquelles les associations inter-mots étaient largement défavorisées, ce qui pourrait expliquer la tendance des indices à faciliter la performance de rappel.

Deuxièmement, alors que de nombreuses études rapportent qu'une forte capacité de MDT est liée à de meilleures performances mnésiques (voir notamment Unsworth & Engle, 2007a), nous ne retrouvons ce résultat que dans l'expérience 5A, ainsi que dans la combinaison des échantillons des expériences 5A et 5B. Nous ne pouvons pas supposer que l'effet principal de la MDT a été masqué par la présence d'une situation perturbatrice, puisque l'expérience 5B ne comportait pas de situation perturbatrice et puisque l'interaction entre situation perturbatrice n'était pas significative dans l'expérience 5C. Une explication reposant sur la différence de matériel entre les expériences semble également peu probable, étant donné que le même matériel était utilisé pour les expériences 5A et 5B et que nous avons observé un effet de la capacité de MDT dans le premier cas. La tâche de MDT (ECC) a

montré des qualités psychométriques satisfaisantes, ainsi qu'une bonne validité notamment en prédisant les performances dans plusieurs des tâches présentées dans ce travail de recherche (comme dans les Études 1, 3 et 4). Descriptivement, la moyenne et la dispersion de la capacité de MDT étaient satisfaisants dans les trois expériences (pour l'expérience 5A, $M = -0.09$, $ET = 0.75$; pour l'expérience 5B, $M = -0.05$, $ET = 0.74$; pour l'expérience 5C, $M = -0.09$, $ET = 0.83$). Nous n'avons donc pas réussi à identifier de facteurs pouvant expliquer l'absence d'effet de la capacité de MDT dans les expériences 5B et 5C.

Troisièmement, les expériences 5A et 5C ne sont pas parvenues à répliquer le HFE conceptuel constitué par la modulation de l'effet d'indilage d'une partie de liste par la capacité de MDT. Dans le cas de l'expérience 5C, cette absence d'interaction est cohérente avec l'absence d'effet global de la capacité de MDT, ainsi qu'avec le résultat inattendu de l'effet tendanciellement facilitateur des indices. Puisque les indices n'ont pas joué leur rôle perturbateur de la mise en place du plan stratégique de récupération et puisqu'une bonne capacité de MDT n'était pas liée à une meilleure performance, il est logique que la capacité de MDT n'ait pas modulé l'effet perturbateur des indices. Dans le cas de l'expérience 5A, nous avons vu que l'interprétation était plus délicate puisque l'interaction était tendanciellement significative mais dans le sens inverse de notre hypothèse, c'est-à-dire que les participants avec une faible capacité de MDT étant les plus perturbés. Cokely et al. (2006) montrent que les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à éviter de regarder les indices pour ne pas se laisser perturber (Étude 1A) ; ces auteurs utilisent la lecture d'indices à voix haute pour éviter ce type de phénomène. Dans l'Expérience 5A, nous avons appliqué une pénalité de notation dans le cas d'un report d'indice dans le carnet de réponse, mais il est possible que cela n'ait pas suffi pour forcer les participants avec une forte capacité de MDT à suffisamment traiter les indices. Cela pourrait expliquer pourquoi, dans cette première étude, la capacité de MDT était plus fortement corrélée avec la performance dans la condition indicée que dans la condition non indicée.

Enfin, les deux tentatives de perturbation de l'utilisation de stratégies efficaces chez les participants avec une forte capacité de MDT ont donné des résultats mitigés. Dans l'Expérience 5A, la double tâche a permis de diminuer la performance de rappel et de supprimer l'interaction entre capacité de MDT et effet de l'indilage. Cependant, les participants avec une forte capacité de MDT obtenaient toujours une meilleure performance en situation de double tâche et l'effet de l'indilage était toujours significatif dans cette condition, ce qui suggère que les stratégies d'encodage n'ont pas nécessairement été perturbées. Dans l'expérience 5C, la tâche perturbatrice a permis de diminuer l'utilisation de

stratégies d'encodage efficaces mais n'a pas affecté la performance. Les deux tâches perturbatrices que nous avons utilisées semblent donc avoir des caractéristiques complémentaires. Une utilisation combinée de ces deux tâches constituerait peut-être une solution pour que la situation perturbatrice diminue à la fois les performances de rappel et l'utilisation des stratégies d'encodage considérées comme efficaces.

Conclusion du chapitre 6

Dans ce chapitre, nous avons cherché à intégrer les effets observés au sein des paradigmes de CUP et d'indilage d'une partie de liste au sein du même cadre théorique que le HFE. Notre objectif était d'étendre le HFE et son interprétation en termes de stratégies à d'autres tâches que la LSC utilisée dans les études 1 à 3. Cependant, nous n'avons pas observé de HFE dans la tâche d'arithmétique modulaire, ni reproduit le HFE conceptuel dans la tâche de MLT verbale. De plus, la relation entre capacité de MDT et utilisation de stratégies efficaces, que nous supposons à l'origine du HFE, n'a été mise en évidence dans aucune de ces deux tâches. En parallèle, nous avons bien observé que les performances des participants avec une forte capacité de MDT étaient globalement supérieures à celles des participants avec une faible capacité de MDT dans les études 4A et 5A.

Les résultats observés dans ce chapitre semblent globalement indiquer que les participants avec une forte capacité de MDT n'ont pas toujours une tendance marquée à utiliser des stratégies plus efficaces. Ces résultats indiquent également que l'utilisation de stratégies efficaces n'est pas l'unique déterminant des performances plus élevées des participants avec une forte capacité de MDT, puisque ces participants restent ceux dont les performances sont les plus élevées même en l'absence de différences de comportement stratégique.

Ces résultats ne vont pas dans le sens de notre objectif, qui est de montrer que l'utilisation de stratégies efficaces dans différentes tâches de cognition de haut niveau dépend de la capacité de MDT et qu'il s'agit d'un élément explicatif de la relation observée entre capacité de MDT et cognition de haut niveau. Cependant, ils ne constituent pas non plus un argument fort à l'encontre de nos hypothèses. En effet, l'absence de HFE observée dans la tâche d'arithmétique modulaire peut s'expliquer par la faible efficacité de la double tâche, qui n'a pas permis de diminuer la performance. De plus, la non-réplication du HFE conceptuel observée dans le cadre de l'effet d'indilage d'une partie de liste peut être mise en lien avec notre difficulté à reproduire le lien entre MDT et performance ainsi que l'effet délétère de

l'indigage observés dans la littérature. Autrement dit, les résultats insatisfaisants observés dans ce chapitre pourraient simplement être dus à des problèmes méthodologiques. Dans le chapitre suivant, nous avons choisi d'étudier le lien entre MDT et stratégies dans le cadre de paradigmes différents et permettant d'évaluer la mise en place de stratégies par une analyse des patterns de réponse.

Chapitre 7 : Une étude des stratégies allant au-delà du report verbal

Dans ce chapitre, nous avons cherché à étudier l'utilisation des stratégies dans une tâche visuospatiale et dans une tâche verbale. L'objectif était de mieux comprendre quelles stratégies étaient mises en place par les participants et le rôle de ces stratégies dans la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau. Les études présentées dans ce chapitre avaient deux caractéristiques communes. D'une part, nous avons choisi d'utiliser une autre méthode d'étude que le report verbal, car en dehors des critiques habituellement formulées à son encontre, il ne peut s'appliquer qu'aux stratégies verbalisables et non-automatiques (Ericsson & Simon, 1980). Il est toutefois envisageable que certaines stratégies impliquées dans la relation entre la MDT ne satisfassent pas ces critères, et ne puissent donc pas être étudiées avec cette méthode. À partir de données issues de la littérature, nous avons donc identifié deux types de comportements stratégiques pouvant être directement étudiés à partir de l'analyse des patterns de réponse. D'autre part, les deux études ont cherché à manipuler directement la mise en place de stratégies dans le but de moduler le lien entre MDT et performance.

A. Étude 6 : Stratégies et tâches visuospatiales : le cas de la réduction de l'espace de travail mental

a) Expérience 6A

Kemps (1999) a étudié l'effet de la complexité quantitative, c'est-à-dire de la quantité d'informations contenues dans un pattern (Chipman, 1977), sur les performances observées dans une tâche similaire à celle des blocs de Corsi. La tâche des blocs de Corsi est couramment utilisée dans l'évaluation de la mémoire visuospatiale (de Renzi & Nichelli, 1975 ; Smyth & Scholey, 1992) ; il s'agit d'une tâche dans laquelle les participants doivent reproduire des suites de localisations spatiales présentées successivement à l'aide de blocs en bois disposés sur une planche.

Kemps (1999) a fait varier le nombre total de blocs disponibles dans la matrice de présentation, qui pouvait être de 9, 16 ou 25, les items de chaque essai étant toujours présentés dans un sous-ensemble de neuf blocs (voir Figure 18). Les résultats ont montré que les performances des participants restaient constantes, quelle que soit la taille totale de la matrice. Cela suggère que les participants sont capables d'ignorer les blocs non pertinents et de ne

prendre en compte que le sous-espace de travail pertinent. Dans l'expérience de Kemps, la taille de ce sous-espace ne variait pas, et donc la performance des participants ne variait pas non plus.

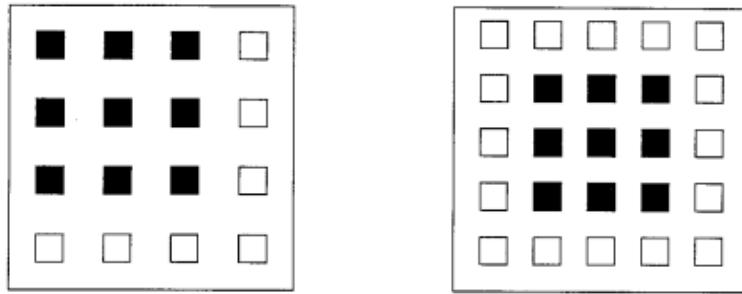


Figure 18. Sous-ensembles de neuf blocs pertinents présentés dans une matrice de quatre lignes par quatre colonnes (à gauche) ou de cinq lignes par cinq colonnes (à droite). Tiré de "Effects of complexity on visuospatial working memory." de E. Kemps, 1999, *European Journal of Cognitive Psychology*, 11(3), p. 345. Copyright 1999 par Psychology Press Limited.

Dans une seconde expérience (Kemps, 1999), le nombre total de blocs était maintenu constant (25 blocs), mais la taille du sous-espace de travail pertinent pouvait être de 9, 16 ou 25 blocs. Dans ce cas, les performances des participants diminuaient avec l'augmentation de la taille du sous-espace de travail pertinent. Cela indiquerait donc que les performances sont sensibles à la taille du sous-espace pertinent, et non à la taille totale de la matrice de présentation. Ces résultats suggèrent qu'il pourrait exister un processus stratégique grâce auquel les participants réduisent la taille de leur espace de travail mental pour l'adapter à la taille du sous-espace pertinent. Cela expliquerait pourquoi les performances sont meilleures pour des petites tailles de sous-espace pertinent de la matrice : les participants réduiraient leur espace mental pour ne prendre en compte que la petite partie de la matrice pertinente, et diminueraient ainsi la complexité quantitative de l'information qu'ils doivent traiter.

Par ailleurs, plusieurs études non publiées et réalisées dans notre laboratoire de recherche ont montré que certains participants n'étaient pas sensibles aux variations de la taille du sous-espace pertinent, tandis que d'autres y étaient très sensibles. Il existerait donc des différences interindividuelles de sensibilité à l'effet de la taille du sous-espace pertinent, bien qu'en moyenne cet effet soit toujours observé. À partir de ces résultats, on peut donc formuler l'hypothèse que les participants avec une forte capacité de MDT utiliseraient de façon plus systématique une stratégie de réduction de l'espace de travail au sous-espace pertinent par rapport aux participants avec une faible capacité de MDT, ce qui expliquerait leurs meilleures performances dans des tâches de mémoire visuospatiale comme la LSC.

Afin de tester cette hypothèse, nous avons fait varier la taille du sous-espace pertinent dans une tâche de type Corsi, tout en maintenant constante la taille de la matrice globale. Nous nous attendions à observer 1) un effet de la taille du sous-espace pertinent, avec une augmentation des performances lorsque cette taille diminue ; et 2) un lien entre l'amplitude de cet effet et la capacité de MDT, dans le sens où plus la capacité de MDT des participants est élevée, plus ces participants devraient bénéficier d'une diminution de la taille du sous-espace pertinent.

Par ailleurs, il devrait être possible de favoriser la mise en place d'une stratégie de réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent grâce à une aide exogène. De fait, la présence d'une aide facilitant le comportement stratégique devrait conduire à un HFE « *inversé* » : les participants avec une forte capacité de MDT utilisant déjà la stratégie de réduction de l'espace de travail, leurs performances ne devraient pas bénéficier de l'induction de cette stratégie. En revanche, on devrait observer une augmentation de l'effet de la taille du sous-espace pertinent chez les participants avec une faible capacité de MDT, ce qui pourrait améliorer leurs performances jusqu'à ce qu'elles deviennent similaires à celles des participants avec une forte capacité de MDT.

(1) Méthode

(a) Participants

Soixante-dix étudiants en licence de psychologie de l'Université de Grenoble 2 ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 21.69$ ans, $ET = 4.37$ mois ; 53 femmes et 17 hommes). Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de mémoire visuospatiale de type Corsi.

Dans cette tâche, les participants devaient mémoriser puis reproduire des suites de localisations présentées dans une matrice de 36 blocs. Ces localisations étaient contenues dans un sous-espace pertinent dont la taille variait d'essai en essai.

Cette tâche était constituée de 26 séries de six localisations présentées séquentiellement dans une matrice de 36 blocs (6x6), avec deux essais de familiarisation suivis 24 essais test. Les séries ont

été construites avec au maximum un seul croisement de chemin entre l'emplacement de la première localisation et l'emplacement de la dernière.

Kemps (1999) a opérationnalisé la taille du sous-espace pertinent en tant que taille du rectangle dans lequel s'inscrivent les localisations spatiales (voir Figure 19, à gauche) ; selon cette approche, les localisations spatiales constituant chaque série dans notre étude étaient comprises dans un sous-espace rectangulaire dont la taille variait de 4x4 jusqu'à 5x6. De façon à mieux estimer le sous-espace pertinent réel dans lequel apparaissaient les localisations d'une suite, nous avons calculé l'aire du polygone ayant pour sommet ces localisations à l'aide de la formule de Pick (voir Figure 19, à droite). Selon cette approche, la série dont le polygone était le plus petit avait une surface de 11.5, et la plus grande une surface de 24 (les 24 ensembles et leurs taille sont disponibles en Annexe E). La surface moyenne était de 16.79 ($ET = 3.91$).

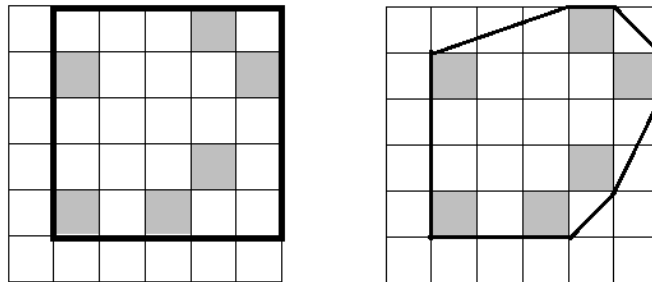


Figure 19. Deux opérationnalisations différentes de la notion de taille du sous-espace pertinent. Les cases allumées en gris constituent une série de localisations affichées de façon séquentielle ; la bordure épaisse représente le sous-espace pertinent. À gauche : le sous-espace pertinent tel qu'opérationnalisé dans l'étude de Kemps (1999), avec une taille de 5x5. À droite : le sous-espace pertinent délimité par le polygone formé par les localisations, avec une taille de 20.5 d'après la formule de Pick.

Pour chaque participant, nous avons défini une équation de régression avec comme prédicteur l'aire du polygone formé par les localisations et comme variable prédite le nombre de localisations correctement rappelées. La pente de cette équation de régression, constituant une estimation de l'effet de la taille du sous-espace pertinent sur la performance, a été calculée pour chaque participant. Nous avons également mesuré le nombre moyen de localisations correctement rappelées dans l'ordre.

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

Nous avons utilisé l'ECC, présenté en Annexe B (pp. 241 à 260), pour obtenir une mesure de la capacité de MDT.

(c) Procédure

Tous les participants ont réalisé l'expérience (d'une durée de 45 minutes) dans une salle de passation collective, en groupes allant de deux à huit personnes. Les participants réalisaient en premier la tâche de mémoire visuospatiale de type Corsi, qui commençait par les deux essais de familiarisation, puis continuait avec les 24 suites de localisations cibles. La moitié des participants ($n = 40$) rappelaient les 24 séries sans induction de stratégie, et l'autre

moitié ($n = 30$) rappelaient les 24 séries avec une induction qui devait favoriser la stratégie de réduction de l'espace de travail pertinent.

Cette induction de stratégie prenait la forme d'une bordure rouge entourant le sous-espace pertinent dans lequel avait eu lieu la présentation de des localisations de la suite. Cette induction avait pour objectif d'orienter les participants vers l'utilisation d'une stratégie de réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent. La bordure rouge apparaissait au moment du rappel des localisations (voir la Figure 20 pour un aperçu de la procédure), car plusieurs pré-tests nous ont montré que les participants étaient plutôt perturbés lorsque le sous-espace pertinent était rendu explicite au moment de l'encodage. Une fois la première tâche terminée, les participants réalisaient l'ECC après une courte pause.

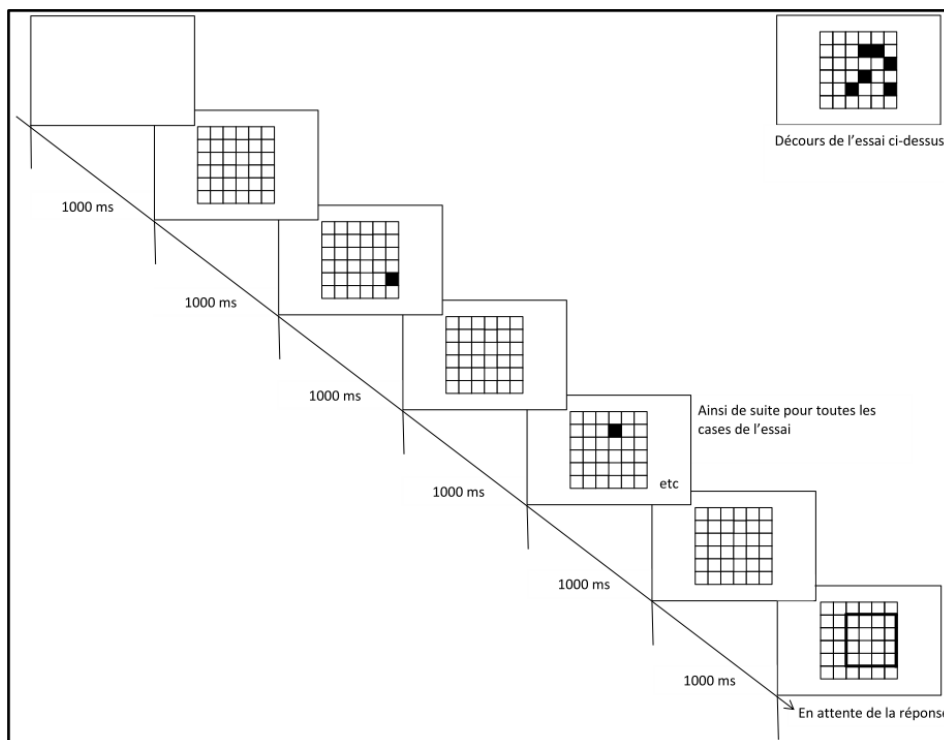


Figure 20. Déroulement temporel d'un essai avec aide ; la bordure rouge utilisée pour l'induction de stratégie est figurée par le trait noir épais dans la phase d'attente de la réponse.

(2) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. L'induction de stratégie (avec ou sans) a été considérée comme une variable catégorielle, et la capacité de MDT a été considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 10.

Tableau 10

Statistiques descriptives du score de MDT, de la pente et du nombre de cases correctement rappelées pour les conditions avec et sans induction

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.05	0.73	-1.58 – 1.32	-0.27	-0.67
Pente					
Avec induction	-0.10	0.07	-0.23 – 0.05	-0.27	-0.71
Sans induction	-0.09	0.06	-0.18 – 0.06	0.44	-0.60
Nombre de cases rappelées					
Avec induction	3.84	0.64	2.54 – 5.38	0.10	-0.20
Sans induction	4.07	0.76	2.46 – 5.42	-0.32	-0.65

Analyses préliminaires.

Capacité de MDT dans les groupes expérimentaux. Bien que les participants aient été répartis au hasard dans les conditions expérimentales avec et sans aide, nous avons voulu vérifier l'équivalence de ces deux groupes au niveau de la capacité de MDT. Une ANOVA a été réalisée avec l'induction de stratégie (avec ou sans) comme variable catégorielle inter-sujet. La capacité moyenne de MDT dans le groupe sans induction de stratégie n'était pas significativement différente de la capacité moyenne de MDT dans le groupe avec induction, $F(1, 68) = 0.34$, $CME = 0.54$, $p = .564$, $\eta^2_p = .00$. Les deux groupes expérimentaux étaient donc équivalents en termes de capacité de MDT moyenne.

Effet de la taille du sous-espace pertinent. Nous avons cherché à savoir si nous avons correctement manipulé le sous-espace pertinent en vérifiant si la performance diminuait quand la taille du sous-espace pertinent augmentait. Dans une première analyse, nous avons comparé la pente représentant l'effet du sous-espace, calculée pour chaque participant, à un standard de 0. Cette analyse a été réalisée sur l'ensemble des participants, sans tenir compte de l'induction de stratégie. L'effet de la taille du sous-espace pertinent était significatif, $t(68) = -11.40$, $p < .001$, $\eta^2_p = .66$. En moyenne, les participants rappelaient 0.092 localisation de moins ($ET = 0.07$) lorsque la surface augmentait de 1.

Dans une seconde analyse, nous avons testé l'effet de taille du sous-espace de façon différente en considérant le facteur *item* comme une variable aléatoire : nous avons calculé la performance moyenne pour chaque série, tous participants confondus, et réalisé la régression de la performance moyenne sur la taille de la série. La pente calculée dans cette analyse était -0.087 (voir Figure 21) ; autrement dit, lorsque la taille de la série augmentait de 1, la

performance de rappel moyenne diminuait de 0.087. Cette pente était significativement différente de 0, $t(22) = -3.22$, $p = .004$, $\eta^2_p = .32$. Nous retrouvons donc un effet de la taille du sous-espace pertinent.

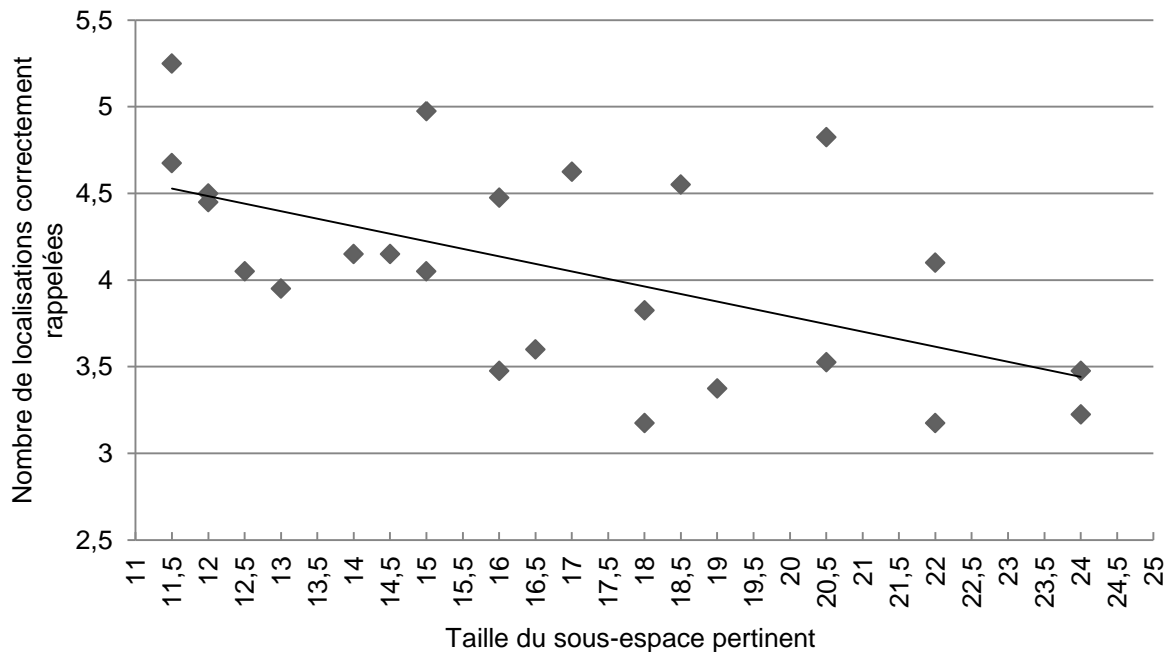


Figure 21. Droite de régression de la performance moyenne de rappel sur la taille du sous-espace pertinent.

Analyses principales.

Taille du sous-espace pertinent et capacité de MDT sans induction de stratégie. Nous avons fait l'hypothèse que l'effet de la taille du sous-espace pertinent, donc de la pente, serait plus important pour les participants avec une forte capacité de MDT en l'absence d'induction de stratégie. Contrairement à cette hypothèse, la corrélation entre la pente et la capacité de MDT n'était pas significative, $r(38) = -0.14$, $p = .403$, ce qui indiquait que l'effet de la taille du sous-espace pertinent était le même quelle que soit la capacité de MDT (voir Figure 22, à gauche).

Taille du sous-espace et capacité de MDT avec induction de stratégie. Nous nous attendions à ce que l'effet de la taille du sous-espace pertinent diminue en présence d'une induction de stratégie. Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été menée sur la pente pour tester cette hypothèse, avec la capacité de MDT comme variable continue et l'induction de stratégie (avec ou sans) comme variable catégorielle inter-sujet. L'interaction entre ces deux variables était significative, $F(1, 66) = 4.41$, $CME = 0.004$, $p = .039$, $\eta^2_p = .06$. L'effet de l'induction de stratégie variait donc en fonction de la capacité de MDT. Cependant,

cette interaction n'allait pas dans le sens de nos hypothèses : lorsque l'induction de stratégie était présente, la capacité de MDT corrélait positivement avec la pente, $r(28) = 0.35$, $p = .055$ (voir Figure 22, à droite), tandis que comme nous l'avons vu dans l'analyse précédente, cette même relation était non significative en l'absence d'induction de stratégie.

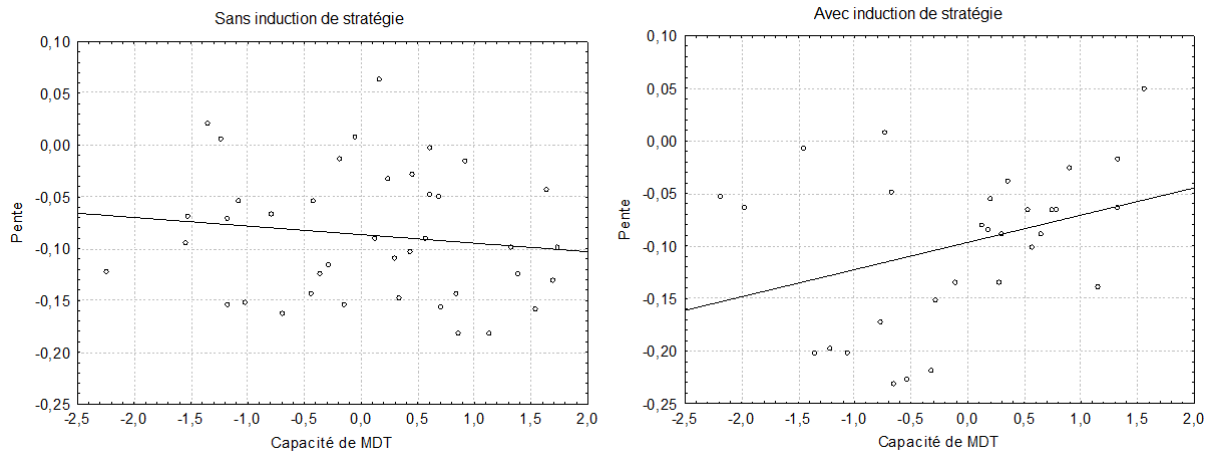


Figure 22. Corrélation entre la pente et la capacité de MDT avec et sans induction de stratégie.

En l'absence d'induction de stratégie et contrairement à nos hypothèses, l'effet de la taille du sous-espace pertinent n'était pas modulé par la capacité de MDT ; on observait donc une diminution globale de la performance lorsque la taille du sous-espace pertinent augmentait, et ce indépendamment de la capacité de MDT. Dans cette situation, la pente moyenne était de -0.008 et était relativement stable pour tous les participants (voir Figure 22, à gauche).

Comparativement, lorsque l'induction de stratégie était présente, la pente moyenne était relativement similaire avec une valeur de 0.007 ; en revanche, cette pente augmentait pour les participants avec une faible capacité de MDT et tendait descriptivement vers zéro pour les participants avec une forte capacité de MDT (voir Figure 22, à droite). Autrement dit, alors que sans aide tous les participants étaient sensibles à la taille du sous-espace pertinent, l'ajout d'une aide tendait à supprimer cet effet chez les participants avec une forte capacité de MDT et tendait à accentuer cet effet pour les participants avec une faible capacité de MDT.

Analyses complémentaires sur la performance globale.

Nous avons réalisé une dernière analyse afin d'évaluer l'effet des variables sur le nombre moyen de localisations rappelées. Cette analyse a été réalisée avec le modèle linéaire

général, et prenait en compte la capacité de MDT comme variable continue et l'induction de stratégie (avec ou sans) comme variable catégorielle inter-sujet.

Nous avons observé un effet principal de la capacité de MDT, $F(1, 66) = 14.90$, $CME = 0.43$, $p < .001$, $\eta^2_p = .18$, le nombre moyen de localisations correctement rappelées étant positivement corrélé avec la capacité de MDT, $r = .44$. En d'autres termes, les participants avec une forte capacité de MDT avaient une performance plus élevée que ceux avec une faible capacité de MDT. Nous n'avons pas observé d'effet de l'induction, $F(1, 66) = 1.39$, $CME = 0.43$, $p = .243$, $\eta^2_p = .02$, ce qui signifiait que la performance moyenne n'était pas meilleure dans la situation avec une induction de stratégie par rapport à la situation sans induction. Enfin, l'interaction entre ces deux variables n'était pas significative, $F(1, 66) = 0.05$, $CME = 0.43$, $p = .820$, $\eta^2_p = .00$, ce qui signifie qu'indépendamment de la situation (avec ou sans induction de stratégie), les participants avec une forte capacité de MDT avaient de meilleures performances que ceux avec une faible capacité de MDT.

(3) Discussion

Cette expérience avait pour objectif d'étudier les différences d'utilisation de stratégies dans une tâche de mémoire visuospatiale en fonction de la capacité de MDT. Les résultats obtenus par Kemps (1999) suggèrent que la réalisation d'une tâche visuospatiale pourrait reposer sur une stratégie de réduction de l'espace de travail mental en fonction du sous-espace pertinent. Nous avons donc formulé l'hypothèse que les participants avec une forte capacité de MDT pourraient utiliser cette stratégie de façon plus systématique que ceux avec une faible capacité de MDT. Cela les conduirait à être d'autant plus performants dans ce type de tâche que le sous-espace pertinent est petit.

Les résultats obtenus dans cette expérience sont cohérents avec ceux de nos précédentes études dans lesquelles la capacité de MDT était positivement liée à la performance globale de mémoire (études 1 et 3). De plus, l'effet de la taille du sous-espace pertinent observé par Kemps (1999) est reproduit : les performances des participants diminuaient avec l'augmentation de la taille du sous-espace pertinent. Cependant, l'amplitude de cet effet était indépendante de la capacité de MDT. Nous n'avons donc pas réussi à montrer qu'en situation normale et sans aucune induction de stratégie, les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus systématiquement la stratégie de réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent.

Dans le but de favoriser la réduction de l'espace de travail pertinent, notamment chez les participants avec une faible capacité de MDT, nous avons tenté d'induire la stratégie de

réduction de l'espace de travail en rendant cet espace explicite au moment du rappel grâce à une bordure rouge. Cette induction n'a pas augmenté la performance globale, ce qui pourrait suggérer que l'induction n'a pas eu d'effet sur la stratégie de réduction de l'espace de travail. Cependant, cette induction a eu pour conséquence la diminution de l'effet de la taille du sous-espace pertinent chez les participants avec une forte capacité de MDT, et son augmentation chez les participants avec une faible capacité de MDT. Cela suggérerait que l'induction de stratégie a été efficace pour les participants avec une faible capacité de MDT en favorisant chez eux une adaptation flexible de l'espace de travail mental, ces participants devenant plus performants lorsque la taille du sous-espace pertinent était réduite. L'induction de stratégie semble toutefois avoir perturbé le mécanisme naturellement utilisé par les participants avec une forte capacité de MDT, puisqu'elle diminue chez eux l'effet de la taille du sous-espace pertinent. Autrement dit, on peut supposer que l'induction a simultanément renforcé l'utilisation de la stratégie de réduction de l'espace de travail chez les participants à faible capacité de MDT et diminué son utilisation chez les participants à forte capacité de MDT.

On sait que les participants avec une forte capacité de MDT sont les plus sensibles aux changements contextuels qui peuvent intervenir entre la situation d'encodage et la situation de récupération (Delaney & Sahakyan, 2007 ; Unsworth, Brewer, & Spillers, 2011). Or, notre manipulation expérimentale modifie la situation de récupération par rapport à la situation d'encodage en rajoutant une bordure rouge. Il est donc possible que cette modification ait spécifiquement perturbé la stratégie naturelle des participants avec une forte capacité de MDT, réduisant ainsi l'effet de la taille du sous-espace de travail pertinent. Le problème de cette interprétation est qu'elle implique que la stratégie naturelle des participants avec une forte capacité de MDT repose sur l'adaptation flexible de l'espace de travail au sous-espace pertinent, ce que nous n'avons pas réussi à mettre en évidence dans cette étude.

Afin de dépasser cette limite, nous avons mené une seconde étude (Expérience 6B) dont l'objectif était de tenter une nouvelle fois de mettre en évidence un lien entre capacité de MDT et utilisation d'une stratégie de réduction de l'espace de travail.

b) Expérience 6B

L'Expérience 6B constituait une réplique exacte de l'Expérience 6A visant à mettre en évidence un lien entre capacité de MDT et utilisation d'une stratégie de réduction du sous-espace pertinent. Un nouvel échantillon de participants a été collecté et combiné avec les données de l'Expérience 6A. Ces participants ont passé uniquement la condition sans

induction de stratégie de façon à évaluer leur comportement stratégique en l'absence de manipulation expérimentale.

(1) Méthode

(a) Participants

Un nouvel échantillon de 63 participants a été collecté et combiné avec l'échantillon de participants ayant passé la condition sans induction dans l'Expérience 6A ($N = 35$). L'échantillon final comportait 98 étudiants en licence de psychologie (44 de l'Université de Grenoble 2 et 54 de l'Université de Savoie) ayant participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 23.52$ ans, $ET = 5.47$ mois ; 81 femmes et 17 hommes). Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. Chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel et procédure

L'ensemble du matériel et de la procédure étaient identiques à l'Expérience 6A, avec une exception : tous les participants ont passé la condition sans induction de stratégie.

(2) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. La capacité de MDT a été considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 11.

Tableau 11

Statistiques descriptives du score de MDT, de la pente et du nombre de cases correctement rappelées

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.05	0.72	-1.68 – 1.32	-0,31	-0,74
Nombre moyen de cases correctement replacées	3.80	0.85	1.63 – 5.42	-0,47	-0,39
Pente	-0.08	0.07	-0.20 – 0.21	0,90	1,96

Analyses préliminaires.

Effet de la taille du sous-espace pertinent. Une analyse préliminaire identique à l'Expérience 6A a été menée pour tester l'effet de la taille du sous-espace pertinent sur le nombre de localisations correctement rappelées. Dans une première analyse, la pente moyenne calculée pour chaque participant a été comparée à un standard de 0. L'effet de la taille du sous-espace pertinent était significatif, $t(97) = -10.97$, $p < .001$, $\eta^2_p = .55$. En moyenne, les participants rappelaient 0.077 localisation de moins ($ET = 0.07$) lorsque la surface augmentait de 1.

Dans une seconde analyse, le facteur *item* a été considéré comme une variable aléatoire ; nous avons calculé la performance moyenne pour chaque série, tous participants confondus, et réalisé la régression de la performance moyenne sur la taille de la série. La pente calculée dans cette analyse était de -0.013 (voir Figure 23) ; autrement dit, lorsque la taille de la série augmentait de 1, la performance de rappel moyenne diminuait de 0.013. Cette pente était significativement différente de 0, $t(22) = -2.83$, $p = .010$, $\eta^2_p = .27$. Nous retrouvons donc un effet de la taille du sous-espace pertinent.

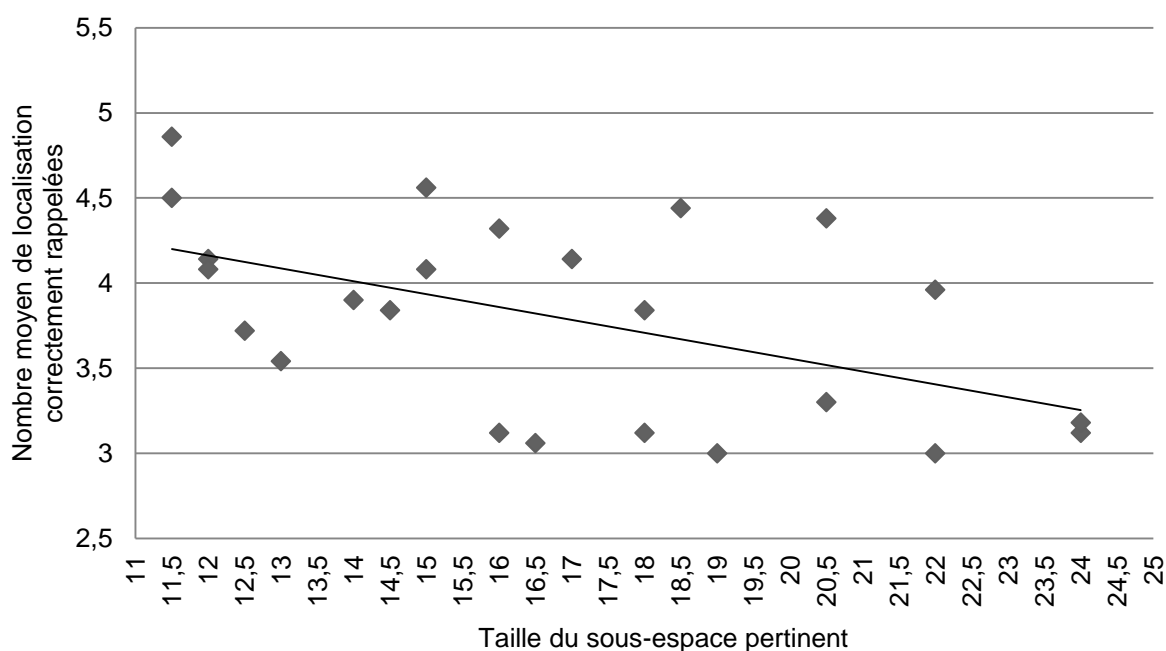


Figure 23. Droite de régression de la performance moyenne de rappel sur la taille du sous-espace pertinent.

Lien entre MDT et performance. Une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été réalisée sur le nombre moyen de localisations correctement rappelées, avec la capacité de MDT comme variable continue. Nous avons observé un effet principal de la capacité de

MDT, $F(1, 95) = 12.86$, $CME = 0.02$, $p < .001$, $\eta^2_p = .12$, avec une augmentation du nombre moyen de localisations correctement rappelées positivement corrélée à l'augmentation de la capacité de MDT ($r(96) = .34$).

Taille du sous-espace pertinent et capacité de MDT.

Notre hypothèse portait sur une interaction entre la capacité de MDT et la taille du sous-espace pertinent, ce qui se traduirait par un effet de la capacité de MDT sur la pente. Afin de tester cette hypothèse, une analyse à l'aide du modèle linéaire général a été réalisée sur la pente, avec la capacité de MDT comme variable continue. Tout comme dans l'expérience 6A, l'effet de la capacité de MDT n'était pas significatif, $F(1, 94) = 0.37$, $CME = 0.004$, $p = .543$, $\eta^2_p = .00$. En d'autres termes, la diminution du nombre moyen de localisation correctement rappelées avec l'augmentation de la taille du sous-espace pertinent était de même ampleur pour tous les participants, indépendamment de leur capacité de MDT (Figure 24).

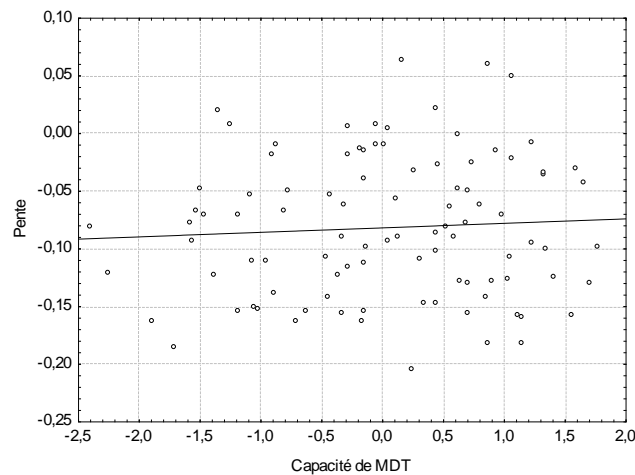


Figure 24. Effet de la capacité de MDT sur la pente.

(3) Discussion

Dans cette expérience, nous avons cherché à mettre en évidence que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus systématiquement la stratégie de réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent, comparativement à ceux avec une faible capacité de MDT. Cela permettrait d'expliquer leurs meilleures performances dans des tâches de mémoire visuospatiale.

Nous observons bien un effet de la capacité de MDT sur la performance globale : les participants avec une forte capacité de MDT rappellent donc un nombre moyen de localisations plus important que ceux avec une faible capacité de MDT. Cependant et comme

dans l'expérience 6A, nous n'avons pas observé d'interaction entre la capacité de MDT et l'effet de la taille du sous-espace pertinent. Ces résultats ne nous permettent donc pas de conclure à une utilisation plus systématique de la stratégie de réduction de l'espace de travail pour les participants avec une forte capacité de MDT.

2. Discussion générale de l'Étude 6

Dans les expériences 6A et 6B, nous avons choisi d'étudier les différences d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT dans une tâche de mémoire visuospatiale. Une stratégie qui pourrait être mise en jeu dans ce type de tâche est l'adaptation de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent (d'après les résultats de Kemps, 1999). Nous avons formulé l'hypothèse que ce processus était plus systématiquement utilisé lorsque la capacité de MDT était élevée, ce qui conduirait les participants avec une forte capacité de MDT à être d'autant plus performants dans ce type de tâche lorsque le sous-espace pertinent était petit, comparativement aux participants avec une faible capacité de MDT.

Globalement, les participants avec une forte capacité de MDT ont montré une performance mnésique supérieure aux participants avec une faible capacité de MDT, ce qui est congruent avec nos précédents résultats (études 1 et 3). De plus, l'opérationnalisation de la taille du sous-espace pertinent à partir de la formule de Pick semble avoir été correctement effectuée, puisque la performance de tous les participants diminuait lorsque la taille du sous-espace pertinent augmentait.

Cependant, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence que l'utilisation de la stratégie de réduction de l'espace de travail mental dépendait de la capacité de MDT. Les participants avec une forte capacité de MDT obtenaient toujours de meilleures performances que ceux avec une faible capacité de MDT, en dépit du fait que tous les participants montraient un effet de la taille du sous-espace pertinent. Cela peut suggérer que le mécanisme expliquant les performances en mémoire visuospatiale supérieures des participants avec une forte capacité de MDT ne relève pas d'une meilleure adaptation de la taille de l'espace de travail, mais plutôt d'un mécanisme fonctionnant indépendamment de la taille du sous-espace pertinent.

Une autre explication possible à l'absence de différences de comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT serait que le matériel utilisé dans cette étude n'ait pas permis aux variations de stratégies liées à la capacité de MDT d'avoir une influence sur la performance. Par exemple dans l'Expérience 6B, on peut remarquer que la différence de

performance moyenne entre la suite dont le sous-espace était le plus petit ($M = 4.50$; $ET = 1.74$) et la suite pour laquelle le sous-espace était le plus grand ($M = 3.18$; $ET = 1.38$) n'était que de 1,32 case, soit 22% de la performance maximale possible. Cette écart était peut-être trop faible pour qu'une différence systématique dans l'utilisation de la stratégie de réduction de l'espace de travail pertinent puisse avoir une influence sur la performance. Cette étude pourrait donc être reconduite en augmentant la taille totale de la matrice, pour ainsi introduire plus de différenciation entre les suites avec un sous-espace pertinent de petite taille et celles avec un sous-espace de grande taille.

Un second objectif de cette étude était d'induire une stratégie de réduction de l'espace de travail chez tous les participants en la rendant plus facile à mettre en place. En pratique, l'induction de la stratégie de réduction de l'espace de travail mental n'a pas eu l'effet escompté : cette induction semble plutôt avoir renforcé l'utilisation de la stratégie de réduction de l'espace de travail chez les participants avec une faible capacité de MDT et diminué son utilisation chez les participants avec une forte capacité de MDT.

Comme nous l'avons vu, les participants avec une forte capacité de MDT sont les plus sensibles aux modifications de contextes (Delaney & Sahakyan, 2007 ; Unsworth, Brewer, et al., 2011), ce qu'implique l'ajout d'une aide. Comme l'effet de la taille du sous-espace pertinent tend à être supprimé par l'aide chez ces participants, on peut supposer que l'ajout de l'aide a particulièrement perturbé le processus responsable de cet effet. Au contraire, l'induction de stratégie semble avoir favorisé – comme attendu – le processus sous-jacent à l'effet de la taille du sous-espace pertinent chez les participants avec une faible capacité de MDT. Ces participants sont les moins efficaces lorsqu'il s'agit de supprimer des informations non pertinentes (Conway et al., 2001 ; Conway, Tuholski, Shisler, & Engle, 1999 ; Redick & Engle, 2006 ; Redick, Heitz, & Engle, 2007), et les indices qu'ils auto-génèrent lorsqu'ils effectuent une recherche en mémoire secondaire ne permettent pas de délimiter efficacement l'étendue de la recherche (Unsworth & Engle, 2007). Autrement dit, ils recherchent les informations mémorisées parmi un grand nombre d'informations non pertinentes. En partant de ce constat, il est cohérent d'observer que plus le nombre de réponses non pertinentes éliminées par l'aide est important (sachant que ce nombre augmente avec la diminution de la taille du sous-espace pertinent), plus la performance de ces participants est améliorée. En effet, l'aide élimine clairement un certain nombre de cases qui ne peuvent pas faire partie de la réponse, et diminue le nombre de cases dans lequel effectuer une recherche pour récupérer l'information mémorisée.

Ces interprétations restent cependant très spéculatives, notamment du fait qu'on ne connaît toujours pas la stratégie naturellement utilisée par les participants avec une forte capacité de MDT pour obtenir de meilleures performances. Nous n'avons donc qu'une idée imprécise des déterminants initiaux de la performance qui ont pu être modifiés par l'ajout de l'aide.

De fait, il n'est même pas certain que l'effet de la taille du sous-espace pertinent soit dû à un véritable processus stratégique de réduction de l'espace de travail. En effet, un argument non considéré par Kemps (1999) est que la taille du sous-espace de travail pertinent dans une tâche visuospatiale est nécessairement fortement corrélée avec la longueur du chemin qui sépare les localisations spatiales à mémoriser. Or, on sait que la longueur du chemin est inversement corrélée avec la performance (Guérard & Tremblay, 2012). D'autres études seraient donc nécessaires pour vérifier si l'effet de la taille du sous-espace pertinent est bien une manifestation de la complexité quantitative, tel que proposé par Kemps (1999), et peut donc être interprété en termes de processus stratégique de réduction de cette complexité, ou si cet effet reflète indirectement la longueur du chemin à parcourir au sein d'une même suite.

Notre méconnaissance des déterminants de la performance sur les tâches visuospatiales implique qu'il n'est pas nécessairement pertinent de s'intéresser au fonctionnement stratégique sur ce type de tâche. Dans l'étude suivante, nous avons cherché à mettre en évidence un lien entre capacité de MDT et utilisation de stratégies efficaces dans le cadre d'une tâche de mémoire verbale, un paradigme où le comportement stratégique a été caractérisé de façon plus précise.

B. Étude 7 : Stratégies et tâches verbales : le cas de l'effet de concrétude

a) Expérience 7A

(1) Introduction

Cette étude portait sur les stratégies d'encodage en MLT verbale, dont on sait qu'elles peuvent être soit efficaces, soit peu efficaces. Toutes les stratégies efficaces (imagerie, regroupement ou génération de phrases) transforment l'information initiale en une information enrichie, la nouvelle représentation (l'image, la phrase ou le groupe) étant donc plus élaborée que le seul mot présenté. La lecture et l'auto-répétition sont quant à elles considérées comme des stratégies peu efficaces, qui n'enrichissent pas ou très peu l'information.

La thèse générale défendue dans ce travail de recherche suppose qu'un des facteurs expliquant la relation entre MDT et cognition de haut niveau serait les différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces. L'objectif de cette étude était de montrer que les participants avec une forte capacité de MDT ont une tendance générale à transformer l'information initiale en l'enrichissant ; c'est d'ailleurs ce que suggèrent les études montrant que ces participants utilisent fréquemment l'imagerie, le regroupement ou la génération de phrase (Bailey et al., 2008, 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Kaakinen & Hyönä, 2007). Cette tendance générale à enrichir l'information pourrait prendre la forme de l'une ou l'autre de ces stratégies en fonction de la situation et du type de tâche.

Un effet fréquemment observé sur les tâches de MLT verbale, l'effet de concrétude, pourrait permettre de tester cette hypothèse de tendance générale à l'enrichissement de l'information pour les participants avec une forte capacité de MDT. Cet effet met en évidence une supériorité mnésique pour les mots de type concret par rapport aux mots de type abstrait, que la méthode de rappel soit du rappel libre (Paivio, Walsh, & Bons, 1994) ou de la reconnaissance (Fliessbach, Weis, Klaver, Elger, & Weber, 2006). Pour expliquer cet effet, la théorie de double encodage (Paivio, 1971, 2007) propose que les mots concrets seraient représentés à la fois de façon verbale et de façon non verbale à travers les images mentales qu'ils évoquent. Cette double représentation serait à l'origine d'un encodage plus riche et donc de la meilleure performance de rappel associée à ce type de mot. Les mots abstraits, quant à eux, évoqueraient peu ou pas d'images mentales, et ne bénéficieraient donc pas de ce double encodage.

L'effet de concrétude reposerait donc sur une stratégie d'enrichissement de l'information grâce à ce double codage en mémoire. Si l'hypothèse selon laquelle les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à enrichir l'information d'une façon plus importante que les participants avec une faible capacité de MDT est correcte, alors ils devraient être d'autant meilleurs dans la reconnaissance des mots concrets que ces mots favorisent l'enrichissement par l'évocation d'images mentales. L'objectif principal de cette étude était de tester cette hypothèse en testant l'interaction entre capacité de MDT et effet de concrétude.

Un objectif supplémentaire était d'examiner la nature du processus de récupération en mémoire associé à la plus grande performance des participants avec une forte capacité de MDT pour la reconnaissance des mots concrets. On sait qu'il existe deux principaux processus de récupération en mémoire intervenant dans les tâches de reconnaissance, la familiarité et la recollection (Jacoby, 1991 ; Yonelinas, 2002). La familiarité est supposée rapide et

automatique, et correspond au sentiment que l'information a déjà été rencontrée précédemment. Au contraire, la recollection est un processus lent et contrôlé impliquant la récupération de détails associés à l'encodage de l'information.

La meilleure reconnaissance des mots concrets par rapport aux mots abstraits est associée à des différences sur le processus de recollection, mais pas de familiarité (Dewhurst & Conway, 1994 ; Peters & Daum, 2008). Par ailleurs, les participants avec une forte capacité de MDT ont tendance à être plus efficace dans le processus de recollection que ceux avec une faible capacité de MDT (Oberauer, 2005 ; Unsworth & Brewer, 2009 ; Unsworth & Engle, 2007a). On peut donc supposer que le processus de recollection sera plus efficace et contribuera donc à la meilleure reconnaissance des mots concrets pour les participants avec une forte capacité de MDT ; en revanche, il ne devrait pas exister de différences pour le processus de familiarité.

Un troisième objectif de cette étude était de manipuler directement le lien entre capacité de MDT et effet de concrétude. Parker et Dagnall (2009) ont utilisé un bruit visuel dynamique (une sorte de pattern noir et blanc évoluant au fil du temps) lors de l'encodage dans le but de perturber l'évocation des images associées aux mots concrets. Par comparaison avec un bruit visuel statique, le bruit visuel dynamique a diminué les performances de reconnaissance uniquement pour les mots concrets (supprimant ainsi l'effet de concrétude). De plus, les auteurs ont observé que le processus de recollection devenait moins efficace pour la reconnaissance des mots concrets. Une conséquence de cette étude est qu'il semble envisageable de manipuler la possibilité de réaliser une image mentale des mots concrets grâce à un bruit visuel dynamique. L'utilisation d'un bruit visuel dynamique dans notre étude devrait donc réduire le lien entre la capacité de MDT et l'effet de concrétude en « empêchant » les participants avec une forte capacité de MDT d'utiliser une stratégie d'enrichissement de l'information à l'encodage. En comparant cette situation avec une situation de bruit visuel statique, on devrait également observer une diminution de l'efficacité du processus de recollection qui serait plus importante pour les participants avec une forte capacité de MDT.

Avant d'appliquer la manipulation expérimentale de bruit visuel dynamique pour perturber la stratégie d'imagerie mentale, nous avons choisi de commencer par vérifier que nous obtenions bien une interaction entre la capacité de MDT d'une part, et l'effet de concrétude et le processus de recollection d'autre part. L'expérience 7A visait donc à observer ces deux interactions dans une condition de bruit visuel statique.

(2) Méthode

(a) Participants

Soixante-treize étudiants en licence de psychologie de l'Université de Grenoble ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 21.62$ ans, $ET = 4.69$ mois ; 60 femmes et 13 hommes). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. Nous n'avons inclus aucun participant dyslexique. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche de MLT verbale.

Dans cette tâche, les participants entendaient une liste de 40 mots qu'ils devaient mémoriser, puis reconnaître parmi des distracteurs. Pour chaque mot présenté au moment de la reconnaissance, les participants devaient décider s'ils avaient entendu le mot ou non. De plus, afin de tester l'implication des processus de recollection et de familiarité, les participants indiquant qu'ils reconnaissaient un mot devaient dire s'ils le savaient (réponse *Know*), s'ils s'en souvenaient (réponse *Remember*), ou s'ils devinaient (réponse *Guess*).

Une liste de 40 mots abstraits et une liste de 40 mots concrets issus de la base de données Lexique 3 (New et al., 2001) ont été utilisées dans cette tâche. Les deux premiers et les deux derniers mots de chaque liste ont été exclus des analyses pour éviter un effet de primauté ou un effet de récence. Comme il n'existe pas – à notre connaissance – de base de données de valeurs de concrétude pour des mots de la langue française, nous avons utilisé la valeur d'imagerie, pour laquelle nous disposons de bases de données (Desrochers & Bergeron, 2000). Cette valeur d'imagerie est fortement corrélée à la valeur de concrétude (Paivio, 1986).

Pour les deux listes de mots, la fréquence moyenne d'apparition du lemme dans la langue (entre 10 et 100 occurrences sur 1.000.000, valeurs extraites d'un corpus de sous-titres de films), le nombre moyen de lettres, le nombre moyen de syllabes et la fréquence subjective des mots de chaque liste étaient appariés. La liste de mots concrets avait une valeur moyenne d'imagerie de 6.80 ($ET = 0.05$) sur une échelle de Likert en 7 points, alors que la liste de mots abstraits avait une valeur moyenne de 2.58 ($ET = 0.22$), ces valeurs étant significativement différentes, $t(34) = 276.15$, $p < .001$, $\eta^2_p = .99$.

Chaque liste de 36 mots (abstraites et concrets) a été séparée en deux ; deux ensembles de 36 mots ont été réalisés à partir du croisement de ces moitiés de façon à créer deux listes de stimuli combinant mots concrets et mots abstraits. L'ordre de présentation des mots dans chacun de ces ensembles était pseudo-aléatoire.

Le paradigme RKG (*Remember, Know, Guess*), introduit par Tulving (1985), a été utilisé afin d'évaluer le processus de recollection. Pour chaque mot présenté lors de la phase de reconnaissance, la tâche des participants consistait à indiquer si oui ou non le mot avait été présenté

pendant la phase d'encodage. Lorsque les participants répondaient par l'affirmative, ils devaient alors choisir parmi trois options de réponse : « *je m'en souviens* » (pour *Remember*), dans le cas où « *vous avez des souvenirs de la présentation du mot et de ce qu'il a évoqué ou provoqué chez vous* », « *je le sais* » (pour *Know*), dans le cas où « *vous savez que ce mot était dans la liste, même si vous n'avez pas de souvenirs de la présentation du mot ou de ce qu'il a évoqué ou provoqué chez vous* », et « *il me semble* » (pour *Guess*), dans le cas où « *vous n'en êtes pas certain* ».

À partir de ces réponses, nous avons calculé les indices de familiarité et de recollection. De façon formelle, l'indice de recollection a été calculé à partir de la proportion de cibles auxquelles les participants avaient donné une réponse *Remember*, corrigée par la proportion de distracteurs auxquels ils avaient donné une réponse *Remember* erronée ; l'indice de familiarité a été calculé en rapportant la proportion de réponses *Know* données sur des cibles au nombre de réponses *Remember* données sur des cibles (pour les formules, voir Besson, Ceccaldi, & Barbeau, 2012 ; Yonelinas, Kroll, Dobbins, Lazzara, & Knight, 1998).

Pour chaque participant, nous avons également relevé le nombre de détections correctes de cibles et de fausses alarmes sur distracteurs, et calculé l'indice *d'* ou indice de discriminabilité (Stanislaw & Todorov, 1999), qui correspond au nombre de détections correctes rapporté au nombre de fausses alarmes. Enfin, nous avons enregistré les temps de réponse (en ms) associés aux décisions pour les mots abstraits et pour les mots concrets.

Tâche perturbatrice : Bruit visuel statique.

Le bruit visuel statique a été réalisé à partir des paramètres présentés dans l'étude de Quinn et McConnell (1996). Il s'agissait d'une grille de 120 lignes par 120 colonnes dont la moitié des cases était aléatoirement noircie, et l'autre moitié laissée blanche. La grille remplissait entièrement l'écran, et nous avons vérifié que le pattern ainsi créé n'évoquait aucune forme particulière (voir Figure 25).

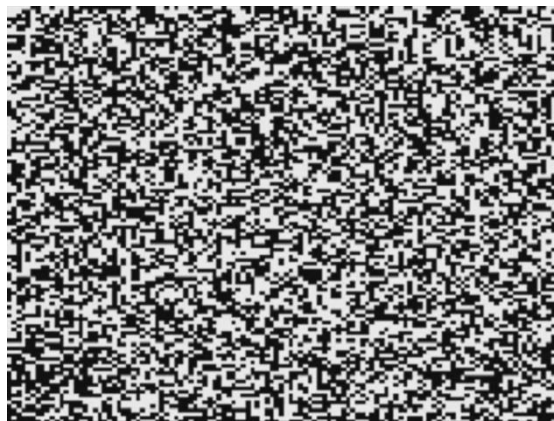


Figure 25. Bruit visuel statique.

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

Nous avons utilisé l'ECC, présenté en Annexe B (pp. 241 à 260), pour obtenir une mesure de la capacité de MDT.

(c) Procédure

Tous les participants ont réalisé l'expérience (d'une durée de 45 minutes) dans une salle de passation collective, en groupes allant de deux à cinq personnes. La première phase de l'expérience consistait à mémoriser un ensemble de 40 mots (dont les deux premiers et les deux derniers étaient exclus du reste de la procédure). L'ensemble de mots à mémoriser était tiré au hasard pour chaque participant parmi les deux ensembles possibles ; les mots de l'autre ensemble étaient utilisés comme distracteurs pendant la phase de reconnaissance. Les mots étaient présentés auditivement ; une voix synthétique féminine prononçait les mots à la vitesse de un mot toutes les deux secondes. Pendant la présentation auditive de ces mots, les participants avaient pour consigne de regarder le bruit visuel statique présenté à l'écran.

Après la phase d'encodage, les participants réalisaient cinq minutes de tâche interférente (rappeler sur une feuille de papier autant de nom de villes françaises que possibles), puis la phase de reconnaissance. Pendant la phase de reconnaissance, les participants devaient reconnaître les 36 mots-cibles parmi 36 distracteurs ; les cibles et les distracteurs étaient présentés dans un ordre pseudo-aléatoire. Une fois la tâche de reconnaissance terminée, les participants réalisaient l'ECC après une courte pause.

(3) Résultats

Toutes les analyses présentées ci-dessous ont été effectuées à l'aide du modèle linéaire général, avec comme variables dépendantes le nombre de détections correctes, le nombre de fausses alarmes, le temps de réponse, le paramètre de discriminabilité d' , et les indices de recollection et de familiarité. Ces analyses prenaient en compte la capacité de MDT comme variable continue et le type de mot (abstrait et concret) comme variable catégorielle inter-sujet. Trois participants ont été exclus des analyses car ils n'atteignaient pas le critère de performance minimum dans les phases de traitement de l'ECC.

Les données descriptives sont reportées dans le Tableau 12.

Analyses portant sur les détections correctes.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur le nombre de détections correctes, $F(1, 68) = 0.08$, $CME = 14.28$, $p = .773$, $\eta^2_p = .00$, ni d'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 68) = 0.01$, $CME = 4.18$, $p = .911$, $\eta^2_p = .00$. Les participants avec une forte capacité de MDT n'ont donc pas obtenu de meilleures performances de reconnaissance globale, et n'étaient pas plus performants pour reconnaître les mots abstraits que les mots concrets.

L'effet du type de mot était également non significatif, $F(1, 68) = 1.54$, $CME = 4.18$, $p = .219$, $\eta^2_p = .02$. Les mots concrets n'étaient donc pas mieux détectés que les mots abstraits.

Tableau 12

Statistiques descriptives pour toutes les variables dépendantes en fonction du type de mot

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.00	0.84	-1.42 – 1.5	-0.10	-1.09
Détections correctes de cibles					
Mots concrets	9.87	3.27	1 – 15	-0.51	-0.04
Mots abstraits	9.44	2.75	4 – 16	-0.15	-0.22
Fausses alarmes sur distracteurs					
Mots concrets	3.12	2.74	0 – 11	1.11	1.74
Mots abstraits	5.91	3.59	0 – 14	0.36	-0.82
d'					
Mots concrets	1.08	0.60	-0.18 – 2.35	0.22	-0.48
Mots abstraits	0.65	0.52	-0.31 – 2.05	0.32	-0.07
Temps de réponse					
Mots concrets	1821	616	1049 – 3748	1.38	2.70
Mots abstraits	1989	666	954 – 4241	1.58	3.71
Indice de recollection					
Mots concrets	0.12	0.09	-0.09 – 0.34	0.43	-0.01
Mots abstraits	0.09	0.08	-0.03 – 0.32	0.90	0.42
Indice de familiarité					
Mots concrets	0.08	0.07	0.00 – 0.28	1.06	0.99
Mots abstraits	0.09	0.06	0.00 – 0.26	0.68	-0.30

Analyses portant sur les fausses alarmes.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur le nombre de fausses alarmes, $F(1, 63) = 1.03$, $CME = 7.97$, $p = .313$, $\eta^2_p = .02$, et l'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot était également non significative, $F(1, 63) = 1.45$, $CME = 6.95$, $p = .233$, $\eta^2_p = .02$. Le nombre de fausses alarmes n'était donc globalement pas plus faible pour les participants avec une forte capacité de MDT ; ils ne faisaient pas non plus moins de fausses alarmes sur les distracteurs abstraits que concrets.

Nous avons cependant observé un effet principal du type de mot, $F(1, 63) = 36.83$, $CME = 6.95$, $p < .001$, $\eta^2_p = .37$, avec un nombre de fausses alarmes significativement supérieur pour les distracteurs abstraits par rapport aux distracteurs concrets (voir tableau 13). Les distracteurs concrets étaient donc mieux discriminés par rapport aux cibles que les distracteurs abstraits.

Analyses portant sur le d' .

L'absence d'interaction entre la capacité de MDT et l'effet de concrétude sur les détections correctes et les fausses alarmes pourrait être expliquée par le fait que les analyses sur ces deux variables ont été réalisées séparément. Nous avons donc calculé un indice de discriminabilité d' prenant en compte simultanément le nombre de détections correctes et de fausses alarmes.

Nous avons observé un effet de la capacité de MDT, $F(1, 66) = 5.17$, $CME = 0.31$, $p = .026$, $\eta^2_p = .07$, qualifiée par une corrélation négative et significative, $r = -.27$. Autrement dit, les participants à forte capacité de MDT tendaient à obtenir une performance de reconnaissance plus faible que les participants à faible capacité de MDT⁵. En revanche, nous n'avons pas observé d'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 66) = 1.12$, $CME = 0.27$, $p = .294$, $\eta^2_p = .02$.

Enfin, nous avons observé un effet du type de mot, $F(1, 66) = 24.83$, $CME = 0.27$, $p < .001$, $\eta^2_p = .27$, avec un indice de discriminabilité d' plus élevé pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir tableau 13).

Analyses portant sur le temps de réponse.

L'effet de la capacité de MDT n'était pas significatif, $F(1, 64) = 1.27$, $CME = 321101.80$, $p = .264$, $\eta^2_p = .02$, tout comme l'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 64) = 0.97$, $CME = 23889.17$, $p = .328$, $\eta^2_p = .01$. Le temps de réponse n'était donc pas plus rapide lorsque la capacité de MDT était élevée, et les participants avec une forte capacité de MDT ne répondaient pas plus rapidement pour les mots concrets que pour les mots abstraits.

⁵ La différence très importante entre le résultat des analyses portant sur les détections correctes et les fausses alarmes et l'analyse portant sur le d' est dû à la suppression de deux observations fortement déviantes, détectées par le D de Cook, dans l'analyse portant sur le d' .

Par ailleurs, l'effet du type de mot était significatif, $F(1, 64) = 33.27$, $CME = 23889.17$, $p < .001$, $\eta^2_p = .34$, avec un temps de réponse moyen plus rapide pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir tableau 13).

Analyses portant sur l'indice de recollection.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur l'efficacité du processus de recollection, $F(1, 66) = 0.10$, $CME = 0.01$, $p = .751$, $\eta^2_p = .00$, ni d'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 66) = 0.12$, $CME = 0.004$, $p = .725$, $\eta^2_p = .00$. Les participants avec une forte capacité de MDT n'avaient donc pas un processus de recollection plus efficace que ceux avec une faible capacité de MDT, et ce processus n'était pas d'autant plus efficace que les mots étaient concrets chez les participants avec une forte capacité de MDT.

En revanche, l'indice de recollection était plus élevé pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir tableau 13), $F(1, 66) = 9.60$, $CME = 0.004$, $p = .003$, $\eta^2_p = .13$; cela suggère que le processus de recollection était plus efficace dans la reconnaissance des mots concrets que dans la reconnaissance des mots abstraits.

Analyses portant sur l'indice de familiarité.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT, $F(1, 68) = 1.28$, $CME = 0.01$, $p = .262$, $\eta^2_p = .02$. L'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot n'était pas significative, $F(1, 68) = 1.99$, $CME = 0.003$, $p = .163$, $\eta^2_p = .03$.

Enfin, l'effet du type de mot n'était pas non plus significatif, $F(1, 68) = 1.28$, $CME = 0.003$, $p = .262$, $\eta^2_p = .02$.

(4) Discussion

L'objectif de cette expérience était de mettre en évidence une différence dans l'effet de concrétude en fonction de la capacité de MDT ; nous nous attendions également à ce que le processus de recollection associé à la reconnaissance des mots concrets soit plus efficace chez les participants avec une forte capacité de MDT.

Nous avons observé un effet du type de mot pour l'ensemble des indicateurs, sauf pour le nombre de détections correctes. Les participants faisaient en effet plus de fausses alarmes sur les mots abstraits, discriminaient mieux les cibles des distracteurs pour les mots concrets que pour les mots abstraits, étaient plus rapides pour reconnaître des mots concrets, et

présentaient plus de recollection pour ce type de mot. Les différents indicateurs cités ci-dessus montrent que globalement les mots concrets sont traités différemment des mots abstraits ; les cibles concrètes sont notamment mieux discriminées parmi les distracteurs. De plus, la reconnaissance des mots concrets était associée à une meilleure efficacité du processus de recollection mais pas à l'utilisation du processus de familiarité, ce qui est en accord avec les résultats observés par Parker et Dagnall (2009). Nous observons donc un effet de concrétude globalement cohérente avec la littérature.

Cependant, et quel que soit l'indicateur utilisé, la capacité de MDT ne modulait pas l'influence de la concrétude du mot sur la performance (détectations correctes, fausses alarmes, et paramètre de discriminabilité d' , ainsi que le temps de réponse). De plus, la capacité de MDT n'était pas en lien avec l'efficacité du processus de recollection, que ce soit globalement ou en interaction avec le type de mot. Nos résultats ne soutiennent donc pas l'idée d'une différence d'effet de concrétude en fonction de la capacité de MDT.

Nous avons cependant observé un effet de la capacité de MDT sur le paramètre de discriminabilité d' , dans le sens où plus la MDT était élevée, moins la valeur du d' était grande. Or, un d' élevé indique une bonne discrimination entre le signal et le bruit, et un d' qui tend vers 0 indique que le signal et le bruit sont confondus. Les résultats obtenus dans cette expérience indiquent donc qu'une forte capacité de MDT est liée à une moins bonne discrimination entre le signal et le bruit, ce qui est surprenant. Après avoir terminé l'expérience, plusieurs participants ont admis avoir mémorisé l'image du bruit visuel statique en anticipant une évaluation surprise ultérieure de cette image. Cela pourrait expliquer pourquoi nous ne retrouvons pas l'effet de la capacité de MDT sur la performance globale, et pourquoi une forte capacité de MDT était liée à une moins bonne discrimination entre le signal et le bruit. En effet, si les participants tentaient de se souvenir de l'image, ils étaient conceptuellement en situation de double tâche lors de l'encodage des mots, ce qui a pu créer un HFE. Nous avons donc reconduit cette expérience, mais cette fois-ci en supprimant le bruit visuel statique pour éviter tout effet de tâche interférente.

b) Expérience 7B

(1) Introduction

Nous avons réalisé la même expérience que précédemment, mais nous avons remplacé le bruit visuel statique par une simple croix de fixation pour éviter toute confusion de la part des participants. Nos hypothèses étaient les mêmes que dans l'Expérience 7A : nous nous

attendions à observer une interaction entre la capacité de MDT et l'effet de concrétude, les participants avec une forte capacité de MDT reconnaissant mieux les mots concrets. Comme dans l'expérience précédente, nous nous attendions également à ce que le processus de recollection soit plus efficace dans la reconnaissance des mots concrets pour les participants avec une forte capacité de MDT, mais pas pour ceux avec une faible capacité de MDT.

(2) Méthode

(a) Participants

Quatre-vingt-trois étudiants en licence de psychologie de l'Université de Grenoble ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 21.32$ ans, $ET = 2.41$ mois ; 74 femmes et neuf hommes). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. Nous n'avons inclus aucun participant dyslexique. Enfin, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel et procédure

L'ensemble du matériel et de la procédure étaient identiques à l'expérience 7A, avec une seule exception : le bruit visuel statique a été remplacé par une croix de fixation affichée pendant toute la durée de la phase d'encodage des mots.

(3) Résultats

Toutes les analyses présentées ci-dessous ont été effectuées à l'aide du modèle linéaire général, avec comme variables dépendantes le nombre de détections correctes, le nombre de fausses alarmes, le temps de réponse, le paramètre de discriminabilité d' , et l'indice de recollection. Ces analyses prenaient en compte la capacité de MDT comme variable continue et le type de mot (abstrait et concret) comme variable catégorielle inter-sujet. Quatre participants ont été exclus des analyses car ils n'atteignaient pas le critère de performance minimum dans les phases de traitement de l'ECC.

Les données descriptives sont reportées dans le Tableau 13.

Tableau 13

Statistiques descriptives pour toutes les variables dépendantes en fonction du type de mot

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	-0.25	0.82	-1.91 – 1.50	0.21	-0.60
Détectations correctes de cibles					
Mots concrets	10.82	3.03	3 – 16	-0.49	-0.18
Mots abstraits	10.90	3.55	1 – 16	-0.68	0.03
Fausses alarmes sur distracteurs					
Mots concrets	3.03	2.83	0 – 12	1.28	1.15
Mots abstraits	6.03	3.27	0 – 14	0.13	-0.56
<i>d'</i>					
Mots concrets	1.36	0.66	0.14 – 2.88	0.10	-0.63
Mots abstraits	0.79	0.52	-0.62 – 1.99	0.10	0.22
Temps de réponse					
Mots concrets	1604.88	308.67	1050 – 2426	0.42	-0.02
Mots abstraits	1865.04	450.35	977 – 3344	1.12	1.88
Indice de recollection					
Mots concrets	0.19	0.12	0 – 0.50	0.34	-0.63
Mots abstraits	0.11	0.08	-0.07 – 0.39	0.45	0.00

Analyses portant sur les détections correctes.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur le nombre de détections correctes, $F(1, 77) = 0.29$, $CME = 16.66$, $p = .591$, $\eta^2_p = .00$. L'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot était également non significative, $F(1, 77) = 0.21$, $CME = 5.32$, $p = .649$, $\eta^2_p = .00$. Les participants avec une forte capacité n'était donc pas meilleurs dans la tâche de reconnaissance, ni globalement, ni de façon dépendante du type de mot.

Nous n'avons pas non plus observé d'effet du type de mot, $F(1, 77) = 0.02$, $CME = 5.32$, $p = .004$, $\eta^2_p = .00$. Les mots concrets n'étaient donc pas mieux détectés que les mots abstraits.

Analyses portant sur les fausses alarmes.

L'effet de la capacité de MDT n'était pas significatif, $F(1, 76) = 0.02$, $CME = 14.32$, $p = .879$, $\eta^2_p < .001$, tout comme l'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 76) = 0.84$, $CME = 4.62$, $p = .361$, $\eta^2_p = .01$. Le nombre de fausses alarmes ne dépendait

donc pas de la capacité de MDT ; les participants avec une forte capacité de MDT ne faisaient pas non plus moins de fausses alarmes sur les distracteurs abstraits que concrets.

Cependant, l'effet du type de mot était significatif, $F(1, 76) = 73.62$, $CME = 4.62$, $p < .001$, $\eta^2_p = .49$, avec un nombre de fausses alarmes significativement supérieur pour les distracteurs abstraits par rapport aux distracteurs concrets (voir le Tableau 13). Les distracteurs concrets étaient donc mieux discriminés par rapport aux cibles que les distracteurs abstraits.

Analyses portant sur le d' .

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT, $F(1, 77) = 0.002$, $CME = 0.45$, $p = .965$, $\eta^2_p < .001$, ni d'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 77) = 0.778$, $CME = 0.25$, $p = .381$, $\eta^2_p = .01$.

Nous avons observé un effet du type de mot, $F(1, 77) = 51.72$, $CME = 0.25$, $p < .001$, $\eta^2_p = .40$, avec un indice de discriminabilité d' plus élevé pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir le Tableau 13).

Analyses portant sur les temps de réponse.

L'effet de la capacité de MDT était non significatif, $F(1, 74) = 1.51$, $CME = 241282.51$, $p = .222$, $\eta^2_p = .02$, tout comme l'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 74) = 0.20$, $CME = 55754.48$, $p = .655$, $\eta^2_p = .00$. Le temps de réponse n'était donc pas plus rapide lorsque la capacité de MDT était élevée, et les participants avec une forte capacité de MDT ne répondaient pas plus rapidement pour les mots concrets que pour les mots abstraits.

L'effet du type de mot était cependant significatif, $F(1, 74) = 39.11$, $CME = 55754.48$, $p < .001$, $\eta^2_p = .35$, avec un temps de réponse moyen plus rapide pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir le Tableau 13).

Analyses portant sur l'indice de recollection.

Nous n'avons pas observé d'effet de la capacité de MDT sur l'efficacité du processus de recollection, $F(1, 74) = 0.003$, $CME = 0.02$, $p = .957$, $\eta^2_p = .00$, ni d'interaction entre la capacité de MDT et le type de mot, $F(1, 74) = 0.10$, $CME = 0.01$, $p = .755$, $\eta^2_p = .00$. Les participants avec une forte capacité de MDT n'avaient donc pas un processus de recollection plus efficace que ceux avec une faible capacité de MDT, et ce processus n'était pas d'autant

plus efficace que les mots étaient concrets chez les participants avec une forte capacité de MDT.

Par ailleurs, l'indice de recollection était plus élevé pour les mots concrets que pour les mots abstraits (voir le Tableau 13), $F(1, 74) = 44.46$, $CME = 0.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = .36$. Cela suggère que le processus de recollection était plus efficace dans la reconnaissance des mots concrets que dans la reconnaissance des mots abstraits.

(4) Discussion

Dans cette expérience, nous avons évité tout phénomène de tâche interférente en remplaçant le bruit visuel statique par une croix de fixation. Globalement, nous avons reproduit les résultats observés dans l'étude de Parker et Dagnall (2009) ainsi que dans l'Expérience 7A, avec un effet de la concrétude des mots observé pour les fausses alarmes et le paramètre de discriminabilité d' , ainsi que pour les temps de réponse. Les mots concrets étaient également associés à plus de recollection, ce qui est cohérent avec la littérature (Dewhurst & Conway, 1994 ; Peters & Daum, 2008). Cependant, nous n'avons pas réussi à montrer que l'effet de concrétude interagissait avec la capacité de MDT, ni que le processus de recollection lié à la reconnaissance des mots concrets était plus efficace chez les participants avec une forte capacité de MDT par rapport à ceux avec une faible capacité de MDT.

Les résultats de cette expérience étaient identiques à ceux de l'Expérience 7A, à une exception près : l'effet de la capacité de MDT sur l'indice de discriminabilité d' a disparu. Il semble donc que la croix de fixation ait supprimé l'effet délétère de la mémorisation du pattern visuel statique sur la performance de reconnaissance. On peut supposer que les participants avec une forte capacité de MDT étaient ceux qui essayaient de retenir ce pattern (7A), et que cela ait réduit leur performance de reconnaissance.

2. Discussion générale de l'Étude 7

Dans cette étude, nous avons cherché à nous appuyer sur l'effet de concrétude pour mieux comprendre les stratégies d'encodage utilisées par les participants avec une forte capacité de MDT dans une tâche de MLT verbale. La tâche des participants était de mémoriser une liste de mots abstraits et concrets et de reconnaître ces mots parmi des distracteurs. Nous nous attendions à ce que les participants avec une forte capacité de MDT

reconnaissent mieux les mots concrets, et aient une recollection plus efficace pour ce type de mot.

Notre étude a permis de reproduire un certain nombre de résultats observés dans la littérature. Nous avons obtenu un effet de concrétude, matérialisé par une performance globalement meilleure pour les mots concrets ; cet effet est notamment apparu pour le nombre de fausses alarmes et les temps de réponse, plus élevés pour les mots abstraits, tout comme dans la littérature (Fliessbach et al., 2006 ; Peters & Daum, 2008 ; Roche, Tolan, & Tehan, 2011). Le seul indicateur qui n'était pas concerné par l'effet de concrétude était le nombre de détections correctes ; cependant, bien que certaines études montrent un effet de concrétude sur le nombre de détections correctes (Peters & Daum, 2008 ; Roche et al., 2011), certaines n'observent aucun effet de la concrétude sur cette variable (Fliessbach et al., 2006). Notre protocole expérimental a donc permis de mettre en évidence un effet de concrétude.

Cependant, nous n'avons observé aucune interaction entre l'effet de concrétude avec la capacité de MDT, et ce pour chacun des indicateurs de performance. Il semblerait donc que la supériorité mnésique des mots concrets liée à l'évocation des images mentales (Paivio, 1971, 2007) ne soit pas plus importante pour les participants avec une forte capacité de MDT.

Il existe plusieurs façons d'expliquer cette absence d'interaction entre capacité de MDT et concrétude. On pourrait supposer que les participants avec une forte capacité de MDT sont capables d'évoquer plus d'images mentales pour les mots abstraits, comme peut le laisser penser le fait qu'ils utilisent plus souvent des stratégies d'imagerie mentale (Dunlosky & Kane, 2007), ce qui pourrait diminuer l'effet de concrétude pour ces participants. Cependant, cette idée conduirait plutôt à faire l'hypothèse d'un plus grand effet de concrétude pour les participants avec une faible capacité de MDT, qui seraient moins à même d'évoquer des images mentales pour les mots abstraits ; or, les résultats ne soutiennent pas non plus cette hypothèse.

Une possibilité plus plausible est qu'à cause de leur valeur d'imaginabilité très élevée, et de l'effet de contraste induit par une présentation mélangée avec les mots abstraits, les mots concrets aient automatiquement généré des images mentales chez tous les participants. Cela reviendrait à dire qu'une stratégie d'enrichissement de l'information a été globalement favorisée par notre matériel, ce qui a conduit même les participants avec une faible capacité de MDT à mettre en place cette stratégie. L'absence de différences interindividuelles en fonction de la capacité de MDT sur l'effet de concrétude pourrait donc indiquer une réduction des différences interindividuelles dans l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces, dans le

sens où tous les participants ont utilisé les images mentales évoquée par les mots concrets pendant la phase d'encodage.

Cette interprétation pourrait permettre d'expliquer pourquoi nous n'avons pas retrouvé le lien entre capacité de MDT et recollection observé dans la littérature (Oberauer, 2005 ; Unsworth & Brewer, 2009 ; Unsworth & Engle, 2007a). Dans la mesure où l'efficacité du processus de recollection est liée à l'imaginabilité, on peut supposer que le lien avec la capacité de MDT observé dans la littérature est dû à l'utilisation d'une stratégie d'encodage fondée sur l'imagerie pour les participants à forte capacité de MDT. Si tous les participants ont encodé les mots concrets en utilisant les images mentales automatiquement induites par ces mots, alors même ceux avec une faible capacité de MDT ont été en mesure d'être efficaces dans leur utilisation du processus de recollection.

Cette hypothèse pourrait également permettre d'expliquer l'absence d'effet de la capacité de MDT sur la performance globale pour la plupart des indicateurs. Si les meilleures performances des participants avec une forte capacité de MDT sont liées à une utilisation plus fréquente des stratégies d'encodage efficaces, alors augmenter cette utilisation pour les participants avec une faible capacité de MDT devrait conduire tous les participants à de bonnes performances, quelle que soit leur capacité de MDT.

Enfin, nos résultats suggèrent également que le bruit visuel statique a pu être traité comme une sorte de tâche secondaire et perturbatrice. En effet, lorsqu'on compare la situation avec un bruit visuel statique présenté lors de l'encodage à la situation où une croix de fixation était présentée, on observe une disparition de l'interaction entre la capacité de MDT et le paramètre de discriminabilité d' . Autrement dit, les participants avec une forte capacité de MDT discriminaient plus mal le signal du bruit lorsque l'encodage avait lieu avec du bruit visuel statique par rapport à la croix de fixation. Ce résultat peut être expliqué par le fait que ces participants étaient peut-être ceux qui essayaient le plus fréquemment de retenir le pattern visuel utilisé comme bruit visuel statique, ce qui a pu diminuer la qualité de l'encodage. Une limite de cette explication est le fait que le nombre moyen de détections correctes ou de fausses alarmes était descriptivement similaire dans les deux expériences. Si le pattern du bruit visuel statique a effectivement eu un effet perturbateur, il semble donc que cet effet n'ait pas été suffisamment important pour diminuer les performances de reconnaissance.

En résumé, nous avons réussi à reproduire l'effet de concrétude dans cette étude, mais les données obtenues ne soutiennent pas notre hypothèse selon laquelle les participants avec une forte capacité de MDT ont une plus forte tendance à enrichir l'information. Il est toutefois possible que le choix du paradigme expérimental se soit avéré peu pertinent pour l'évaluation

de cette hypothèse : l'utilisation de stimuli concrets avec une valeur d'imagerie uniformément élevée a pu réduire les différences d'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT. Une situation expérimentale où les stratégies varieraient naturellement, c'est-à-dire une expérience utilisant un matériel plus diversifié, serait peut-être préférable pour l'étude du phénomène de concrétude en lien avec la capacité de MDT.

Conclusion du chapitre 7

Dans ce chapitre, nous avons cherché à utiliser une autre démarche que le report verbal afin d'examiner les différences d'utilisation de stratégies d'encodage en fonction de la capacité de MDT, pour les tâches de mémoire visuospatiale d'une part, et pour les tâches de mémoire verbale d'autre part.

En ce qui concerne les tâches visuospatiales, les résultats que nous avons observés ne permettent pas de soutenir notre hypothèse selon laquelle les participants avec une forte capacité de MDT utilisent plus systématiquement la stratégie de réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent. Nos résultats indiquent que tous les participants ont utilisé une stratégie de réduction de l'espace de travail, mais les participants avec une forte capacité de MDT ont tout de même obtenu une meilleure performance mnésique. Deux interprétations sont possibles : soit la plus grande performance des participants avec une forte capacité de MDT n'était pas due à une différence de comportement stratégique, soit une autre stratégie d'encodage des informations visuospatiale a joué un rôle dans la tâche. Approfondir cette direction de recherche nécessiterait la création d'un modèle intégratif de l'ensemble des stratégies d'encodage d'informations visuospatiales possible (comme cela a été fait pour les informations verbales), afin de tester rigoureusement ces stratégies en relation avec la capacité de MDT.

En ce qui concerne les tâches verbales, nous avons proposé l'hypothèse que le point commun entre toutes les stratégies considérées comme efficaces et utilisées par les participants avec une forte capacité de MDT reposait sur un enrichissement de l'information initiale. Bien que nous ayons reproduit l'effet de concrétude, cet effet n'interagissait pas avec la capacité de MDT. Cependant, il est possible que la force avec laquelle les mots concrets évoquaient des images mentales ait conduit tous les participants, même ceux avec une faible capacité de MDT, à utiliser ces images pour encoder les mots. Autrement dit, les variations de performance dues aux différences interindividuelles d'utilisation de stratégies d'encodage efficaces ont peut-être été réduites par notre matériel. Le test de notre hypothèse n'a donc

peut-être pas été effectué dans des conditions favorables, et nécessiterait d'utiliser un paradigme qui ne réduirait pas ces différences.

Dans l'ensemble, les résultats des études présentées dans ce chapitre n'ont pas permis de mettre en évidence un lien entre capacité de MDT, utilisation de stratégies efficaces, et performance en mémoire. Toutefois, les deux paradigmes utilisés souffraient du même problème : la nature des stratégies d'encodage pouvant déterminer la performance (Étude 6) ainsi que les conditions de mise en place de ces stratégies en fonction du matériel (Étude 7) ne sont pas connues avec précision. Étudier les stratégies à l'aide d'autres méthodes que le report verbal nécessiterait probablement une meilleure compréhension qualitative des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies.

Dans le Chapitre 8, le dernier de cette partie expérimentale, nous avons cherché à étudier le rôle médiateur des stratégies dans le lien entre capacité de MDT et performance sur une tâche d'intelligence fluide, dont le lien avec la MDT semble particulièrement stable et où l'existence de stratégies amélioratrices de la performance est bien caractérisée.

Chapitre 8 : Médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau

Étude 8

(1) Introduction

La position défendue dans ce travail de thèse considère l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau comme l'un des déterminants de la validité prédictive de la MDT sur la cognition de haut niveau. Une seule étude portant sur la performance de fluence catégorielle a directement examiné cette question (Schelble et al., 2012). Les auteurs ont montré qu'en contrôlant statistiquement la variance liée à l'utilisation de stratégies de récupération efficaces, le lien entre la capacité de MDT et la performance de fluence catégorielle disparaissait.

L'ensemble des études utilisant le HFE (ou le CUP) fournit également un argumentaire indirect en faveur de cette hypothèse. Par exemple, la réalisation d'une tâche secondaire pendant la fluence catégorielle réduit significativement le lien entre capacité de MDT et nombre d'exemplaires d'animaux récupérés (Rosen & Engle, 1997 ; Schelble et al., 2012), et une situation de pression réduit significativement le lien entre capacité de MDT et raisonnement mathématique (Beilock, 2008). Dans les deux cas, cette réduction de la relation est attribuée à une perturbation des stratégies efficaces.

L'objectif de cette dernière étude était de tester directement cette hypothèse de médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces. Nous nous sommes plus spécifiquement intéressés à une tâche d'intelligence fluide (*Gf*), car ce facteur présente une relation forte avec la MDT. La notion d'intelligence fluide peut être résumée comme représentant l'utilisation délibérée et contrôlée d'opérations mentales, dans le but de résoudre des problèmes nouveaux qui ne peuvent être appréhendés de façon automatique (McGrew, 2009). Selon cette définition, l'intelligence fluide fait donc partie de la cognition de haut niveau.

Kyllonen et Christal (1990) figurent parmi les premiers auteurs à avoir mis en évidence une corrélation entre la capacité de MDT et un facteur général d'intelligence fluide ($r = .80$) ; de nombreuses études ont ensuite répliqué ce résultat (Conway et al., 2002 ; Engle,

Tuholski, et al., 1999 ; Kane et al., 2004 ; Shipstead et al., 2014 ; Unsworth et al., 2014). La méta-analyse de Ackerman, Beier et Boyle (Ackerman et al., 2005) reporte une corrélation moyenne de .50 entre la MDT et l'intelligence fluide, calculée à partir d'un ensemble de 86 échantillons de données mettant en relation ces deux construits. Une ré-analyse ultérieure de ces données (Oberauer, Schulze, Wilhelm, & Süß, 2005) reporte même une corrélation supérieure et d'une valeur de .85, soit 72% de variance partagée entre ces deux construits. Ce lien important entre mémoire de travail et intelligence fluide en fait une situation favorable pour tester notre hypothèse de médiation par les stratégies.

La tâche des Matrices Avancées de Raven (Raven et al., 1998) est couramment utilisée pour évaluer l'intelligence fluide. Cette tâche consiste à compléter un pattern visuel à partir de la déduction d'un ensemble de règles ou de relations existant dans un ensemble de stimuli présentés. La relation observée de façon consistante entre les Matrices Avancées et la capacité de MDT varie typiquement entre .30 et .40 (Conway et al., 2002 ; Engle, Tuholski, et al., 1999 ; Kane et al., 2004 ; Shipstead et al., 2014 ; Unsworth & Engle, 2005), ce qui suggère une relation stable entre l'intelligence fluide mesurée avec les Matrices Avancées et la capacité de MDT.

Par ailleurs, certaines études montrent que les participants emploient deux stratégies distinctes pour résoudre les matrices de Raven : la correspondance constructive et l'élimination de réponses (Bethell-Fox et al., 1984 ; Vigneau et al., 2006). La première stratégie consiste à observer l'ensemble des stimuli présentés, se représenter ce que devrait être la réponse puis rechercher parmi les solutions proposées laquelle correspond à cette représentation. La seconde stratégie consiste à observer chaque solution proposée sans représentation a priori, à rechercher la solution qui pourrait correspondre au problème parmi les réponses proposées, ou à défaut à éliminer les solutions qui ne correspondent pas. De plus, la correspondance constructive constitue une stratégie plus efficace que l'élimination de réponses et donne lieu à une performance plus élevée sur la tâche (Vigneau et al., 2006). La tâche des matrices de Raven se prête donc particulièrement bien à l'étude du rôle des stratégies, puisqu'elle est associée à une stratégie efficace et à une stratégie moins efficace. D'après nos hypothèses, on peut supposer qu'une forte capacité de MDT devrait être associée à une utilisation plus importante de la stratégie efficace de correspondance constructive.

Une étude utilisant une analyse des mouvements oculaires des participants lors de la réalisation de cette tâche semble indiquer que les participants avec une forte capacité de MDT utilisent la correspondance constructive, tandis que ceux avec une faible capacité de MDT

utilisent l'élimination de réponses (Jarosz & Wiley, 2012). Il a par ailleurs été montré, dans le cadre d'un paradigme de CUP, qu'une situation de pression supprimait le lien entre capacité de MDT et performance dans les Matrices Avancées (Gimmig et al., 2006). Les résultats de ces deux études suggèrent donc d'une part que les participants avec une forte capacité de MDT utilisent la stratégie la plus efficace pour résoudre la tâche des Matrices Avancées ; cette utilisation différentielle de stratégie pourrait expliquer pourquoi ces participants obtiennent de meilleures performances dans cette tâche. D'autre part, il semblerait que ces différences interindividuelles d'utilisation de stratégie puissent expliquer le lien existant entre MDT et cognition de haut niveau.

Cependant, ces deux études (Jarosz & Wiley, 2012) fournissent uniquement des arguments indirects en faveur de cette hypothèse de médiation. Jarosz et Wiley (2012) infèrent l'utilisation de stratégies à partir des mouvements oculaires, ce qui n'est pas une évaluation directe, et Gimmig et al. (2006) supposent que le CUP a perturbé l'utilisation de stratégies, mais n'ont pas mesuré ces stratégies. L'objectif de cette étude était donc de tester directement cette hypothèse de médiation de la relation entre MDT et performance sur les Matrices Avancées par l'utilisation des stratégies de correspondance constructive et d'élimination de réponses, en utilisant une mesure directe de l'utilisation de stratégies. Nous supposons que la correspondance constructive sera préférentiellement utilisée par les participants avec une forte capacité de MDT, et l'élimination de réponses par les participants avec une faible capacité de MDT.

(2) Méthode

(a) Participants

Quarante-huit étudiants en licence de psychologie de l'Université de Savoie ont participé à cette expérience en échange de bons d'expérience valables dans certains enseignements de psychologie ($M_{\text{âge}} = 20.50$ ans, $ET = 1.70$ mois ; 40 femmes et huit hommes). Tous les participants étaient de langue maternelle française, avaient une vision normale ou corrigée, et aucun d'entre eux n'était sous traitement psychotrope. Nous n'avons inclus aucun participant dyslexique. De plus, chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant le début de l'expérience.

(b) Matériel

Tâche d'intelligence fluide : Matrices Avancées de Raven.

Nous avons utilisé les 18 essais impairs de l'ensemble II des Matrices Avancées de Raven (Raven et al., 1998). Cette façon d'abrégé la tâche en sélectionnant la moitié des essais a déjà été effectuée dans des études précédentes (voir par exemple Unsworth, Redick, Lakey, & Young, 2010). Nous avons également utilisé les trois premiers essais de l'ensemble I comme essais de familiarisation. Pour chaque participant, nous avons relevé le nombre de réponses correctes sur les 18 essais.

Questionnaire d'utilisation des stratégies de correspondance constructive et d'élimination de réponses.

Afin d'évaluer le type de stratégie utilisé par les participants dans la tâche des Matrices Avancées, nous avons construit un questionnaire sur la base des définitions de la correspondance constructive et de l'élimination de réponses (voir par exemple Bethell-Fox et al., 1984). Ce questionnaire comprenait huit questions, dont deux portant sur l'utilisation de la correspondance constructive, deux sur l'utilisation de l'élimination de réponses, ainsi que quatre questions de remplissage (voir Annexe F). Les participants répondaient sur une échelle de type Likert en neuf points, allant de « *pas du tout* » à « *complètement* ».

Pour chaque participant, nous avons moyenné les réponses de chacune des deux questions de stratégies, ce qui aboutissait à un score de correspondance constructive et un score d'élimination de réponses. Afin de disposer d'une seule variable médiatrice pour pouvoir réaliser un test de Sobel (Sobel, 1982) de façon à tester une médiation, nous avons également construit un score composite d'utilisation de stratégies efficaces. Ce score d'utilisation de stratégies efficaces correspondait au score de correspondance constructive moins le score d'élimination de réponses. Plus ce score était élevé, plus les participants avaient utilisé la stratégie efficace par rapport à la stratégie non efficace.

Tâche de MDT : Empan Complexe Composite.

Nous avons utilisé l'ECC, présenté en Annexe B (pp. 241 à 260), pour obtenir une mesure de la capacité de MDT.

(c) Procédure

Tous les participants ont réalisé l'expérience (d'une durée de 50 minutes) de façon individuelle. Ils commençaient par réaliser les Matrices Avancées. Après la présentation de la tâche, les participants réalisaient les trois premiers essais de l'ensemble I afin de se familiariser avec la tâche ; nous pouvions ainsi vérifier que la tâche était correctement comprise. Les participants réalisaient ensuite les 18 essais impairs de l'ensemble II, et ce sans limite de temps. Une fois ces 18 essais complétés, les participants étaient invités à répondre au questionnaire de stratégies. Après quelques secondes de pause à la fin de cette première partie, les participants réalisaient l'ECC.

(3) Résultats

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant le modèle linéaire général. La capacité de MDT a été considérée comme une variable continue. Les statistiques descriptives pour toutes les variables sont disponibles dans le Tableau 14.

Tableau 14

Statistiques descriptives pour le score de MDT, le score de correspondance constructive et d'élimination de réponses, et le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées

Variable	Moyenne	Ecart-type	Etendue	Asymétrie	Aplatissement
Capacité de MDT	0.13	0.75	-1.54 – 1.41	-0.29	-0.66
Correspondance constructive	7.47	1.50	3.5 – 9	-0.76	-0.34
Élimination de réponse	4.74	1.91	1 – 9	-0.28	-0.35
Score composite	2.73	2.82	-3 – 8	0.16	-0.75
Score de Matrices Avancées	10.17	3.75	1–17	-0.41	-0.28

Analyse préliminaire : consistance interne des questions de stratégies.

Le questionnaire comportait deux questions pour chacune des deux stratégies possibles (correspondance constructive et élimination de réponses). Nous avons évalué la fidélité des réponses des participants en calculant la corrélation entre les deux questions pour chaque stratégie. Pour les deux questions portant sur la stratégie de correspondance constructive, la corrélation était de $r(45) = .68, p < .001$. Cette valeur était proche d'un seuil acceptable de .70 de fidélité. En revanche, pour les deux questions portant sur la stratégie d'élimination de réponses, la corrélation était de $r(46) = .26, p = .078$. Cette valeur étant très faible, les

résultats impliquant le score moyen d'élimination de réponses ainsi que le score composite nécessiteront d'être interprétés avec prudence.

Médiation du lien entre capacité de MDT et performance dans les Matrices Avancées par l'utilisation de stratégies efficaces.

1) *Capacité de MDT et performance dans les Matrices Avancées.* Nous avons observé une corrélation positive entre la capacité de MDT et le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées, $r(44) = .46, p = .009$; la performance dans la tâche d'intelligence fluide augmentait donc avec la capacité de MDT.

2) *Capacité de MDT et utilisation de stratégies.* Nous avons observé une corrélation positive entre la capacité de MDT et le score de correspondance constructive, $r(45) = .41, p = .005$, ce qui signifiait que l'utilisation de la stratégie de correspondance constructive était plus importante lorsque la capacité de MDT augmentait. En revanche, nous n'avons pas observé de corrélation entre la capacité de MDT et le score d'élimination de réponses, $r(46) = -.19, p = .205$. Enfin, la capacité de MDT corrélait positivement avec le score composite d'utilisation de stratégies efficaces, $r(45) = .32, p = .029$. Une forte capacité de MDT était donc associée à une plus forte tendance à utiliser spécifiquement une stratégie efficace.

3) *Comportement stratégique et performance dans les Matrices Avancées.* Nous avons observé une corrélation positive entre le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées et le score de correspondance constructive, $r(45) = .67, p < .001$, ce qui signifiait que plus les participants reportaient utiliser la correspondance constructive, plus leur score d'intelligence fluide était élevé. Nous avons également observé une corrélation négative entre le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées et le score d'élimination de réponses, $r(46) = -.33, p = .023$, indiquant qu'une tendance à utiliser une stratégie peu efficace conduisait à une performance plus faible sur la tâche. Enfin, le score composite d'utilisation de stratégies efficaces corrélait positivement avec le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées, $r(45) = .57, p < .001$, indiquant qu'une tendance à utiliser une stratégie efficace de façon spécifique était associée à une meilleure performance sur la tâche.

4) *Analyse de médiation.* La dernière étape de l'analyse consistait à tester la médiation du lien entre capacité de MDT et score dans les Matrices Avancées par l'utilisation de stratégies. Une première série d'analyses a utilisé le score composite d'utilisation de stratégies efficaces comme variable médiatrice. Le test de Sobel (réalisé à l'aide du programme mis à

disposition par Soper, 2014) était significatif, $t = 2.06, p = .039$, indiquant que la relation entre la capacité de MDT et le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées était médiatisée par le score d'utilisation de stratégies efficaces. En contrôlant pour le score composite d'utilisation de stratégies efficaces dans le cadre d'une régression multiple, la capacité de MDT était cependant toujours prédictive de la performance sur les Matrices Avancées, $r = .31, p = .016$, indiquant qu'il s'agissait d'une médiation partielle.

Au vu de la faible fidélité du score global d'élimination de réponses, nous avons choisi de mener une seconde série d'analyses utilisant le score global de correspondance constructive comme variable médiatrice au lieu du score composite d'utilisation de stratégies efficaces. Les résultats étaient très similaires pour cette analyse. Le test de Sobel était significatif, $t = 2.63, p = .008$, indiquant une médiation du lien entre capacité de MDT et score sur les Matrices Avancées par l'utilisation de la stratégie de correspondance constructive. En contrôlant pour le score composite d'utilisation de stratégies efficaces dans le cadre d'une régression multiple, la capacité de MDT était toujours prédictive de la performance sur les Matrices Avancées, $r = .26, p = .032$, indiquant une médiation partielle. Ces résultats sont résumés dans la Figure 26.

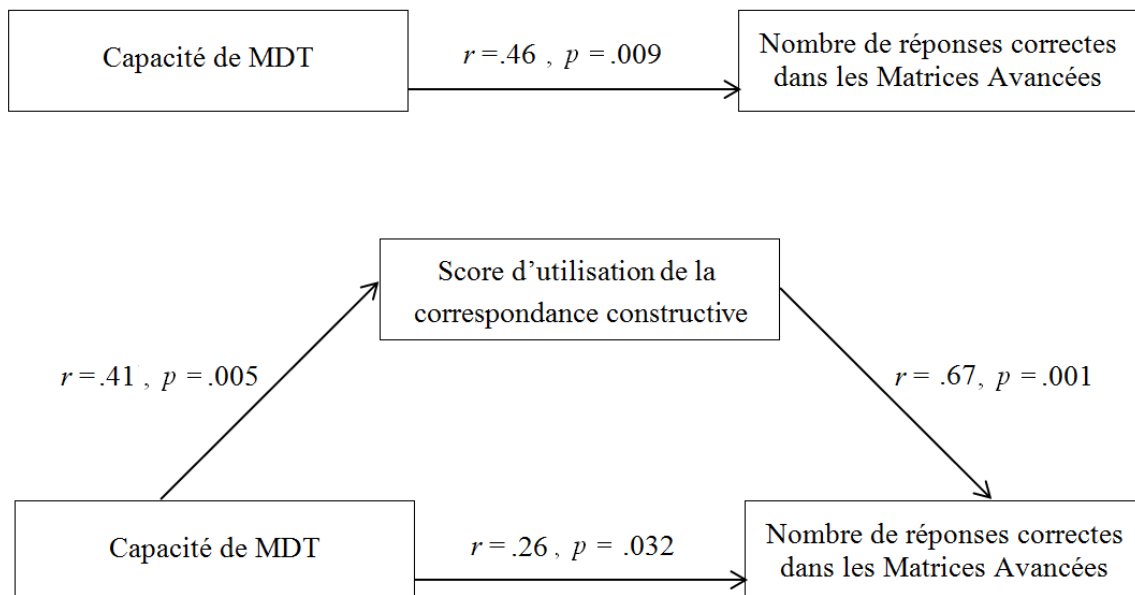


Figure 26. Médiation du lien entre la capacité de MDT et le nombre de réponses correctes dans les Matrices Avancées par le score de correspondance constructive.

(4) Discussion

L'objectif de cette étude était d'une part de mettre en évidence un lien entre la capacité de MDT et l'utilisation de stratégies efficaces dans une tâche d'intelligence fluide, les Matrices Avancées de Raven, et d'autre part de tester l'hypothèse d'une médiation du lien entre capacité de MDT et performance sur les Matrices Avancées par l'utilisation de stratégies efficaces.

En premier lieu, nous avons réussi à reproduire le lien classique entre la capacité de MDT et l'intelligence fluide. Nous avons également mis en évidence une différence d'efficacité entre la stratégie de correspondance constructive et d'élimination de réponses, en accord avec la littérature (Bethell-Fox et al., 1984 ; Vigneau et al., 2006). La stratégie de correspondance constructive semblait la plus efficace, puisque les participants qui l'utilisaient de façon importante obtenaient une meilleure performance globale dans la tâche des Matrices Avancées par rapport aux participants qui reportaient l'utiliser de façon peu extensive. À l'inverse, la stratégie d'élimination de réponses était liée à une performance plus faible.

En ce qui concerne notre premier objectif, les résultats obtenus dans cette étude ont montré que la capacité de MDT était positivement corrélée avec l'utilisation de la stratégie efficace de correspondance constructive, mais ne prédisait pas l'utilisation de la stratégie d'élimination de réponses. Cela signifie que les participants avec une forte capacité de MDT avaient plutôt tendance à utiliser une stratégie de résolution efficace dans la tâche des Matrices Avancées, mais que tous les participants utilisaient la stratégie peu efficace d'élimination de réponses de façon équivalente. Il semble donc que les participants à forte capacité de MDT se distinguent non par l'utilisation d'une stratégie différente, mais par l'utilisation d'une stratégie supplémentaire.

Quant à notre second objectif, qui représentait un test direct de la position soutenue dans ce travail de recherche, nous avons effectivement mis en évidence un rôle médiateur de l'utilisation de stratégies efficaces dans la relation observée entre la MDT et la cognition de haut niveau. Cela signifie que l'utilisation de stratégies efficaces expliquait une partie de la variance commune entre la MDT et la cognition de haut niveau. Plus précisément, nous avons observé une médiation partielle de la corrélation entre capacité de MDT et intelligence fluide par le comportement stratégique, cette corrélation étant toujours significative en contrôlant statistiquement pour l'utilisation de stratégies efficaces. Les participants avec une forte capacité de MDT utiliseraient donc plus de stratégies leur permettant d'obtenir une bonne

performance dans les tâches de cognition de haut niveau, mais d'autres facteurs interviendraient pour expliquer la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons supposé que la mise en place de stratégies efficaces était liée au contrôle attentionnel. Nous pouvons supposer que l'utilisation de la stratégie de correspondance constructive est liée à l'efficacité du contrôle attentionnel car son utilisation repose de façon importante sur la gestion de la mémoire primaire (Bethell-Fox et al., 1984), et nous savons que cette gestion passe par le contrôle attentionnel (Unsworth & Engle, 2007a) ; à l'inverse, la stratégie d'élimination de réponses n'a pas de raison théorique d'être liée au contrôle attentionnel. Nos résultats sont donc globalement congruents avec l'idée que la plus grande efficacité des participants avec une forte capacité de MDT sur les tâches de cognition de haut niveau passe par leur utilisation de stratégies efficaces du fait de leur contrôle attentionnel efficace. Un modèle explicatif développant cette idée sera présenté dans la discussion générale.

Ces résultats sont prometteurs, mais ils sont cependant à considérer avec précaution étant donné le faible nombre d'observations par rapport aux objectifs de l'étude. De plus, le questionnaire de stratégies avait un caractère exploratoire, et n'a pas été validé en amont de l'étude. Nous avons vu que les deux questions d'élimination de la réponse étaient faiblement consistantes, tandis que les deux questions de correspondance constructive semblaient mieux mesurer le construit sous-jacent. Si l'on analyse en détail les deux questions évaluant la stratégie d'élimination de réponses, on peut remarquer que la première « *Après avoir examiné le dessin, vous éliminez les réponses possibles qui ne correspondaient pas jusqu'à n'en garder qu'une* » reprend directement les termes de la définition de cette stratégie, tandis que la seconde « *vous examiniez successivement chacune des réponses possibles pour savoir si elle allait à la place de la pièce manquante* » n'implique pas de notion d'élimination. Il est possible que cette différence ait conduit les deux questions à être considérées différemment par les participants. Une solution possible à ce problème serait de construire un questionnaire plus développé, afin de mesurer les deux stratégies par un plus grand nombre de questions. Il est également possible qu'une seule question, qui reprendrait les termes exacts de la définition de chaque stratégie, soit suffisante pour évaluer dans quelle mesure les participants utilisaient une stratégie. Dans tous les cas, un test consistant de notre hypothèse nécessiterait de retravailler le questionnaire et de mesurer sa validité convergente avec, par exemple, une mesure des mouvements oculaires (Vigneau et al., 2006).

Le format de notre questionnaire de stratégies soulève également la question de la validité d'un report global de stratégies en fin de tâche dans le cadre de la cognition de haut niveau. Au vu de la longueur et de la complexité de la tâche des Matrices Avancées, on pourrait en effet se demander si un unique report global en fin de tâche ne risque pas de manquer de sensibilité et de provoquer un effet de « *tout ou rien* », en réduisant artificiellement la variété des comportements stratégiques évalués. Nous pensons cependant que l'utilisation d'une échelle de réponse en neuf points, associé au fait qu'il n'y a que deux stratégies possibles (ou du moins deux stratégies identifiées) dans la tâche, permet de limiter ce problème. En effet, l'association de deux stratégies mesurées par une échelle ordinale au sein du questionnaire peut permettre de détecter même des effets relativement fins. Par exemple, dans leur étude, Bethell-Fox et al. (1984) observent que les participants ayant obtenu une faible performance dans leur tâche d'intelligence fluide sont ceux qui passent de la stratégie de correspondance constructive à la stratégie d'élimination de la réponse lorsque les essais deviennent trop difficiles. Dans le questionnaire que nous avons proposé, un tel changement serait détectable puisque que le participant ayant effectué ce changement stratégique obtiendrait un score composite d'utilisation de stratégies efficaces plus faible.

En résumé, notre étude fournit un premier argument direct qui défend notre hypothèse selon laquelle la relation entre MDT et cognition de haut niveau pourrait être expliquée, du moins en partie, par l'utilisation de stratégies efficaces en cognition de haut niveau reposant sur un contrôle attentionnel efficace. Une extension de cette étude, avec un nombre de participants plus important, serait nécessaire pour consolider cette interprétation. Dans une étude ultérieure, nous proposons d'étudier le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau dans le cadre d'un paradigme de HFE, afin de mesurer l'impact de la double tâche sur les reports de stratégies et de mettre en évidence une diminution du lien entre MDT et cognition de haut niveau lorsque les stratégies sont perturbées. Une mesure des mouvements oculaires apporterait également une seconde opérationnalisation de l'utilisation de stratégies efficaces, et viendrait appuyer les observations faites à partir des reports verbaux.

Discussion générale

Chapitre 9 : Discussion

Ce travail de recherche avait pour ligne conductrice l'examen du lien entre capacité de MDT et comportement stratégique dans des tâches de cognition de haut niveau. Notre objectif était de tester l'hypothèse selon laquelle les participants avec une forte capacité de MDT utilisent plus de stratégies efficaces, expliquant au moins en partie le lien observé entre la MDT et la cognition de haut niveau.

Après un bref rappel du contexte théorique, nous effectuerons une synthèse des résultats obtenus dans ce travail de recherche. Nous proposerons ensuite une réflexion autour d'une modélisation intégrative du comportement stratégique et de ses liens avec la cognition de haut niveau, ainsi qu'autour des implications de nos résultats par rapport à la littérature. Nous discuterons des principales limites soulevées par ce travail, et enfin nous évoquerons quelles seraient les pistes à développer dans de futurs travaux.

A. Résumé du contexte théorique de ce travail de recherche

Bien que liée à de meilleures performances, l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces dans les empans complexes mesurant la capacité de MDT ne permet pas d'expliquer le lien qui existe entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Engle et al., 1992). Pour certains auteurs (Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003), l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces apporterait même du bruit dans la mesure de la capacité de MDT par les empans complexes, et masquerait la « vraie » relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Cependant, il a également été montré que l'utilisation de stratégies efficaces dans des tâches de cognition de haut niveau peut médiatiser (au moins en partie) le lien entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau. Par exemple, l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces médiatise le lien entre la capacité de MDT et la MLT (Unsworth & Spillers, 2010a), l'utilisation de stratégies de récupération efficaces médiatise le lien entre la capacité de MDT et la performance de fluence catégorielle (Rosen & Engle, 1997; Schelble et al., 2012 ; Unsworth et al., 2013), et l'utilisation de stratégies de raisonnement efficaces médiatise le lien entre la capacité de MDT et la performance dans une tâche de raisonnement (Beilock & DeCaro, 2007).

Pour résoudre cette incohérence, nous avons proposé que la capacité de MDT est liée à la mise en place de stratégies efficaces, mais que seules les stratégies utilisées dans les tâches de cognition de haut niveau constituent un déterminant de la valeur prédictive de la MDT. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous avons donc cherché à tester l'hypothèse selon laquelle le comportement stratégique dans une tâche de cognition de haut niveau est lié à la capacité de MDT et constitue un médiateur du lien entre MDT et cognition de haut niveau.

B. Vue d'ensemble des résultats

Au cours de ce travail de recherche, nous nous sommes largement appuyés sur le *Hard Fall Effect* pour étudier l'influence de l'utilisation de stratégies efficaces dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau. En effet, le HFE est supposé apparaître uniquement dans le cas où l'utilisation de stratégies efficaces a une influence sur la performance et où ces stratégies efficaces sont en lien avec la capacité de MDT. Ce paradigme constitue donc un outil pertinent pour étudier le rôle médiateur des stratégies.

Dans le Chapitre 4, nous avons montré que le HFE pouvait être observé dans une tâche de mémoire visuospatiale, la LSC. Les participants avec une forte capacité de MDT étaient les plus perturbés par la double tâche, ce qui soutient l'idée que ces participants utilisent des stratégies plus efficaces en situation de simple tâche. Par ailleurs, l'utilisation conjointe d'une contrainte temporelle destinée à limiter la possibilité d'utiliser des stratégies efficaces a fait disparaître le HFE, ce qui soutient l'interprétation que nous avons faite de cet effet en tant que reflet du comportement stratégique des participants. De plus, lorsqu'on limitait la possibilité d'utiliser des stratégies efficaces, la relation entre la capacité de MDT et la performance de mémoire visuospatiale était supprimée. Cela indiquerait donc que le comportement stratégique intervient dans la relation entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau, évaluée ici à travers la tâche de localisation spatiale de couleurs.

Le Chapitre 5 avait pour objectif principal de spécifier les contraintes d'apparition du HFE dans la tâche de LSC. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés au moment critique pendant lequel interviennent les stratégies impliquées dans le HFE, à savoir l'encodage ou la récupération. Les résultats obtenus dans l'Étude 2 ont montré que seule la perturbation à l'encodage affectait spécifiquement l'utilisation de stratégies, un effet que nous avons observé aussi bien au niveau de la distribution des stratégies reportées par les participants qu'au niveau de la performance sur la tâche de LSC. Ces résultats suggèrent que les stratégies d'encodage sont les plus déterminantes dans le HFE. Nous avons également

interrogé la notion de complexité de la tâche dans laquelle le HFE était étudié (Étude 3). La tâche de LSC correspond à une combinaison de plusieurs fonctions élémentaires, dont la mémorisation de localisations spatiales et le *binding* ; nous avons donc cherché à spécifier si la perturbation des stratégies induite par le HFE dans la tâche de LSC était spécifique à la complexité induite par la combinaison de ces deux processus élémentaires, ou si cette perturbation pouvait s'observer pour chacun de ces processus lorsqu'ils étaient étudiés séparément. Aucun HFE n'est apparu dans les deux situations impliquant uniquement des processus élémentaires, ce qui pourrait indiquer que la plus faible complexité de ces situations permet à tous les participants de mettre en place des stratégies efficaces. Les résultats de l'Étude 3 suggèrent que les différences d'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT émergent avant tout dans les tâches particulièrement complexes, de façon congruente avec les travaux antérieurs. Ces résultats soutiennent également l'idée que la relation entre capacité de MDT et utilisation de stratégies efficaces est à mettre en lien avec l'efficacité du contrôle attentionnel, qui serait uniquement nécessaire pour implémenter des stratégies sur des tâches suffisamment complexes.

Dans le Chapitre 6, nous avons tenté de généraliser le HFE à d'autres paradigmes expérimentaux que la LSC. D'une part, nous avons tenté de montrer la similarité des paradigmes de CUP et de HFE dans une tâche d'arithmétique modulaire (Étude 4). D'autre part, nous avons supposé que l'effet d'indilage d'une partie de liste pouvait être considéré comme une sorte de HFE (Étude 5), dans lequel les indices joueraient le même rôle perturbateur de l'utilisation de stratégies efficaces que la double tâche. Aucun HFE n'a été mis en évidence dans ces deux études, et l'utilisation de stratégies efficaces n'était pas liée à la capacité de MDT. Cependant, nous avons observé une faible variabilité dans l'utilisation des stratégies dans l'Étude 3, et la capacité de MDT n'était liée à la performance que dans une expérience sur trois dans l'Étude 4. Ces éléments pourraient contribuer à expliquer l'absence de HFE : en l'absence de variabilité dans l'utilisation de stratégies efficaces et de lien entre capacité de MDT et performance, les conditions nécessaires à l'apparition du HFE n'étaient pas remplies. La faible difficulté des tâches perturbatrices utilisées pourrait également expliquer cette absence de résultats : ni la poursuite de cible utilisée dans l'Étude 4, ni la répétition à voix haute utilisée dans l'Étude 5 n'avaient d'influence sur la performance. Les deux études présentées dans ce chapitre ne constituaient donc pas un test critique de notre hypothèse.

L'objectif poursuivi dans le Chapitre 7 était de se détacher de la méthode des reports verbaux, utilisée dans les études précédentes (études 2, 4 et 5), afin de rechercher des

différences interindividuelles d'utilisation de stratégies qui pourraient ne pas être verbalisables ni conscientes. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur l'analyse des patterns de réponse censés refléter l'utilisation d'une réduction de l'espace de travail mental au sous-espace pertinent d'une part (Étude 6), et l'enrichissement de l'information verbale dans l'effet de concrétude d'autre part (Étude 7). Dans ces deux études, la capacité de MDT était liée à la performance, et nous avons réussi à reproduire l'effet de la taille du sous-espace pertinent et l'effet de concrétude observés dans la littérature. Cependant, la méthode d'analyse des patterns de réponses n'a pas mis en évidence de différences interindividuelles d'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT. Cela peut suggérer soit qu'il n'y a pas de différences interindividuelles de comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT dans ces deux tâches, soit que nous n'avons pas réussi à opérationnaliser correctement la notion de stratégie efficace dans ces deux tâches. Comme nous ne disposions pas de modèle précis de la nature des stratégies impliquées (Étude 6), ni de modèle des conditions d'émergence de ces stratégies (Étude 7), il est difficile de trancher entre ces deux possibilités.

Enfin, le Chapitre 8 constituait un test direct de notre hypothèse selon laquelle l'utilisation de stratégies efficaces dans les tâches de cognition de haut niveau médiatise le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau. Nous avons montré que lorsqu'on contrôle pour l'utilisation de stratégies efficaces dans la tâche des Matrices Avancées, la relation entre la capacité de MDT et la performance diminue, à l'appui de notre hypothèse. Ce résultat semble relativement robuste, même s'il gagnerait à être répliqué sur un échantillon plus important.

Pour conclure, on peut donc dire qu'il existe des différences de comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT (études 1 et 8) ; une forte capacité de MDT semble plus particulièrement liée à l'utilisation de stratégies efficaces (Étude 8). Ces différences interindividuelles sont observées dans des tâches de mémoire (Étude 1) aussi bien que dans des tâches d'intelligence fluide (Étude 8). De plus, ces différences semblent médiatiser le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau, que l'on teste cette hypothèse de médiation en contraignant l'utilisation de stratégies (HFE observé dans l'Étude 1), ou grâce à un test statistique direct de médiation (Étude 8).

En parallèle, il est parfois difficile de bien caractériser la nature des stratégies en jeu dans les tâches de cognition de haut niveau ; cette difficulté nous a empêchés de généraliser nos résultats à d'autres paradigmes où le comportement stratégique est plus mal connu (Chapitre 7). Par ailleurs, le paradigme de HFE implique une perturbation de l'utilisation de

stratégies efficaces avec une situation de double tâche, mais il semble difficile de construire des tâches perturbatrices qui soient suffisamment complexes pour perturber l'utilisation de stratégies efficaces tout en utilisant un type de matériel différent de la tâche d'intérêt afin de ne pas provoquer de perturbation spécifique (Chapitre 6).

Pour terminer, il est important de souligner qu'il peut y avoir un effet de la capacité de MDT en l'absence de différences de comportement stratégique identifiables (Chapitre 6), ce qui implique que d'autres facteurs que les stratégies sont en jeu dans le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau.

C. Modélisations du comportement stratégique et de ses liens avec la cognition de haut niveau

La littérature portant sur le comportement stratégique en lien avec la capacité de MDT est actuellement morcelée. Ce travail de recherche a tenté de réunir les différents travaux sur le domaine afin d'en obtenir une vision plus unifiée. Nous allons maintenant présenter trois modélisations successives des liens qui peuvent exister entre l'ensemble des variables évoquées dans ce travail, à savoir la capacité de MDT, le comportement stratégique dans des tâches de mémoire ainsi que dans d'autres tâches de cognition de haut niveau, et enfin la performance dans des tâches de cognition de haut niveau. Chacun des trois modèles proposés représente une tentative d'appréhender l'ensemble des variables dont nous disposons au sein d'une représentation cohérente en utilisant une approche stratégique. Il ne s'agit donc en aucun cas d'une représentation exhaustive des liens existants entre ces variables, de leurs déterminants ou de leurs influences les unes sur les autres.

Dans le premier modèle, nous supposons qu'il existe une tendance stable à travers différentes tâches à l'utilisation de stratégies efficaces. D'après cette idée, les participants qui utilisent des stratégies efficaces auraient tendance à le faire quelle que soit la tâche impliquée, que ce soit une tâche de MDT ou de cognition de haut niveau. Cette idée repose sur l'unification des approches paramétrique et par les stratégies, en supposant que les différences interindividuelles dans le comportement stratégique pourraient être liées à des différences interindividuelles d'aptitudes. Par exemple, nous avons fait l'hypothèse que le contrôle attentionnel plus efficace chez les participants avec une forte capacité de MDT (Engle & Kane, 2004) pouvait être la source de leur utilisation plus fréquente de stratégies efficaces. On peut donc supposer que la tendance stable au comportement stratégique serait déterminée par l'efficacité du contrôle attentionnel.

On pourrait faire l'hypothèse que les stratégies efficaces nécessitent d'appliquer des traitements contrôlés sur les informations, comme c'est le cas pour les stratégies d'encodage d'imagerie, de regroupement ou de génération de phrases. En revanche, les stratégies peu efficaces comme la lecture ou l'auto-répétition reposeraient peu sur la mise en place de ces processus contrôlés. De même, la stratégie de correspondance constructive nécessite de se représenter mentalement la solution possible en ayant pris en compte les règles de la matrice, ce qui pourrait reposer sur un fort contrôle attentionnel, tandis que la stratégie d'élimination de réponses serait plus réactive et moins coûteuse. Le contrôle attentionnel serait donc spécifiquement prédictif des stratégies complexes et efficaces, mais n'aurait pas de lien particulier avec les stratégies plus simples.

Selon cette interprétation, la capacité de MDT serait liée à l'utilisation de stratégies efficaces parce que le contrôle attentionnel détermine à la fois la capacité de MDT et la fréquence d'utilisation des stratégies efficaces. On peut donc proposer le modèle suivant (voir Figure 27) :

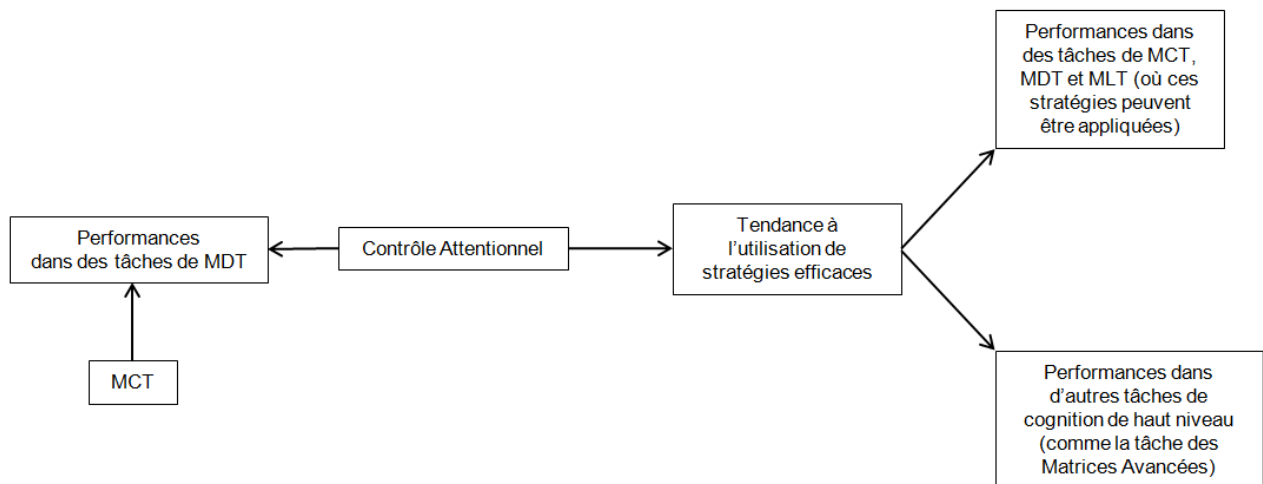


Figure 27. Modèle 1 du comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT et du contrôle attentionnel.

Ce modèle présente l'avantage d'expliquer un certain nombre de données de la littérature. En particulier, il permet d'interpréter le fait que les participants avec une forte capacité de MDT sont ceux qui utilisent le plus souvent les stratégies efficaces, quel que soit le type de tâche. Il permet également d'expliquer que les stratégies d'encodage en mémoire verbale médient le lien entre capacité de MDT et performances en MLT (Bailey et al., 2008), et que les stratégies utilisées dans d'autres tâches de cognition de haut niveau médient le lien entre capacité de MDT et la performance observée dans ces tâches

(Beilock & DeCaro, 2007 ; Cokely et al., 2006 ; Rosen & Engle, 1997 ; Schelble et al., 2012 ; Unsworth et al., 2013 ; Unsworth & Spillers, 2010a).

En revanche, il présente plusieurs défauts, dont le plus important est qu'il n'explique pas pourquoi les stratégies d'encodage efficaces en mémoire ne médient pas le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). Selon ce modèle, si la variance associée à l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces est contrôlée, alors on diminue la part de variance commune entre le contrôle attentionnel (à l'origine de cette utilisation de stratégies d'encodage efficaces) et la cognition de haut niveau, ce qui devrait conduire à une médiation (même partielle) du lien entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies d'encodage efficaces. Or, ce n'est pas ce qui est observé (Bailey et al., 2008).

Afin de prendre en compte cette limite, nous proposons deux autres modélisations. La première est d'ordre plutôt structurel, la seconde est plutôt fonctionnelle.

La modélisation structurelle s'appuie sur l'équation « $MDT = MCT + \text{contrôle attentionnel}$ » (Engle & Kane, 2004). D'après les auteurs à l'origine de cette conception, la MCT serait peu impliquée dans le lien entre MDT et cognition de haut niveau, tandis qu'une grande partie de ce lien serait expliquée par l'efficacité du contrôle attentionnel. On peut alors considérer deux types de stratégies fonctionnellement distinctes :

- 1) des stratégies d'encodage efficaces liées aux tâches impliquant de mémoriser des suites d'informations (comme les empan complexes, les tâches de MCT ou de MLT de type apprentissage de listes de mots). Comme ces stratégies sont utilisées sur du matériel hautement familier (des mots), il est possible que leur bonne utilisation nécessite peu de contrôle attentionnel, et de ce fait ne médiate pas la relation avec la cognition de haut niveau ;
- 2) des stratégies efficaces liées aux autres tâches de cognition de haut niveau et dépendant du contrôle attentionnel, car appliquées sur du matériel nouveau et donc peu familier. L'utilisation de ces stratégies médierait donc le lien entre MDT et cognition de haut niveau.

Le second modèle diffère du premier en cela que le comportement stratégique n'est pas considéré comme une tendance globale. À la place, on distingue le comportement stratégique appliqué aux tâches de mémoire, qui nécessite peu de contrôle attentionnel, et le comportement stratégique appliqué aux autres tâches de cognition de haut niveau, qui nécessite un fort contrôle attentionnel. Cela correspond au modèle suivant (voir Figure 28) :

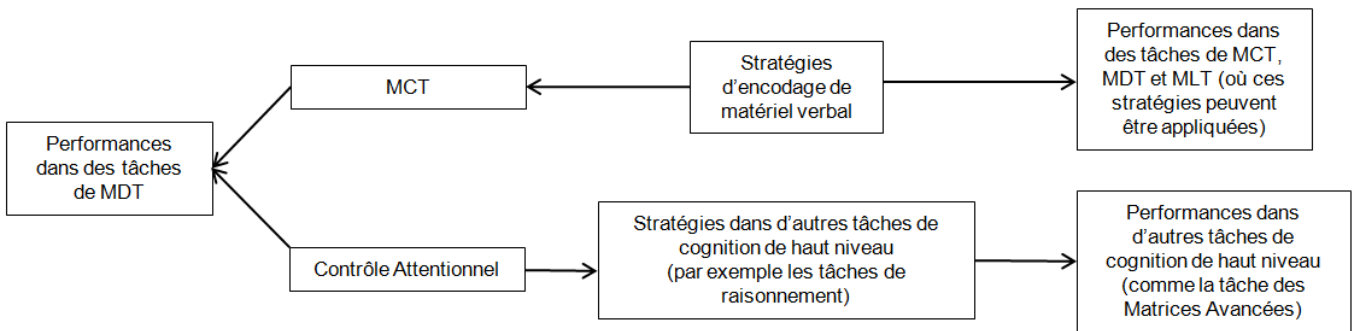


Figure 28. Modèle 2 du comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT et du contrôle attentionnel.

Ce modèle permet d'expliquer l'ensemble des résultats observés dans la littérature. En effet, considérer les stratégies mnésiques et les stratégies en cognition de haut niveau comme deux processus indépendants permet d'expliquer pourquoi les stratégies mnésiques ne médiatisent pas le lien entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau. Ce modèle permet même d'expliquer pourquoi, dans certaines situations, le contrôle des stratégies mnésiques conduit à une augmentation de la corrélation entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau (Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). En effet, le contrôle des stratégies mnésiques réduirait la part de variance due à la partie « *mémoire* » dans la mesure de MDT, ce qui implique que proportionnellement, la part de variance attribuée au contrôle attentionnel sera plus élevée. Puisque le contrôle attentionnel est la partie de l'équation « $MDT = MCT + \text{contrôle attentionnel}$ » en lien avec la cognition de haut niveau, alors il est logique que la relation avec la cognition de haut niveau augmente quand on réduit l'importance de la partie « *mémoire* ».

Dans ce modèle, la place des stratégies dans le HFE observé avec la tâche de LSC est actuellement difficile à déterminer. On sait que réaliser une double tâche en même temps que la LSC supprime la relation observée avec la capacité de MDT, ce qui signifie que l'utilisation de stratégies efficaces médiatise le lien observé entre capacité de MDT et performance dans la tâche de LSC. Étant donné le caractère peu familier de la tâche de LSC pour les participants, on peut supposer que les stratégies qu'elle implique reposent fortement sur l'efficacité du contrôle attentionnel, et ne relèvent donc pas des stratégies mnésiques simples. Cela nécessiterait cependant d'être directement testé.

Nous proposons enfin une troisième et dernière modélisation du comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT. Cette modélisation se fonde sur une approche plus fonctionnelle que les deux modèles précédents, et considère que les stratégies efficaces

peuvent être plus ou moins complexes en fonction des caractéristiques des tâches dans lesquelles elles sont impliquées. L'hypothèse sous-jacente est que plus la complexité de ces stratégies efficaces est élevée, plus elles partageront une part importante de la variance commune entre la capacité de MDT et les tâches considérées.

Cette modélisation se fonde sur l'idée que la performance dans les tâches de MDT n'est pas simplement déterminée par les capacités de MCT et le contrôle attentionnel, mais fait également intervenir un grand nombre de processus de plus bas niveau comme par exemple les processus de récupération en mémoire secondaire, ou encore le contrôle attentionnel (Shipstead et al., 2014 ; Unsworth et al., 2014). Cela nous conduit à considérer la performance dans des tâches mesurant la MDT comme multi-déterminée par cet ensemble de processus ; autrement dit, les tâches de MDT ne sont qu'une classe de tâches se référant non pas à un système mnésique particulier, mais à une combinaison de ces processus impliqués d'une façon plus ou moins importante dans chaque tâche. De même, la performance dans les tâches de cognition de haut niveau représente la somme d'un large éventail de processus fonctionnels ; par exemple, Spearman considérait le facteur général d'intelligence non pas comme une capacité propre de l'individu mais comme la somme d'un ensemble de processus déterminant la variance sur les tests d'intelligence (voir Carpenter et al., 1990).

De la même façon, on peut considérer que la mise en place de stratégies efficaces pourrait reposer sur l'implication d'un grand nombre des mêmes processus, parmi lesquels certains seraient commun à la MDT et à la cognition de haut niveau, comme par exemple le contrôle attentionnel. L'utilisation de stratégies efficaces devrait donc être corrélée à la MDT et à la cognition de haut niveau en fonction de la quantité de processus impliqués à la fois dans la mise en place de la stratégie efficace, dans la réalisation de la tâche de MDT ou de celle de cognition de haut niveau. Cela nous permet de proposer le modèle suivant (voir Figure 29) :

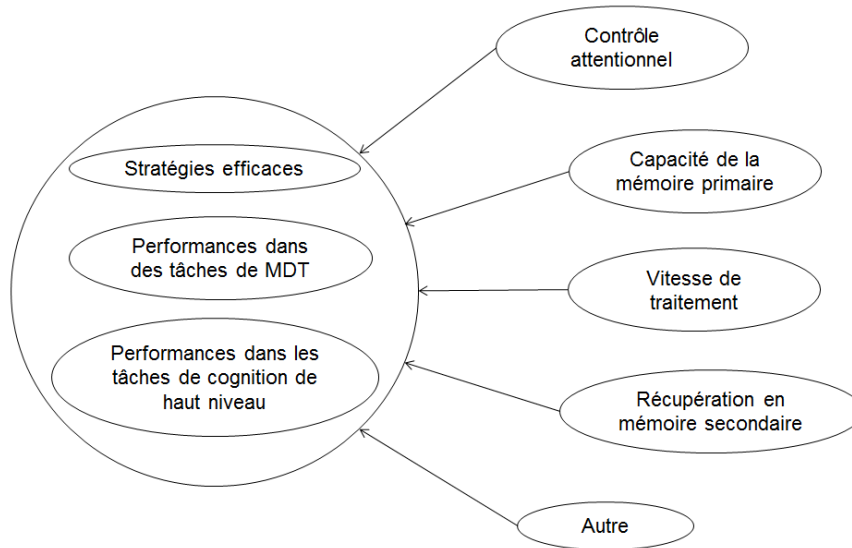


Figure 29. Modèle 3 du comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT et du contrôle attentionnel.

Nous savons que les stratégies d’encodage efficaces dans les tâches d’empans complexes ne médiatisent pas la relation entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003), bien qu’elles médiatisent la relation entre la capacité de MDT et la MLT (Bailey et al., 2008). Dans le cadre de cette troisième modélisation, nous pouvons considérer que ces stratégies ne font pas appel aux mêmes processus que ceux impliqués dans des tâches de cognition de haut niveau, notamment à cause du fait que le matériel verbal est trop familier pour faire sensiblement intervenir ces processus. On peut également considérer que les stratégies qui ne sont pas assez complexes, comme l’élimination de réponse, font intervenir peu ou pas de processus communs avec la performance dans les tâches de MDT ou de cognition de haut niveau, et n’expliquent donc pas la relation observée entre ces deux types de tâches.

À l’inverse, d’après cette troisième modélisation, on devrait observer un effet de médiation du lien entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau par l’utilisation de stratégies efficaces du moment que le recouvrement entre les processus impliqués par ces trois construits est suffisamment important. Par exemple, nous savons que les stratégies efficaces dans des tâches de cognition de haut niveau, comme la tâche d’arithmétique modulaire (Beilock & DeCaro, 2007) – bien que nous n’ayons pas réussi à reproduire ces résultats – ou la tâche des Matrices Avancées, médiatisent la relation entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau. Nous supposons donc que ces stratégies impliquent un grand nombre de processus communs avec les tâches d’empans complexes et avec les tâches de

cognition de haut niveau. On pourrait par exemple arguer que ces stratégies efficaces impliquent de façon importante le contrôle attentionnel, car il s'agit de maintenir actif pendant un temps relativement long (une trentaine de minutes pour les Matrices Avancées) l'objectif de réaliser correctement la tâche, et il s'agit également d'inhiber les informations non pertinentes fournies par les distracteurs dans le cadre de la tâche des Matrices Avancées.

En résumé, une façon possible de considérer le comportement stratégique serait fonction de sa complexité. Plus la complexité d'une stratégie efficace est élevée, plus cette stratégie fait intervenir un nombre important de processus recoupant ceux impliqués dans les tâches de MDT et de cognition de haut niveau, et plus cette stratégie efficace constituera un bon médiateur du lien entre la capacité de MDT et la cognition de haut niveau. On pourrait également supposer que la tendance à rechercher et mettre en place des stratégies efficaces est un comportement relativement stable à travers différents types de tâches, mais que l'efficacité des stratégies adoptées va dépendre de l'efficacité des paramètres sous-jacents à leur mise en place. Cette façon d'aborder la performance obtenue dans une tâche spécifique permet de réunir l'approche paramétrique avec l'approche par les stratégies.

D. Mise en perspective par rapport à la littérature

1. Utilisation de stratégies efficaces pour les participants avec une faible capacité de MDT

On pourrait s'interroger sur la possibilité que des participants avec une faible capacité de MDT mettent également en place des stratégies considérées comme efficaces et qui conduisent à une meilleure performance. Certains de nos résultats tendent à suggérer que ces participants pourraient utiliser des stratégies efficaces avec succès. Cependant, cela serait spécifique aux situations dans lesquelles la tâche implique des processus élémentaires comme la mémorisation de localisations spatiales ou le *binding* (Étude 3), ou induise de façon importante l'utilisation de ce type de stratégie, comme par exemple le degré élevé de concrétude des mots qui pourrait grandement favoriser l'utilisation d'une stratégie d'imagerie.

En revanche, nous avons observé des différences interindividuelles d'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT dans des situations où les tâches sont plus complexes. C'était par exemple le cas dans la LSC et dans les Matrices Avancées. Le HFE observé dans la tâche de LSC suggère que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient effectivement des stratégies d'encodage efficaces, mais nous ne savons pas si les

participants avec une faible capacité de MDT utilisaient ces mêmes stratégies sans succès ou utilisaient des stratégies qualitativement différentes.

Plusieurs résultats laissent à penser que les participants avec une faible capacité de MDT utilisent des stratégies efficaces, bien qu'avec moins de succès. Dans notre réplique de l'étude de Beilock et DeCaro (2007), nous n'avons pas mis en évidence de lien entre la capacité de MDT et l'utilisation d'une stratégie de résolution complexe fondée sur plusieurs enchaînements d'opérations logiques. En d'autres termes, la plupart des participants utilisaient cette stratégie efficace, indépendamment de leur capacité de MDT. Or, les participants avec une faible capacité de MDT ont obtenu une moins bonne performance que les participants avec une forte capacité de MDT, ce qui suggère qu'ils ont réalisé cette stratégie avec moins d'efficacité.

Une autre étude portant sur les stratégies d'encodage efficaces dans un empan complexe reporte ce type de résultat (Kaakinen & Hyönä, 2007). Dans cette étude, 25% des participants avec une faible capacité de MDT reportaient avoir essayé d'utiliser une stratégie d'encodage efficace ; cependant et malgré leur utilisation de ce type de « bonne » stratégie, ils n'ont pas réussi à obtenir une bonne performance dans la tâche. Les résultats obtenus par Cokely et al. (2006) confortent cette position selon laquelle les participants avec une faible capacité de MDT ne sont pas capables de mettre en œuvre une stratégie efficace avec autant d'efficacité que les participants avec une forte capacité de MDT. En effet, dans leur étude portant sur l'effet d'indigence d'une partie de liste, ces auteurs montrent que même après avoir donné une instruction explicite d'utilisation de stratégie d'encodage efficace (ici la génération de phrase), la performance de MDT des participants avec une faible capacité de MDT reste inférieure à celle des participants avec une forte capacité de MDT. Enfin, des instructions d'utilisation de la stratégie d'auto-répétition (considérée comme étant une stratégie d'encodage peu efficace) semblent profiter le plus aux participants avec une faible capacité de MDT, comparativement à des instructions d'utilisation de stratégies d'encodage efficaces (imagerie ou de type sémantique, Turley-Ames & Whitfield, 2003). Il semble donc que c'est ce type de stratégies que les participants avec une faible capacité de MDT mettent en place le plus efficacement.

Il est possible que cette différence d'aptitude à utiliser des stratégies efficaces soit aussi associée à des différences de fréquence d'utilisation des stratégies efficaces. Par exemple, dans la tâche des Matrices Avancées, les scores de correspondance constructive étaient tous supérieurs à 0, ce qui signifie que tous les participants reportaient utiliser au moins un peu cette stratégie, même ceux avec une faible capacité de MDT. En revanche, nous ne pouvons

pas savoir si les participants avec une faible capacité de MDT ont obtenu un score inférieur sur les Matrices Avancées parce qu'ils n'utilisaient pas assez fréquemment cette stratégie, ou parce qu'ils ne l'utilisaient pas efficacement. Dans la lignée de ce questionnaire, on peut également noter que les études portant sur le report essai par essai en fin de tâche (Bailey et al., 2011 ; Dunlosky & Kane, 2007) montrent que les participants avec une faible capacité de MDT utilisent moins fréquemment des stratégies efficaces, en plus de les utiliser moins efficacement.

En pratique, il est tout-à-fait possible que les deux effets soient cumulatifs. La complexité de mise en œuvre des stratégies efficaces nécessite probablement un fort investissement du contrôle attentionnel, qui épuiserait rapidement les participants chez qui ce contrôle est le moins performant. Par conséquent, on peut supposer que les participants avec une faible capacité de MDT réalisent plus d'essais à l'aide de stratégies peu efficaces car ils n'ont pas la capacité d'augmenter la fréquence d'utilisation des stratégies efficaces. Par ailleurs, le contrôle attentionnel plus faible de ces participants les conduirait aussi à être moins efficaces dans l'utilisation de stratégies coûteuses.

2. Modèles de MDT appliqués au comportement stratégique

Au cours de ce travail de recherche, nous avons notamment fait référence au modèle de MDT proposé par Unsworth et Engle (Unsworth & Engle, 2007a). Ce modèle confère un cadre interprétatif général à l'approche par les stratégies, car il permet d'expliquer par quel processus (le contrôle attentionnel) certains participants seraient en mesure d'utiliser plus fréquemment et plus efficacement des stratégies efficaces, et ce dans un grand nombre de tâches. En effet, nous pouvons étendre l'interprétation en termes de contrôle attentionnel à des stratégies comme la correspondance constructive et l'élimination de réponse dans les Matrices Avancées. Le principal intérêt de ce modèle est donc d'expliquer le lien entre capacité de MDT et comportement stratégique dans des tâches non-mnésiques. La plupart des autres modèles de MDT ne permettent pas d'expliquer ce point, et apportent – au mieux – quelques pistes de réflexion sur les différences interindividuelles de comportement stratégique dans des tâches de mémoire. Plusieurs de ces modèles proposent un cadre interprétatif permettant de prédire un lien entre capacité de MDT et comportement stratégique sur des tâches mnésiques.

Le premier modèle qu'il nous semble pertinent d'examiner dans ce cadre est celui de la mémoire de travail à long terme proposé par Ericsson et Kintsch (1995). Le principe avancé par ce modèle est qu'une partie de la MLT peut être utilisée comme MDT. Dans ce cadre, on

distingue une mémoire de travail à court terme (MDTCT), chargée de maintenir activés un petit nombre d'indices de récupération (entre trois et cinq), et une mémoire de travail à long terme (MDTLT), définie comme la partie active de la MLT qui est accessible à partir des indices présents en MDTCT. La connexion entre les indices présents en MDTCT et la MDTLT se fait par des structures de récupération qui se construisent avec l'expertise. Ce type de modèle est notamment utilisé pour expliquer les performances mnésiques dépassant la capacité limitée des systèmes à court terme (MCT et MDT) observées chez certains experts comme les pilotes (Sohn & Doane, 2003) ou les joueurs d'échecs (Frey & Adesman, 1976).

Selon ce modèle, les structures de récupération permettent donc d'utiliser le contenu de la MLT pour obtenir des performances mnésiques impossibles à obtenir en n'utilisant que la capacité de la MCT ou MDT. Cette idée peut être mise en lien avec l'utilisation de stratégies d'encodage reposant sur des connaissances sémantiques (génération de phrase, regroupement, imagerie) : dans les deux cas, on obtient une amélioration de la performance mnésique du fait du recrutement des connaissances en MLT. Cependant, les structures de récupération abordées dans le cadre du modèle de la mémoire de travail à long terme se construisent avec l'expertise dans un domaine et ne sont mobilisables que dans le cadre de ce domaine d'expertise particulier. Il nous semble peu probable que les participants avec une forte capacité de MDT aient une expertise particulière avec les mots ou informations proposées dans les tâches de MDT et de MLT.

D'autres théories ont tenté de prendre en compte l'influence de la MLT dans des tâches de MCT et de MDT, comme le modèle des processus emboîtés (Cowan, 1999) ou le buffer épisodique (Baddeley, 2000). Cependant, ces théories n'expliquent pas réellement les conditions dans lesquelles cette influence peut avoir lieu, et il est donc difficile d'y intégrer l'approche par les stratégies. Cette considération est encore plus remarquable dans le cas des stratégies en cognition de haut niveau, qui ne sont pas du tout interprétables dans le cadre de ces modèles de la MDT, axés notamment sur des aspects mnésiques. En résumé, le seul modèle qui – selon nous – permette réellement d'appréhender à la fois les stratégies mnésiques et les stratégies en cognition de haut niveau reste celui mettant l'accent sur le contrôle attentionnel (Engle & Kane, 2004 ; Unsworth & Engle, 2007a).

3. L'empan complexe vu comme une double tâche

L'un des apports de ce travail de thèse, outre son approche basée sur les stratégies, a été le rassemblement d'un ensemble de résultats expérimentaux autour du concept de *Hard*

Fall Effect, ainsi que le test de cet effet dans des tâches de mémoire visuospatiale et dans d'autres tâches de cognition de haut niveau. Nous avons proposé que cet effet pourrait refléter l'utilisation de stratégies efficaces pour les participants avec une forte capacité de MDT, ces stratégies étant perturbées par la double tâche. Cette interprétation repose sur l'idée que ces participants se distinguent avant tout par l'utilisation de stratégies efficaces ; en revanche, une autre interprétation est possible et porte sur la nature des tâches de MDT que nous avons utilisées.

On peut considérer qu'une tâche de MDT telle qu'un empan complexe constitue avant tout une double tâche, puisque le traitement de stimuli à mémoriser alterne avec la résolution d'une tâche secondaire. Les participants avec une forte capacité de MDT étant ceux qui obtiennent une performance élevée dans un empan complexe, on pourrait faire l'hypothèse que ces participants se distinguent par leur aptitude à résoudre efficacement un paradigme de double tâche. Cette idée pourrait remettre en question l'hypothèse que le HFE est dû à l'utilisation de stratégies efficaces, puisque la corrélation entre capacité de MDT et diminution de performance en situation de double tâche pourrait être attribuée à l'utilisation d'un paradigme de double tâche dans les deux cas. Cette hypothèse peut mener à trois interprétations majeures.

La première interprétation repose sur la notion de ressources cognitives. Certains auteurs postulent l'existence d'un *pool* générique de ressources limitées qui sous-tendent les activités cognitives (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004 ; Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2010). Ce *pool* de ressources serait partagé entre les processus mentaux indépendamment de la nature des informations impliquées (Vergauwe et al., 2010). On peut faire l'hypothèse qu'une situation de double tâche va conduire à diviser ces ressources entre les deux tâches en cours et donc diminuer la performance sur chacune des tâches. Cette hypothèse s'applique aux empan complexes, où les ressources doivent être partagées entre les processus de traitement et de stockage. La considération qui en découle est qu'un individu possédant une grande quantité de ressources pourra effectuer simultanément le stockage et le traitement sans que sa performance ne soit diminuée ; par opposition, un individu possédant une petite quantité de ressources sera pénalisé lorsqu'il devra réaliser simultanément ces deux processus. De là, les individus obtenant une bonne performance dans les empan complexes seraient ceux avec la plus grande quantité de ressources disponibles, et donc les mieux à même d'effectuer des doubles tâches. Selon cette interprétation, la mémoire de travail serait liée à la chute de performance en situation de double tâche parce que les participants qui

disposent de la plus grande quantité de ressources cognitives réussiraient bien à la fois la tâche de MDT et la tâche sur laquelle apparaîtrait le HFE.

En pratique, l'approche par les ressources ne permet pas d'expliquer les résultats obtenus. Si cette interprétation était correcte, la performance des participants avec une faible capacité de MDT devrait diminuer de façon plus importante entre la simple et la double tâche. En effet, puisque ces participants devraient disposer de moins de ressources à affecter à chaque tâche, leur performance devrait être plus perturbée que celle des participants avec une forte capacité de MDT, qui disposeraient de suffisamment de ressources pour continuer à exécuter les deux tâches en parallèle. Selon l'approche par les ressources, on devrait donc observer un HFE inversé, avec une chute plus importante pour les participants avec une faible capacité de MDT. Au contraire, l'idée que les participants avec une forte capacité de MDT sont ceux qui mettent en place des stratégies efficaces suggère que la double tâche perturbe un processus particulier chez eux, ce qui permet d'expliquer plus facilement les résultats obtenus.

La seconde interprétation repose sur l'idée qu'il existe des différences interindividuelles dans l'aptitude à coordonner la réalisation de deux tâches simultanément, certains participants étant plus efficaces que d'autres pour concilier les deux tâches (Collette & van der Linden, 2002 ; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000). Dans la mesure où les empans complexes constituent une situation de double tâche, on pourrait supposer que les participants avec une forte capacité de MDT sont ceux qui disposent d'une aptitude efficace de coordination des deux tâches. On observe d'ailleurs une corrélation positive entre la MDT et la réalisation simultanée de tâches multiples (*ou multitasking*,= ; Bühner, König, Pick, & Krumm, 2006 ; Colom, Martínez-Molina, Shih, & Santacreu, 2010 ; Hambrick, Oswald, Darowski, Rench, & Brou, 2010 ; C. J. König, Bühner, & Mürling, 2005). Cette idée soulève le même problème pour notre paradigme que l'approche par les ressources : la capacité de MDT devrait être liée à la performance en double tâche car la performance dépendrait de l'aptitude de coordination dans les deux cas.

Toutefois, on trouve deux arguments s'opposant à cette interprétation : 1) le HFE nous montre que ce sont les participants avec une forte capacité de MDT qui sont les plus perturbés par la double tâche, ce qui suggère qu'ils ne bénéficient pas de leurs meilleures aptitudes de coordination ; et surtout 2) on n'observe pas de corrélation entre la capacité de MDT et la performance en situation de double tâche (dans notre Étude 1, mais aussi dans Rosen & Engle, 1997), alors qu'il devrait y en avoir une si les participants avec une forte capacité de MDT étaient systématiquement meilleurs pour coordonner la réalisation de deux tâches. Là encore, l'approche par les stratégies fournit une meilleure explication aux résultats observés :

si les participants avec une forte capacité de MDT se distinguent surtout par leur utilisation de stratégies efficaces, il est normal qu'en perturbant l'utilisation de ces stratégies, les différences de performances en fonction de la capacité de MDT soient également réduites.

Le troisième problème lié à l'idée que les empan complexes constituent un type de double tâche est le suivant : si les participants avec une forte capacité de MDT sont les plus perturbés par la situation de double tâche, pourquoi n'observe-t-on pas de HFE dans les empan complexes ? Si ces participants utilisent plus de stratégies efficaces, on pourrait en effet supposer qu'ils devraient obtenir la même performance que les participants avec une faible capacité de MDT dans un empan complexe puisque la nature duelle de l'empan complexe devrait perturber la mise en place de ces stratégies efficaces. Or, par définition, ce n'est pas ce qui est observé puisqu'il y a bien des différences interindividuelles dans ces tâches de MDT.

Il y a deux façons principales d'expliquer pourquoi on n'observe pas de HFE dans les empan complexes. D'une part, les stratégies efficaces dans les empan complexes ne seraient pas de même nature que les stratégies efficaces en cognition de haut niveau, car appliquées sur du matériel verbal familier (voir p. 199). Ces stratégies seraient peut-être trop simples pour être affectées par la double tâche, ce qui expliquerait pourquoi on n'observe pas de HFE dans les empan complexes. Il est à noter que selon cette interprétation, les participants avec une forte capacité de MDT ne sont pas meilleurs dans les tâches d'empan complexes à cause de leur utilisation de stratégies efficaces : leur plus grande performance serait due à d'autres processus, tel qu'un contrôle attentionnel plus efficace. Si cette interprétation est correcte, on peut supposer que les tâches de MDT constituent de bons indicateurs du contrôle attentionnel.

D'autre part, la deuxième façon d'expliquer l'absence de HFE dans les empan complexes repose sur le niveau de difficulté. On sait que le HFE n'apparaît que lorsque le niveau de difficulté de la tâche principale est suffisamment élevé (Étude 1). Or, la tâche principale dans un empan complexe (memoriser des mots ou des consonnes par exemple) est une tâche facile, tandis que la difficulté provient de la tâche perturbatrice (comme dans le cas de la résolution d'opérations mathématiques). Un HFE serait donc peu susceptible d'apparaître dans un empan complexe dans la mesure où la tâche principale est trop simple, comme l'étaient les niveaux de difficulté trois et quatre de la tâche de LSC (Étude 1).

En résumé, bien que les empan complexes puissent être considérés comme des doubles tâches, le HFE ne semble pas pouvoir être expliqué par la similarité existant entre les empan complexes et les doubles tâches utilisées dans l'étude de cet effet.

E. Limites

Ce travail de thèse représente le point de départ d'une réflexion portée sur l'utilisation de stratégies en fonction de la capacité de MDT et leur rôle dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau. En tant que tel, il comporte des limitations méthodologiques qui devront être dépassées dans de futurs travaux. Par exemple, pour étudier le comportement stratégique, nous avons principalement utilisé la méthode des reports verbaux. Par définition, cette méthode ne permet d'appréhender que les processus verbalisables et conscients. Nous pensons cependant que le comportement stratégique peut s'étendre au-delà des procédures conscientes, et doit donc être appréhendé par d'autres méthodes d'étude comme la mesure des mouvements oculaires. L'utilisation de ce type de mesure peut même représenter un complément d'information intéressant aux données recueillies grâce aux reports verbaux, et pourrait nous permettre de construire une classification plus détaillée des stratégies utilisées dans les tâches de mémoire visuospatiale comme la LSC.

Une seconde limite à ce travail porte sur l'aspect encore spéculatif des arguments que nous avons développés pour expliquer le HFE. En effet, nous avons supposé que le HFE était lié à la perturbation de stratégies efficaces par une double tâche. Cependant, les données que nous avons obtenues ne vont pas toutes dans le sens de cette supposition. Par exemple, notre tentative de répliquer l'étude de Beilock et DeCaro (2007) en remplaçant le CUP par de la double tâche nous a permis de montrer un effet perturbateur tendanciel de la double tâche sur l'utilisation de stratégies, mais n'a pas eu d'effet sur la performance des participants. Globalement, nous avons parfois observé un impact de la double tâche sur l'utilisation de stratégies (comme dans l'Étude 2 ou l'Étude 4), parfois un impact des stratégies sur la performance (comme dans l'Étude 5 ou l'Étude 8), mais jamais les deux simultanément : autrement dit, aucune de nos études n'a montré de diminution simultanée de la performance et de l'utilisation de stratégies efficaces en situation de double tâche. De même, la supposition selon laquelle la contrainte temporelle perturbe les stratégies n'a pas non plus été directement testée. Afin de consolider l'argumentaire autour du HFE et des processus sous-jacents à l'apparition de cet effet, il faudrait donc conduire une étude montrant que le HFE et la contrainte temporelle ont un effet à la fois sur l'utilisation de stratégies, mise en évidence de façon directe par une méthode telle que le report verbal, et sur la performance.

Nous pouvons également évoquer une autre limite, liée au fait que l'ensemble des études – y compris les nôtres – s'intéressant aux stratégies dans les tâches de MDT et à leur influence dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau ont utilisé des empan

complexes pour évaluer la capacité de MDT. Les empan complexes correspondent à une classe de tâches particulière – et particulièrement utilisée – dans l'évaluation de la MDT, et la nature des informations impliquées dans ces tâches favorise l'utilisation de stratégies mnésiques.

De fait, l'ensemble des études portant sur l'utilisation de stratégies efficaces en fonction de la capacité de MDT utilisaient des empan complexes dans lesquels les participants devaient retenir des mots (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Kaakinen & Hyönä, 2007 ; McNamara & Scott, 2001 ; Turley-Ames & Whitfield, 2003). Or, nous avons vu que ces stratégies mnésiques ne sont pas impliquées dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau. L'affirmation selon laquelle l'utilisation de stratégies efficaces dans les tâches de MDT ne médiate pas la relation entre la MDT et la cognition de haut niveau (Bailey et al., 2008 ; Dunlosky & Kane, 2007 ; Engle et al., 1992 ; Friedman & Miyake, 2004a ; Turley-Ames & Whitfield, 2003) n'est donc applicable que lorsque la capacité de MDT est évaluée par des empan complexes. Pour pouvoir généraliser cette conclusion, il faudrait reconduire ce type d'étude en utilisant d'autres tâches de MDT, comme par exemple le *n*-back. Selon nous, il est d'ailleurs possible que le *n*-back implique des stratégies dont la mise en place nécessiterait un fort contrôle attentionnel, et ces stratégies pourraient donc médier la relation entre MDT et cognition de haut niveau. Par ailleurs, il est à noter que les trois empan complexes présents dans l'ECC n'impliquent pas de mémoriser des mots, mais des consonnes (empan d'opérations), des chiffres (empan de lecture), ou des localisations spatiales (empan de symétrie). Il est possible que ce type de matériel ne permette pas l'utilisation des stratégies d'encodage efficaces supposées diminuer la pureté de la mesure de MDT : il semble en effet difficile d'appliquer une stratégie d'imagerie visuelle ou de génération de phrases à des chiffres. Il s'agit donc d'un autre argument en faveur de l'idée que les stratégies mesurées sur les tâches de mémoire de travail pourraient jouer un rôle très variable en fonction des tâches de mémoire de travail utilisées.

F. Directions pour de futures recherches

Plusieurs protocoles expérimentaux pourraient permettre de consolider ou d'approfondir différents points abordés dans ce travail de thèse. La première ouverture possible serait de reproduire le test du HFE dans la tâche de LSC, en y ajoutant une méthode

d'étude directe des stratégies telle qu'un report verbal. Cela permettrait de fortement consolider notre interprétation concernant la nature des mécanismes en jeu dans le HFE.

Afin d'approfondir notre connaissance des stratégies utilisées dans d'autres tâches de MDT, nous proposons également la réalisation d'une ou plusieurs études dans lesquelles la MDT serait mesurée avec d'autres tâches que les empans complexes, comme par exemple le n-back. Nous pourrions ainsi évaluer l'influence des stratégies impliquées dans ce type de tâche dans la relation entre MDT et cognition de haut niveau.

Dans l'Étude 8, la médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par l'utilisation de stratégies efficaces dans la tâche des Matrices Avancées a été directement évaluée. Cette étude pourrait constituer une base solide pour évaluer l'effet perturbateur d'une double tâche (ou d'une contrainte temporelle) sur le pattern de corrélations observés et sur l'utilisation de stratégies efficaces. Cela constituerait un test exhaustif des différents mécanismes en jeu dans le HFE, et pourrait être couplé avec de l'oculométrie, afin d'obtenir une seconde évaluation des stratégies. Les résultats pourraient ensuite être généralisés dans d'autres tâches de cognition de haut niveau, comme le test de Cattell, afin d'en évaluer la reproductibilité.

Enfin, une ouverture majeure de ce travail serait d'élargir notre approche du comportement stratégique. Tout au long de ce travail, nous avons considéré que les participants avec une forte capacité de MDT utilisaient plus fréquemment des stratégies efficaces dans les tâches qu'ils réalisaient, mais nous aurions également pu considérer qu'ils utilisaient certaines stratégies plus efficacement. Nous pensons que la confusion possible de ces deux interprétations découle de l'absence d'un modèle du comportement stratégique. Maintenant que ce travail a apporté des arguments en faveur de l'importance de prendre en compte ce comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT, l'étape suivante sera donc de s'inscrire dans ce type de modèle.

Dans cette optique, nous proposons d'utiliser l'approche en quatre paramètres de la compétence stratégique proposée par Lemaire et Siegler (1995). Initialement développée dans le cadre du développement de la résolution de problèmes arithmétiques chez l'enfant, cette approche a été appliquée avec succès à l'étude de la résolution de problèmes arithmétiques chez l'adulte et la personne âgée (Arnaud, Lemaire, Allen, & Michel, 2008 ; Hodzik & Lemaire, 2011). Elle a également été appliquée à d'autres domaines de recherche comme le jugement de numérosité (Luwel & Verschaffel, 2008). Dans cette approche, le comportement stratégique est décomposé selon quatre dimensions : le répertoire stratégique, la distribution stratégique, l'exécution stratégique, et la sélection stratégique.

Le répertoire stratégique correspond à l'ensemble des procédures spécifiques dirigées vers un objectif qui sont disponibles pour un individu dans une situation donnée, dans la perspective de résoudre un problème ou de réaliser une tâche. Comme nous l'avons vu dans le cas des stratégies mnésiques, de nombreuses procédures sont possibles, comme l'auto-répétition, la génération de phrases ou le regroupement ; l'ensemble de ces procédures constitue le répertoire stratégique. La distribution stratégique correspond à la fréquence d'utilisation relative de chacune des stratégies disponibles ainsi qu'aux types de problèmes dans lesquels une stratégie est utilisée. L'exécution stratégique correspond aux conséquences quantitatives et qualitatives (comme par exemple la vitesse et la précision obtenue pour chaque stratégie) sur la performance. Enfin, la sélection stratégique renvoie au choix de la stratégie à utiliser pour résoudre un problème donné.

Afin de mieux comprendre le comportement stratégique en fonction de la capacité de MDT, nous proposons donc d'étudier chacun de ces quatre paramètres indépendamment. Nous pourrions ainsi déterminer si les participants avec une forte capacité de MDT ont un répertoire stratégique plus important, utilisent plus fréquemment certaines stratégies comme les stratégies efficaces, sont plus efficaces dans l'exécution d'une stratégie donnée, ou diffèrent dans la façon dont ils sélectionnent leurs stratégies selon les types de tâches. Les données dont nous disposons semblent indiquer qu'il existe des différences interindividuelles dans les trois premiers paramètres en fonction de la capacité de MDT, mais ces différences nécessitent d'être appréhendées rigoureusement dans le cadre de l'approche en quatre paramètres afin d'isoler l'influence de chacun de ces paramètres et de comprendre leurs interactions.

Conclusion

Ce travail de recherche visait à tester l'hypothèse que l'utilisation de stratégies efficaces au sein de tâches complexes médiatise le lien entre capacité de MDT et cognition de haut niveau.

Plusieurs de nos expériences se sont heurtées à la difficulté d'opérationnaliser les stratégies dans le cadre de tâches de cognition de haut niveau et de définir des méthodes d'étude appropriées. Les résultats que nous avons obtenus n'ont pas toujours permis de mettre en évidence un rôle prépondérant de l'utilisation de stratégies efficaces sur la performance ; il semblerait plutôt que le lien entre capacité de MDT et performance soit partiellement expliqué par d'autres facteurs que l'utilisation de stratégies efficaces.

En revanche, nos données ont permis de montrer que la capacité de MDT est effectivement liée à l'utilisation de stratégies efficaces, aussi bien dans des tâches de mémoire visuospatiale que de raisonnement. Nous avons également mis en évidence une médiation du lien entre MDT et cognition de haut niveau par les stratégies, à la fois en manipulant directement la mise en place de stratégies grâce à une double tâche et en contrôlant statistiquement la proportion d'utilisation de stratégies efficaces.

Enfin, notre travail de recherche indique que le *Hard Fall Effect* constitue un outil intéressant, qui permet de perturber l'efficacité des stratégies dans les tâches complexes et d'affecter sélectivement la performance des participants avec une forte capacité de MDT. Une fois que le fonctionnement du *Hard Fall Effect* sera étayé par suffisamment de données expérimentales, ce paradigme pourra conduire à une augmentation de nos connaissances sur le comportement stratégique au sein de tâches complexes et sur la place de ce comportement stratégique au sein de la cognition.

Références bibliographiques

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? *Psychological Bulletin*, *131*(1), 30-60. doi:10.1037/0033-2909.131.1.30
- Ang, S. Y., & Lee, K. (2010). Exploring developmental differences in visual short-term memory and working memory. *Developmental Psychology*, *46*(1), 279-285. doi:10.1037/a0017554
- Arnaud, L., Lemaire, P., Allen, P., & Michel, B. F. (2008). Strategic aspects of young, healthy older adults', and Alzheimer patients' arithmetic performance. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *44*(2), 119-130. doi:10.1016/j.cortex.2006.03.001
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes *The psychology of learning and motivation: II*. Oxford England: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the Central Executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *49*(1), 5-28. doi:10.1080/027249896392784
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(11), 417-423. doi:10.1016/s1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. D. (2003). Working Memory: Looking Back and Looking Forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829-839. doi:10.1038/nrn1201
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory. In G. H. Bower (Ed.), *Working memory* (Vol. 8, pp. 47-89). New York, NY, US: Academic Press.
- Baddeley, A. D., Lewis, V., Eldridge, M., & Thomson, N. (1984). Attention and retrieval from long-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*(4), 518-540. doi:10.1037/0096-3445.113.4.518
- Bailey, H., Dunlosky, J., & Kane, M. J. (2008). Why does working memory span predict complex cognition? Testing the strategy affordance hypothesis. *Memory & cognition*, *36*(8), 1383-1390. doi:10.3758/MC.36.8.1383

- Bailey, H., Dunlosky, J., & Kane, M. J. (2011). Contribution of strategy use to performance on complex and simple span tasks. *Memory & cognition*, 39(3), 447-461. doi:10.3758/s13421-010-0034-3
- Bara, B. G., Bucciarelli, M., & Johnson-Laird, P. N. (1995). Development of syllogistic reasoning. *The American Journal of Psychology*, 108(2), 157-193. doi:10.2307/1423127
- Barber, S. J., & Rajaram, S. (2011). Collaborative memory and part-set cueing impairments: The role of executive depletion in modulating retrieval disruption. *Memory*, 19(4), 378-397. doi:10.1080/09658211.2011.575787
- 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. doi:10.1037/0096-3445.133.1.83
- Basden, B. H., Basden, D. R., & Stephens, J. P. (2002). Part-set cuing of order information in recall tests. *Journal of Memory and Language*, 47(4), 517-529. doi:10.1016/S0749-596X(02)00016-5
- Basden, D. R., & Basden, B. H. (1995). Some tests of the strategy disruption interpretation of part-list cuing inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(6), 1656-1669. doi:10.1037/0278-7393.21.6.1656
- Basden, D. R., Basden, B. H., & Galloway, B. C. (1977). Inhibition with part-list cuing: Some tests of the item strength hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 3(1), 100-108. doi:10.1037/0278-7393.3.1.100
- Bäumel, K.-H., & Aslan, A. (2006). Part-list cuing can be transient and lasting: The role of encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(1), 33-43. doi:10.1037/0278-7393.32.1.33
- Beilock, S. L. (2008). Math performance in stressful situations. *Current Directions in Psychological Science*, 17(5), 339-343. doi:10.1111/j.1467-8721.2008.00602.x
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2005). When High-Powered People Fail: Working Memory and 'Choking Under Pressure' in Math. *Psychological Science*, 16(2), 101-105. doi:10.1111/j.0956-7976.2005.00789.x
- Beilock, S. L., & DeCaro, M. S. (2007). From poor performance to success under stress: Working memory, strategy selection, and mathematical problem solving under pressure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(6), 983-998. doi:10.1037/0278-7393.33.6.983

- Benton, S. L., Kraft, R. G., Glover, J. A., & Plake, B. S. (1984). Cognitive capacity differences among writers. *Journal of Educational Psychology*, 76(5), 820-834. doi:10.1037/0022-0663.76.5.820
- Besson, G., Ceccaldi, M., & Barbeau, E. J. (2012). L'évaluation des processus de la mémoire de reconnaissance. [The assessment of recognition memory process]. *Revue de Neuropsychologie, Neurosciences Cognitives et Cliniques*, 4(4), 242-254. doi:10.3917/rne.044.0242
- Bethell-Fox, C. E., Lohman, D. F., & Snow, R. E. (1984). Adaptive reasoning: Componential and eye movement analysis of geometric analogy performance. *Intelligence*, 8(3), 205-238. doi:10.1016/0160-2896(84)90009-6
- Bogomolny, A. (1996). *Modular arithmetic*. Retrieved from <http://www.cut-the-knot.com/blue/Modulo.shtml>
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. Elmsford, NY, US: Pergamon Press.
- Bühner, M., König, C., Pick, M., & Krumm, S. (2006). Working Memory Dimensions as Differential Predictors of the Speed and Error Aspect of Multitasking Performance. *Human Performance*, 19(3), 253-275. doi:10.1207/s15327043hup1903_4
- Campbell, J. I. D., & Austin, S. (2002). Effects of response time deadlines on adults' strategy choices for simple addition. *Memory & Cognition*, 30(6), 988-994. doi:10.3758/BF03195782
- Campbell, J. I. D., & Penner-Wilger, M. (2006). Calculation latency: The μ of memory and the τ of transformation. *Memory & Cognition*, 34(1), 217-226. doi:10.3758/BF03193400
- Cantor, J., & Engle, R. W. (1993). Working-memory capacity as long-term memory activation: An individual-differences approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(5), 1101-1114. doi:10.1037/0278-7393.19.5.1101
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97(3), 404-431. doi:10.1037/0033-295X.97.3.404
- Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1989). The role of working memory in language comprehension. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. (pp. 31-68). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

- Case, R. (1978). Intellectual development from birth to adulthood: A neo-Piagetian interpretation. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 37-71). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth fo adulthood*. New York, NY, US: Academic Press.
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33(3), 386-404. doi:10.1016/0022-0965(82)90054-6
- Chater, N., & Oaksford, M. (1999). The probability heuristics model of syllogistic reasoning. *Cognitive Psychology*, 38(2), 191-258. doi:10.1006/cogp.1998.0696
- Chipman, S. F. (1977). Complexity and structure in visual patterns. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106(3), 269-301. doi:10.1037/0096-3445.106.3.269
- Cokely, E. T., Kelley, C. M., & Gilchrist, A. L. (2006). Sources of individual differences in working memory: Contributions of strategy to capacity. *Psychonomic bulletin & review*, 13(6), 991-997. doi:10.3758/BF03213914
- Collette, F., & van der Linden, M. (2002). Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(2), 105-125. doi:10.1016/s0149-7634(01)00063-x
- Colom, R., Abad, F. J., Quiroga, M. Á., Shih, P. C., & Flores-Mendoza, C. (2008). Working memory and intelligence are highly related constructs, but why? *Intelligence*, 36(6), 584-606. doi:10.1016/j.intell.2008.01.002
- Colom, R., Abad, F. J., Rebollo, I., & Shih, P. C. (2005). Memory span and general intelligence: A latent-variable approach. *Intelligence*, 33(6), 623-642. doi:10.1016/j.intell.2005.05.006
- Colom, R., Flores-Mendoza, C., Quiroga, M. A., & Privado, J. (2005). Working memory and general intelligence : The role of short-term storage. *Personality and individual differences*, 39(5), 1005-1014. doi:10.1016/j.paid.2005.03.020
- Colom, R., Martínez-Molina, A., Shih, P. C., & Santacreu, J. (2010). Intelligence, working memory, and multitasking performance. *Intelligence*, 38(6), 543-551. doi:10.1016/j.intell.2010.08.002
- Colom, R., Rebollo, I., Abad, F. J., & Shih, P. C. (2006). Complex span tasks, simple span tasks, and cognitive abilities: A reanalysis of key studies. *Memory & cognition*, 34(1), 158-171. doi:10.3758/BF03193395

- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic bulletin & review*, 8(2), 331-335. doi:10.3758/BF03196169
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30(2), 163-184. doi:10.1016/s0160-2896(01)00096-4
- Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 354-373. doi:10.1037/0096-3445.123.4.354
- 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. doi:10.3758/BF03196772
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 547-552. doi:10.1016/j.tics.2003.10.005
- Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., Shisler, R. J., & Engle, R. W. (1999). The effect of memory load on negative priming: An individual differences investigation. *Memory & cognition*, 27(6), 1042-1050. doi:10.3758/BF03201233
- Copeland, D. E., & Radvansky, G. A. (2004). Working memory and syllogistic reasoning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 57A(8), 1437-1457. doi:10.1080/02724980343000846
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. (pp. 62-101). New York, NY, US: 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), 87-185. doi:10.1017/S0140525X01003922
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress In Brain Research*, 169, 323-338. doi:doi:10.1016/S0079-6123(07)00020-9
- Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in

- working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51(1), 42-100. doi:10.1016/j.cogpsych.2004.12.001
- Craik, F. I. M., & Brown, S. C. (2000). Memory: Coding processes. In A. E. Kazdin (Ed.), *Encyclopedia of psychology, Vol. 5.* (pp. 162-166). Washington, DC, US; New York, NY, US: American Psychological Association Oxford University Press.
- Craik, F. I. M., Govoni, R., Naveh-Benjamin, M., & Anderson, N. D. (1996). The effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125(2), 159-180. doi:10.1037/0096-3445.125.2.159
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 11(6), 671-684. doi:10.1016/S0022-5371(72)80001-X
- Craik, F. I. M., Naveh-Benjamin, M., Ishaik, G., & Anderson, N. D. (2000). Divided attention during encoding and retrieval: Differential control effects? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(6), 1744-1749. doi:10.1037/0278-7393.26.6.1744
- Daily, L. Z., Lovett, M. C., & Reder, L. M. (2001). Modeling individual differences in working memory performance: A source activation account. *Cognitive Science*, 25(3), 315-353. doi:10.1016/S0364-0213(01)00039-8
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 19(4), 450-466. doi:10.1016/s0022-5371(80)90312-6
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1983). Individual differences in integrating information between and within sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 561-584. doi:10.1037/0278-7393.9.4.561
- Daneman, M., & Green, I. (1986). Individual differences in comprehending and producing words in context. *Journal of Memory and Language*, 25(1), 1-18. doi:10.1016/0749-596x(86)90018-5
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433. doi:10.3758/BF03214546
- de Renzi, E., & Nichelli, P. (1975). Verbal and non-verbal short-term memory impairment following hemispheric damage. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 11(4), 341-354.

- Delaney, P. F., & Sahakyan, L. (2007). Unexpected costs of high working memory capacity following directed forgetting and contextual change manipulations. *Memory and Cognition*, *35*(5), 1074-1082. doi:10.3758/BF03193479
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A. D., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: A tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, *37*(10), 1189-1199. doi:10.1016/S0028-3932(98)00159-6
- Desrochers, A., & Bergeron, M. (2000). Valeurs de fréquence subjective et d'imagerie pour un échantillon de 1,916 substantifs de la langue française. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *54*(4), 274-325. doi:10.1037/h0087347
- Dewhurst, S. A., & Conway, M. A. (1994). Pictures, images, and recollective experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1088-1098. doi:10.1037/0278-7393.20.5.1088
- Dickman, S. J., & Meyer, D. E. (1988). Impulsivity and speed-accuracy tradeoffs in information processing. *Journal of Personality and Social Psychology*, *54*(2), 274-290. doi:10.1037/0022-3514.54.2.274
- Dougherty, M. R. P., & Hunter, J. E. (2003). Hypothesis generation, probability judgment, and individual differences in working memory capacity. *Acta Psychologica*, *113*(3), 263-282. doi:10.1016/S0001-6918(03)00033-7
- Dunlosky, J., & Connor, L. T. (1997). Age differences in the allocation of study time account for age differences in memory performance. *Memory & Cognition*, *25*(5), 691-700. doi:10.3758/BF03211311
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (1998). Aging and deficits in associative memory: What is the role of strategy production? *Psychology and Aging*, *13*(4), 597-607. doi:10.1037/0882-7974.13.4.597
- Dunlosky, J., & Hertzog, C. (2001). Measuring strategy production during associative learning: The relative utility of concurrent versus retrospective reports. *Memory & Cognition*, *29*(2), 247-253. doi:10.3758/BF03194918
- Dunlosky, J., & Kane, M. J. (2007). The contributions of strategy use to working memory span: A comparison of strategy assessment methods. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(9), 1227-1245. doi:10.1080/17470210600926075
- Dunning, D. L., & Holmes, J. (2014). Does working memory training promote the use of strategies on untrained working memory tasks? *Memory & Cognition*, *42*(6), 854-862. doi:10.3758/s13421-014-0410-5

- Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *18*(5), 972-992. doi:10.1037/0278-7393.18.5.972
- Engle, R. W., Carullo, J. J., & Collins, K. W. (1991). Individual differences in working memory for comprehension and following directions. *Journal of Educational Research*, *84*(5), 253-262.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (pp. 102-134). London: Cambridge Press.
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive Attention, Working Memory Capacity, and a Two-Factor Theory of Cognitive Control. In B. H. Ross (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory, Vol. 44* (pp. 145-199). New York, NY, US: Elsevier Science.
- Engle, R. W., Nations, J. K., & Cantor, J. (1990). Is "working memory capacity" just another name for word knowledge? *Journal of Educational Psychology*, *82*(4), 799-804. doi:10.1037/0022-0663.82.4.799
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*(3), 309-331. doi:doi:10.1037/0096-3445.128.3.309
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*(2), 211-245. doi:10.1037/0033-295x.102.2.211
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, *87*(3), 215-251. doi:10.1037/0033-295X.87.3.215
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal reports as data (rev. ed.)*. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Feldman-Barrett, L., Tugade, M. M., & Engle, R. W. (2004). Individual Differences in Working Memory Capacity and Dual-Process Theories of the Mind. *Psychological Bulletin*, *130*(4), 553-573. doi:10.1037/0033-2909.130.4.553
- Fernandes, M. A., & Moscovitch, M. (2000). Divided attention and memory: Evidence of substantial interference effects at retrieval and encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, *129*(2), 155-176. doi:10.1037/0096-3445.129.2.155

- Fliessbach, K., Weis, S., Klaver, P., Elger, C. E., & Weber, B. (2006). The effect of word concreteness on recognition memory. *NeuroImage*, 32(2), 1413-1421. doi:10.1016/j.neuroimage.2006.06.007
- Frey, P. W., & Adesman, P. (1976). Recall memory for visually presented chess positions. *Memory & Cognition*, 4(5), 541-547. doi:10.3758/BF03213216
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004a). The reading span test and its predictive power for reading comprehension ability. *Journal of Memory and Language*, 51(1), 136-158. doi:10.1016/j.jml.2004.03.008
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004b). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology. General*, 133(1), 101-135. doi:10.1037/0096-3445.133.1.101
- Gigerenzer, G. (2008). Why heuristics work. *Perspectives on Psychological Science*, 3(1), 20-29. doi:10.1111/j.1745-6916.2008.00058.x
- Gimmig, D., Huguet, P., Caverni, J.-P., & Cury, F. (2006). Choking under pressure and working memory capacity: When performance pressure reduces fluid intelligence. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(6), 1005-1010. doi:10.3758/BF03213916
- Grabner, R. H., & De Smedt, B. (2011). Neurophysiological evidence for the validity of verbal strategy reports in mental arithmetic. *Biological Psychology*, 87(1), 128-136. doi:10.1016/j.biopsycho.2011.02.019
- Guérard, K., & Tremblay, S. (2012). The effect of path length and display size on memory for spatial information. *Experimental Psychology*, 59(3), 147-152. doi:10.1027/1618-3169/a000137
- Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2002). Effects of domain knowledge, working memory capacity, and age on cognitive performance: An investigation of the knowledge-is-power hypothesis. *Cognitive Psychology*, 44(4), 339-387. doi:10.1006/cogp.2001.0769
- Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Darowski, E. S., Rench, T. A., & Brou, R. (2010). Predictors of multitasking performance in a synthetic work paradigm. *Applied Cognitive Psychology*, 24(8), 1149-1167. doi:10.1002/acp.1624
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*. (pp. 653-675). Cambridge, MA, US: The MIT Press.

- Hegarty, M., Shah, P., & Miyake, A. (2000). Constraints on using the dual-task methodology to specify the degree of central executive involvement in cognitive tasks. *Memory & Cognition*, 28(3), 376-385. doi:10.3758/BF03198553
- Hertzog, C., McGuire, C. L., & Lineweaver, T. T. (1998). Aging, attributions, perceived control and strategy use in a free recall task. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 5(2), 85-106. doi:10.1076/anec.5.2.85.601
- Hodzik, S., & Lemaire, P. (2011). Inhibition and shifting capacities mediate adults' age-related differences in strategy selection and repertoire. *Acta Psychologica*, 137(3), 335-344. doi:10.1016/j.actpsy.2011.04.002
- Ilkowska, M., & Engle, R. W. (2010). Trait and state differences in working memory capacity. In A. Gruszka, G. Matthews & B. Szymura (Eds.), *Handbook of Individual Differences in Cognition. Attention, Memory, and Executive Control* (pp. 295-320). New-York: Springer.
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513-541. doi:10.1016/0749-596X(91)90025-F
- Jahanshahi, M., Saleem, T., Ho, A. K., Dirnberger, G., & Fuller, R. (2006). Random number generation as an index of controlled processing. *Neuropsychology*, 20(4), 391-399. doi:10.1037/0894-4105.20.4.391
- James, W. (1890). *Principles of psychology*. New York, NY, US: Holt.
- Jarosz, A. F., & Wiley, J. (2012). Why does working memory capacity predict RAPM performance? A possible role of distraction. *Intelligence*, 40(5), 427-438. doi:10.1016/j.intell.2012.06.001
- Johnson, D. M. (1955). *The psychology of thought and judgment*. Oxford England: Harper.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122-149. doi:10.1037/0033-295X.99.1.122
- Kaakinen, J. K., & Hyönä, J. (2007). Strategy use in the reading span test: An analysis of eye movements and reported encoding strategies. *Memory*, 15(6), 634-646. doi:10.1080/09658210701457096
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169-183. doi:10.1037/0096-3445.130.2.169

- Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: An experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science, 18*(7), 614-621. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01948.x
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2000). Working-memory capacity, proactive interference, and divided attention: Limits on long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 26*(2), 336-358. doi:10.1037/0278-7393.26.2.336
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(1), 47-70. doi:10.1037/0096-3445.132.1.47
- 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. doi:10.1037/0096-3445.133.2.189
- Kane, M. J., Poole, B. J., Tuholski, S. W., & Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and the top-down control of visual search: Exploring the boundaries of 'executive attention'. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 32*(4), 749-777. doi:10.1037/0278-7393.32.4.749
- Kellogg, R. T., Cocklin, T., & Bourne, L. E. (1982). Conscious attentional demands of encoding and retrieval from long-term memory. *The American Journal of Psychology, 95*(2), 183-198. doi:10.2307/1422465
- Kemps, E. (1999). Effects of complexity on visuo-spatial working memory. *European Journal of Cognitive Psychology, 11*(3), 335-356. doi:10.1080/713752320
- Kiewra, K. A., & Benton, S. L. (1988). The relationship between information-processing ability and notetaking. *Contemporary Educational Psychology, 13*(1), 33-44. doi:10.1016/0361-476x(88)90004-5
- King, J., & Just, M. A. (1991). Individual differences in syntactic processing: The role of working memory. *Journal of Memory and Language, 30*(5), 580-602. doi:10.1016/0749-596x(91)90027-h
- Kirk, E. P., & Ashcraft, M. H. (2001). Telling stories: The perils and promise of using verbal reports to study math strategies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*(1), 157-175. doi:10.1037/0278-7393.27.1.157

- Klein, K., & Fiss, W. H. (1999). The reliability and stability of the Turner and Engle working memory task. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *31*(3), 429-432. doi:10.3758/BF03200722
- König, C. J., Bühner, M., & Mürling, G. (2005). Working Memory, Fluid Intelligence, and Attention Are Predictors of Multitasking Performance, but Polychronicity and Extraversion Are not. *Human Performance*, *18*(3), 243-266. doi:10.1207/s15327043hup1803_3
- König, P., Kühnberger, K. U., & Kietzmann, T. C. (2013). A Unifying Approach to High- and Low-Level Cognition. In U. V. Gähde, S. Hartmann & J. H. Wolf (Eds.), *Models, Simulations, and the Reduction of Complexity* (pp. 117-141). Berlin: De Gruyter.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, *14*(4), 389-433. doi:10.1016/S0160-2896(05)80012-1
- Kyllonen, P. C., Lohman, D. F., & Woltz, D. J. (1984). Componential modeling of alternative strategies for performing spatial tasks. *Journal of Educational Psychology*, *76*(6), 1325-1345. doi:10.1037/0022-0663.76.6.1325
- Kyllonen, P. C., & Stephens, D. L. (1990). Cognitive abilities as determinants of success in acquiring logic skill. *Learning and Individual Differences*, *2*(2), 129-160. doi:10.1016/1041-6080(90)90020-h
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, *208*(4450), 1335-1342. doi:10.1126/science.208.4450.1335
- Lemaire, P., & Reder, L. (1999). What affects strategy selection in arithmetic? The example of parity and five effects on product verification. *Memory & Cognition*, *27*(2), 364-382. doi:10.3758/BF03211420
- Lemaire, P., & Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: Contributions to children's learning of multiplication. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(1), 83-97. doi:10.1037/0096-3445.124.1.83
- Lépine, R., Barrouillet, P., & Camos, V. (2005). What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(1), 165-170. doi:10.3758/BF03196363
- 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. doi:10.1037/a0023923

- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, 54(6), i-95. doi:10.1037/h0093502
- Luwel, K., & Verschaffel, L. (2008). Analysing strategy use in terms of the four parameters of strategic competence: Contributions from a numerosity judgement task. *Anales de Psicología*, 24(2), 223-239.
- MacDonald, M. C., Almor, A., Henderson, V. W., Kempler, D., & Andersen, E. S. (2001). Assessing working memory and language comprehension in Alzheimer's disease. *Brain and Language*, 78(1), 17-42. doi:10.1006/brln.2000.2436
- Marewski, J. N., & Schooler, L. J. (2011). Cognitive niches: An ecological model of strategy selection. *Psychological Review*, 118(3), 393-437. doi:10.1037/a0024143
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37(1), 1-10. doi:10.1016/j.intell.2008.08.004
- McNamara, D. S., & Scott, J. L. (2001). Working memory capacity and strategy use. *Memory & cognition*, 29(1), 10-17. doi:10.3758/BF03195736
- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Why does working memory capacity predict variation in reading comprehension? On the influence of mind wandering and executive attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(2), 302-320. doi:10.1037/a0025250.supp (Supplemental)
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. doi:10.1037/h0043158
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York, NY, US: Henry Holt and Co.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of experimental psychology. General*, 130(4), 621-640. doi:10.1037/0096-3445.130.4.621
- Mogle, J. A., Lovett, B. J., Stawski, R. S., & Sliwinski, M. J. (2008). What's so special about working memory? An examination of the relationships among working memory,

- secondary memory, and fluid intelligence. *Psychological Science*, 19(11), 1071-1077. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02202.x
- Murdock, B. B. (1965). Effects of a subsidiary task on short-term memory. *British Journal of Psychology*, 56(4), 413-419. doi:10.1111/j.2044-8295.1965.tb00983.x
- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Gavrilescu, D., & Anderson, N. D. (2000). Asymmetry between encoding and retrieval processes: Evidence from divided attention and a calibration analysis. *Memory & Cognition*, 28(6), 965-976. doi:10.3758/BF03209344
- Naveh-Benjamin, M., Craik, F. I. M., Guez, J., & Dori, H. (1998). Effects of divided attention on encoding and retrieval processes in human memory: Further support for an asymmetry. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(5), 1091-1104. doi:10.1037/0278-7393.24.5.1091
- Naveh-Benjamin, M., & Guez, J. (2000). Effects of divided attention on encoding and retrieval processes: Assessment of attentional costs and a componential analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(6), 1461-1482. doi:10.1037/0278-7393.26.6.1461
- Naveh-Benjamin, M., Kilb, A., & Fisher, T. (2006). Concurrent task effects on memory encoding and retrieval: Further support for an asymmetry. *Memory & Cognition*, 34(1), 90-101. doi:10.3758/BF03193389
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur Internet: Lexique (French). *A lexical database for contemporary french on internet: Lexique (English)*, 101(3), 447-462.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (Vol. 4). New York: Plenum.
- Oberauer, K. (2005). Binding and Inhibition in Working Memory: Individual and Age Differences in Short-Term Recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(3), 368-387. doi:10.1037/0096-3445.134.3.368
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H.-M. (2005). Working Memory and Intelligence--Their Correlation and Their Relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 61-65. doi:10.1037/0033-2909.131.1.61
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity—facets of a cognitive ability construct. *Personality and individual differences*, 29(6), 1017-1045. doi:10.1016/S0191-8869(99)00251-2

- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O., & Sander, N. (2007). Individual differences in working memory capacity and reasoning ability. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory*. (pp. 49-75). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1971). Imagery and deep structure in the recall of English nominalizations. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *10*(1), 1-12. doi:10.1016/S0022-5371(71)80086-5
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual-coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (2007). *Mind and its evolution: A dual coding theoretical approach*. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Paivio, A., Walsh, M., & Bons, T. (1994). Concreteness effects on memory: When and why? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(5), 1196-1204. doi:10.1037/0278-7393.20.5.1196
- Park, D. C., Smith, A. D., Dudley, W. N., & Lafronza, V. N. (1989). Effects of age and a divided attention task presented during encoding and retrieval on memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*(6), 1185-1191. doi:10.1037/0278-7393.15.6.1185
- Parker, A., & Dagnall, N. (2009). Concreteness effects revisited: The influence of dynamic visual noise on memory for concrete and abstract words. *Memory (Hove. Print)*, *17*(4), 397-410. doi:10.1080/09658210902802967
- Payne, J. W. (1994). Thinking aloud: Insights into information processing. *Psychological Science*, *5*(5), 241, 245-248. doi:10.1111/j.1467-9280.1994.tb00620.x
- Perfetti, C. A., & Goldman, S. R. (1976). Discourse memory and reading comprehension skill. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *15*(1), 33-42. doi:10.1016/S0022-5371(76)90004-9
- Peters, J., & Daum, I. (2008). Differential effects of normal aging on recollection of concrete and abstract words. *Neuropsychology*, *22*(2), 255-261. doi:10.1037/0894-4105.22.2.255
- Quinn, J. G. , & McConnell, J. (1996). Irrelevant Pictures in Visual Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *49*(1), 200-215. doi:10.1080/027249896392865
- Raaijmakers, J. G., & Shiffrin, R. M. (1981). Search of associative memory. *Psychological Review*, *88*(2), 93-134. doi:10.1037/0033-295X.88.2.93

- Radvansky, G. A., & Copeland, D. E. (2006). Memory retrieval and interference: Working memory issues. *Journal of Memory and Language*, 55(1), 33-46. doi:10.1016/j.jml.2006.02.001
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Raven manual: Section 4, Advanced Progressive Matrices, 1998 edition*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Redick, T. S., Broadway, J. M., Meier, M. E., Kuriakose, P. S., Unsworth, N., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2012). Measuring working memory capacity with automated complex span tasks. *European Journal of Psychological Assessment*, 28(3), 164-171. doi:10.1027/1015-5759/a000123
- Redick, T. S., Calvo, A., Gay, C. E., & Engle, R. W. (2011). Working memory capacity and go/no-go task performance: Selective effects of updating, maintenance, and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. doi:10.1037/a0022216
- Redick, T. S., & Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and attention network test performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20(5), 713-721. doi:10.1002/acp.1224
- Redick, T. S., Heitz, R. P., & Engle, R. W. (2007). Working memory capacity and inhibition: Cognitive and social consequences. In D. S. Gorfein & C. M. MacLeod (Eds.), *Inhibition in cognition*. (pp. 125-142). Washington, DC, US: American Psychological Association.
- Richardson, J. T. E. (1998). The availability and effectiveness of reported mediators in associative learning: A historical review and an experimental investigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(4), 597-614. doi:10.3758/BF03208837
- Rieskamp, J., & Otto, P. E. (2006). SSL: A Theory of How People Learn to Select Strategies. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(2), 207-236. doi:10.1037/0096-3445.135.2.207
- Roche, J., Tolan, G. A., & Tehan, G. (2011). Concreteness effects in short-term memory: A test of the item-order hypothesis. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 65(4), 245-253. doi:10.1037/a0024693
- Rogers, W. A., Hertzog, C., & Fisk, A. D. (2000). An individual differences analysis of ability and strategy influences: Age-related differences in associative learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(2), 359-394. doi:10.1037/0278-7393.26.2.359

- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The role of working memory capacity in retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, *126*(3), 211-227. doi:10.1037/0096-3445.126.3.211
- Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1998). Working memory capacity and suppression. *Journal of Memory & Language*, *39*(3), 418. doi:10.1006/jmla.1998.2590
- Rowe, E. J., & Schnore, M. M. (1971). Item concreteness and reported strategies in paired-associate learning as a function of age. *Journal of Gerontology*, *26*(4), 470-475. doi:10.1093/geronj/26.4.470
- Russo, J. E., Johnson, E. J., & Stephens, D. L. (1989). The validity of verbal protocols. *Memory & Cognition*, *17*(6), 759-769. doi:10.3758/BF03202637
- Sagaspe, P., Charles, A., Taillard, J., Bioulac, B., & Philip, P. (2003). Inhibition et mémoire de travail : effet d'une privation aiguë de sommeil sur une tâche de génération aléatoire. [Inhibition and working memory: effect of acute sleep deprivation on a random generation task]. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *57*(4), 265-273. doi:10.1037/h0087430
- Schelble, J. L., Therriault, D. J., & Miller, M. D. (2012). Classifying retrieval strategies as a function of working memory. *Memory & Cognition*, *40*(2), 218-230. doi:10.3758/s13421-011-0149-1
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime Reference Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Schunn, C. D., & Reder, L. M. (1998). Strategy adaptivity and individual differences. In D. L. Medin (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. 38. (pp. 115-154). San Diego, CA, US: Academic Press.
- Serra, M., & Oswald, K. M. (2006). Part-List Cuing of Associative Chains: Tests of Strategy Disruption. *Journal of General Psychology*, *133*(3), 301-317. doi:10.3200/GENP.133.3.301-317
- Shipstead, Z., Lindsey, D. R. B., Marshall, R. L., & Engle, R. W. (2014). The mechanisms of working memory capacity: Primary memory, secondary memory, and attention control. *Journal of Memory and Language*, *72*, 116-141. doi:10.1016/j.jml.2014.01.004
- Siegler, R. S. (1983). Five generalizations about cognitive development. *American Psychologist*, *38*(3), 263-277. doi:10.1037/0003-066X.38.3.263

- Siegler, R. S. (1987). Strategy choices in subtraction. In J. A. Sloboda & D. Rogers (Eds.), *Cognitive processes in mathematics*. (pp. 81-106). New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Smith-Chant, B. L., & LeFevre, J-A. (2003). Doing as they are told and telling it like it is: Self-reports in mental arithmetic. *Memory & Cognition*, *31*(4), 516-528. doi:10.3758/BF03196093
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1992). Determining spatial span: The role of movement time and articulation rate. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *45A*(3), 479-501. doi:10.1080/02724989208250624
- Sobel, M. E. (1982). Asymptotic confidence intervals for indirect effects in structural equation models. *Sociological Methodology*, *13*, 290-312.
- Sohn, Y. W., & Doane, S. M. (2003). Roles of working memory capacity and long-term working memory skill in complex task performance. *Memory & Cognition*, *31*(3), 458-466.
- Soper, D. S. (2014, September 30). Sobel Test Calculator for the Significance of Mediation [Software]. Retrieved from <http://www.danielsoper.com/statcalc>
- Spillers, G. J., & Unsworth, N. (2011). Variation in working memory capacity and temporal-contextual retrieval from episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(6), 1532-1539. doi:10.1037/a0024852
- St Clair-Thompson, H. L. (2007). The influence of strategies upon relationships between working memory and cognitive skills. *Memory*, *15*(4), 353-365. doi:10.1080/09658210701261845
- Stanislaw, H., & Todorov, N. (1999). Calculation of signal detection theory measures. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *31*(1), 137-149.
- Sternberg, R. J., & Grigorenko, E. L. (1997). Are cognitive styles still in style? *American Psychologist*, *52*(7), 700-712. doi:10.1037/0003-066X.52.7.700
- Süss, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., W., Oliver, & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability: and a little bit more. *Intelligence*, *30*(3), 261-288. doi:10.1016/S0160-2896(01)00100-3
- Thomassin, N., Gonthier, C., Guerraz, M., & Roulin, J.-L. (sous presse). The Hard Fall Effect: high working memory capacity leads to a higher, but less robust short-term memory performance. *Experimental Psychology*. doi:10.1027/1618-3169/a000276

- Towse, J., & Neil, D. (1998). Analyzing human random generation behavior: A review of methods used and a computer program for describing performance. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 30(4), 583. doi:10.3758/BF03209475
- Troyer, A. K., Winocur, G., Craik, F. I. M., & Moscovitch, M. (1999). Source memory and divided attention: Reciprocal costs to primary and secondary tasks. *Neuropsychology*, 13(4), 467-474. doi:10.1037/0894-4105.13.4.467
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie canadienne*, 26(1), 1-12. doi:10.1037/h0080017
- Turley-Ames, K. J., & Whitfield, M. M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language*, 49(4), 446-468. doi:10.1016/s0749-596x(03)00095-0
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2), 127-154. doi:10.1016/0749-596x(89)90040-5
- Unsworth, N. (2009). Individual differences in self-initiated processing at encoding and retrieval: A latent variable analysis. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 257-266. doi:10.1080/17470210802373092
- Unsworth, N. (2010). On the division of working memory and long-term memory and their relation to intelligence: A latent variable approach. *Acta psychologica*, 134(1), 16-28. doi:10.1016/j.actpsy.2009.11.010
- Unsworth, N., & Brewer, G. A. (2009). Examining the relationships among item recognition, source recognition, and recall from an individual differences perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(6), 1578-1585. doi:10.1037/a0017255
- Unsworth, N., Brewer, G. A., & Spillers, G. J. (2011). Variation in working memory capacity and episodic memory: Examining the importance of encoding specificity. *Psychonomic bulletin & review*. doi:10.3758/s13423-011-0165-y
- Unsworth, N., Brewer, G. A., & Spillers, G. J. (2013). Working memory capacity and retrieval from long-term memory: the role of controlled search. *Memory & cognition*, 41(2), 242-254. doi:10.3758/s13421-012-0261-x
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between Operation Span and Raven. *Intelligence*, 33(1), 67-81. doi:10.1016/j.intell.2004.08.003
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007a). The nature of individual differences in working memory capacity : Active maintenance in primary memory and controlled search from

- secondary memory. *Psychological Review*, 114(1), 104-132. doi:10.1037/0033-295X.114.1.104
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007b). On the division of short-term and working memory: An examination of simple and complex span and their relation to higher order abilities. *Psychological Bulletin*, 133(6), 1038-1066. doi:10.1037/0033-2909.133.6.1038
- Unsworth, N., Fukuda, K., Awh, E., & Vogel, E. K. (2014). Working memory and fluid intelligence: Capacity, attention control, and secondary memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 71, 1-26. doi:10.1016/j.cogpsych.2014.01.003
- Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, 37(3), 498-505. doi:10.3758/BF03192720
- Unsworth, N., Redick, T. S., Lakey, C. E., & Young, D. L. (2010). Lapses in sustained attention and their relation to executive control and fluid abilities: An individual differences investigation. *Intelligence*, 38(1), 111-122. doi:10.1016/j.intell.2009.08.002
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010a). Variation in working memory capacity and episodic recall: The contributions of strategic encoding and contextual retrieval. *Psychonomic bulletin & review*, 17(2), 200-205. doi:10.3758/pbr.17.2.200
- Unsworth, N., & Spillers, G. J. (2010b). Working memory capacity: Attention control, secondary memory, or both? A direct test of the dual-component model. *Journal of Memory and Language*, 62(4), 392-406. doi:10.1016/j.jml.2010.02.001
- Unsworth, N., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2011). Variation in verbal fluency: A latent variable analysis of clustering, switching, and overall performance. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(3), 447-466. doi:10.1080/17470218.2010.505292
- Unsworth, N., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2012a). The role of working memory capacity in autobiographical retrieval: Individual differences in strategic search. *Memory (Hove. Print)*, 20(2), 167-176. doi:10.1080/09658211.2011.651087
- Unsworth, N., Spillers, G. J., & Brewer, G. A. (2012b). Working memory capacity and retrieval limitations from long-term memory: An examination of differences in accessibility. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(12), 2397-2410. doi:10.1080/17470218.2012.690438







- Vergauwe, E., Barrouillet, P., & Camos, V. (2010). Do mental processes share a domain-general resource? *Psychological Science*, *21*(3), 384-390. doi:10.1177/0956797610361340
- Verschueren, N., Schaeken, W., & d'Ydewalle, G. (2005). Everyday conditional reasoning: A working memory—dependent tradeoff between counterexample and likelihood use. *Memory & Cognition*, *33*(1), 107-119. doi:10.3758/BF03195301
- Vigneau, F., Caissie, A. F., & Bors, D. A. (2006). Eye-movement analysis demonstrates strategic influences on intelligence. *Intelligence*, *34*(3), 261-272. doi:10.1016/j.intell.2005.11.003
- Waters, G. S., & Caplan, D. (1996). The measurement of verbal working memory capacity and its relation to reading comprehension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *49A*(1), 51-79. doi:10.1080/027249896392801
- Wilson, T. D. (1994). The proper protocol: Validity and completeness of verbal reports. *Psychological Science*, *5*(5), 249-252. doi:10.1111/j.1467-9280.1994.tb00621.x
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, *46*(3), 441-517. doi:10.1006/jmla.2002.2864
- Yonelinas, A. P., Kroll, N. E. A., Dobbins, I., Lazzara, M., & Knight, R. T. (1998). Recollection and familiarity deficits in amnesia: Convergence of remember-know, process dissociation, and receiver operating characteristic data. *Neuropsychology*, *12*(3), 323-339. doi:10.1037/0894-4105.12.3.323
- Zook, N. A., Davalos, D. B., DeLosh, E. L., & Davis, H. P. (2004). Working memory, inhibition, and fluid intelligence as predictors of performance on Tower of Hanoi and London tasks. *Brain and Cognition*, *56*(3), 286-292. doi:10.1016/j.bandc.2004.07.003







Annexes



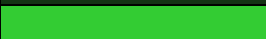



- Annexe A** : Matériel et résultats annexes de l'Étude 1
p. 237
- Annexe B** : Empan Complexe Composite
p. 241
- Annexe C** : Résultats annexes de l'Étude 3 et exemple de verbalisations liées aux stratégies
p. 261
- Annexe D** : Caractéristiques du matériel de l'Étude 5
p. 263
- Annexe E** : Liste du matériel utilisé dans l'Étude 8
p. 275
- Annexe F** : Questionnaire de correspondance constructive et d'élimination de réponse
p. 277







Annexe A : Matériel et résultats annexes de l'Étude 1







Palettes de couleurs et codages RVB







Palette de rouge	Codage RVB
	"255,0,51"
	"204,0,51"
	"255,102,153"
	"204,51,102"
	"255,153,204"
	"102,0,51"

Palette de violet	Codage RVB
	"102,0,153"
	"204,153,255"
	"153,102,204"
	"102,51,200"
	"20,0,100"
	"180,0,255"

Palette de vert	Codage RVB
	"0,102,0"
	"20,51,20"
	"51,204,51"
	"120,255,20"
	"0,153,51"
	"102,153,0"

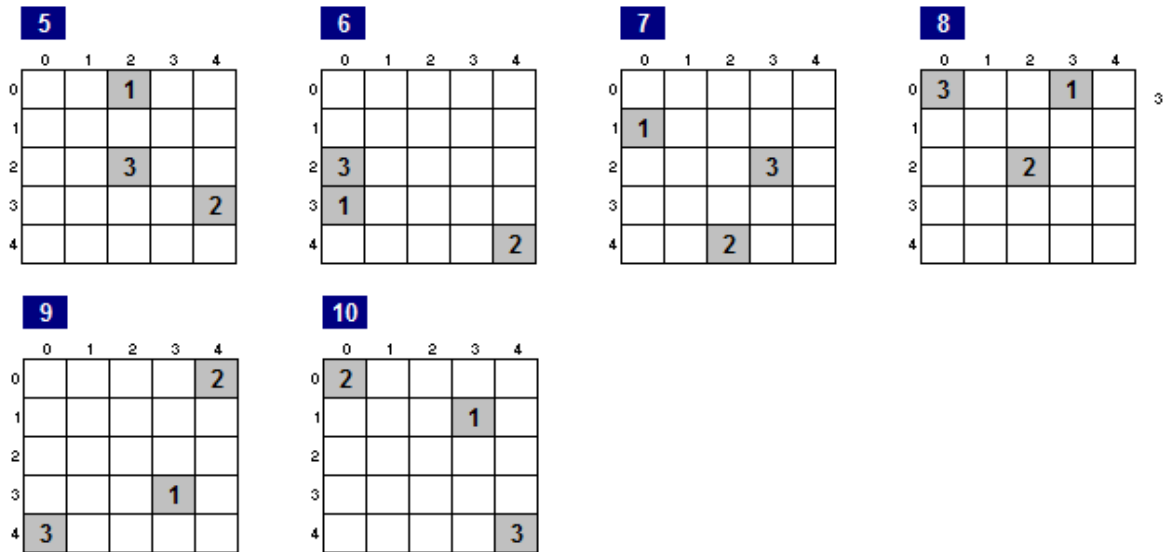
Palette de bleu	Codage RVB
	"102,204,204"
	"51,153,153"
	"0,102,102"
	"102,153,204"
	"0,204,255"
	"0,153,204"

Palette de jaune	Codage RVB
	"230,200,50"
	"255,255,120"
	"204,230,51"
	"153,153,51"
	"204,204,102"
	"110,100,0"

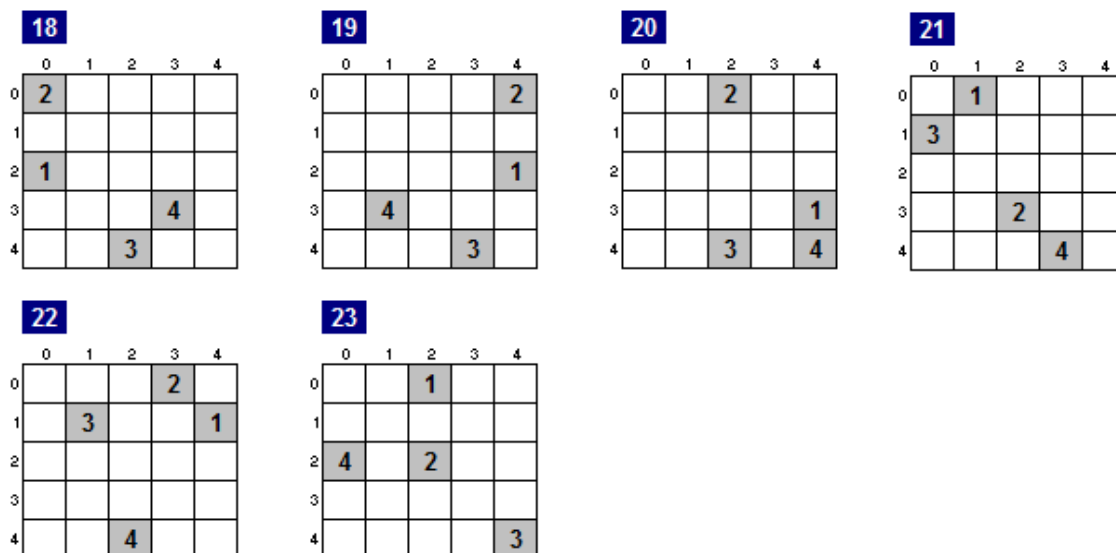
Palette de saumon	Codage RVB
	"255,204,153"
	"204,153,102"
	"153,102,51"
	"102,51,0"
	"255,150,70"
	"255,200,90"

Liste des patterns utilisés pour la localisation spatiale de couleurs

Patterns de niveau 3



Patterns de niveau 4



Patterns de niveau 5

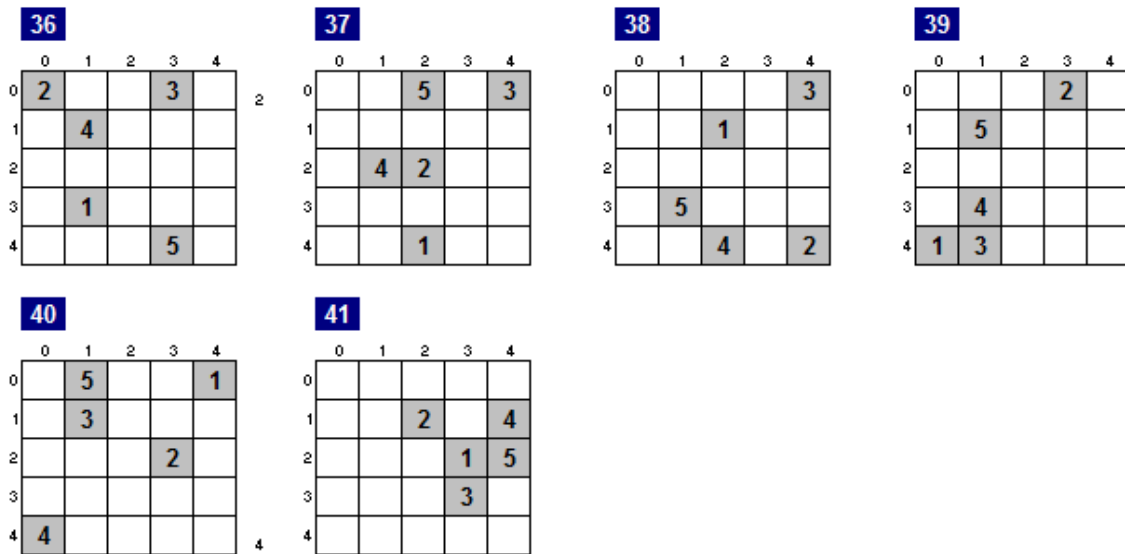


Tableau A1

Poids factoriels des 10 indices d'aléatorisation sur les trois facteurs issus de l'analyse en composantes principales

Indices	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
	Associations prépondérantes	Egalité d'usage entre les réponses	Aléatorisation
A comb	.82	.03	.29
TPI	-.87	-.00	-.30
Runs	.88	-.01	.15
PS	.93	-.02	.08
Erreurs	-.00	.83	.15
Coupon	-.02	.73	.09
Repetition Gap	-.01	-.85	.06
RNG	.28	.06	.90
RNG2	.07	.08	.79
PD	.25	.02	.90

Note. Les poids factoriels supérieurs à .70 sont indiqués en gras.

Tableau A2

Analyse de variance sur les scores du facteur 1 « Associations prépondérantes » en fonction du temps de présentation, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variabes	SC	Ddl	CM	F	p
Temps de présentation	1.35	1	1.35	1.13	0.291
Capacité de MDT	3.82	1	3.82	3.19	0.078
Temps de présentation*Capacité de MDT	0.34	1	0.34	0.28	0.597
Erreur	98.35	82	1.20		
Situation	2.38	1	2.38	5.81	0.018
Situation*Temps de présentation	0.39	1	0.39	0.95	0.333
Situation*Capacité de MDT	0.24	1	0.24	0.58	0.450
Situation*Temps de présentation*Capacité de MDT	0.46	1	0.46	1.12	0.294
Erreur	33.55	82	0.41		

Tableau A3

Analyse de variance sur les scores du facteur 2 « Egalité d'usage entre les réponses » en fonction du temps de présentation, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variabes	SC	Ddl	CM	F	p
Temps de présentation	0.04	1	0.04	0.05	0.825
Capacité de MDT	4.49	1	4.49	5.32	0.024
Temps de présentation*Capacité de MDT	0.22	1	0.22	0.26	0.610
Erreur	67.44	80	0.84		
Situation	0.04	1	0.04	0.07	0.799
Situation*Temps de présentation	0.35	1	0.35	0.65	0.421
Situation*Capacité de MDT	0.12	1	0.12	0.22	0.639
Situation*Temps de présentation*Capacité de MDT	0.10	1	0.10	0.18	0.671
Erreur	43.04	80	0.54		

Tableau A4

Analyse de variance sur les scores du facteur 3 « Aléatorisation » en fonction du temps de présentation, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variabes	SC	Ddl	CM	F	p
Temps de présentation	7.16	1	7.16	4.79	0.031
Capacité de MDT	0.08	1	0.08	0.05	0.823
Temps de présentation*Capacité de MDT	2.88	1	2.88	1.93	0.169
Erreur	125.54	84	1.49		
Situation	521.58	1	521.58	760.63	0.000
Situation*Temps de présentation	30.21	1	30.21	44.05	0.000
Situation*Capacité de MDT	0.01	1	0.01	0.02	0.894
Situation*Temps de présentation*Capacité de MDT	0.33	1	0.33	0.48	0.491
Erreur	57.60	84	0.69		

Annexe B : Empan Complexe Composite

L'Empan Complexe Composite : une validation française d'une tâche courte de mémoire de travail⁶

Introduction

Les empan complexes sont l'un des paradigmes les plus utilisés pour mesurer la MDT (voir Conway et al., 2005 pour une revue de la littérature à ce sujet). Ces mesures ont une bonne consistance interne et une bonne validité convergente (Redick et al., 2012), et sont stables au cours du temps (Klein & Fiss, 1999). Bien que portant sur une grande variété de matériel, comme par exemple des stimuli visuels, spatiaux, verbaux ou numériques, les empan complexes évaluent le même construit sous-jacent (Kane et al., 2004). Pour cette raison, ils sont souvent combinés pour obtenir une estimation de la capacité de MDT indépendante du type de matériel utilisé (voir par exemple Unsworth, Brewer & Spillers, 2011; Redick & Engle, 2011; McVay & Kane, 2012).

Le développement de l'empan complexe composite (ou ECC) a été motivé par deux considérations majeures : d'une part, la combinaison de plusieurs empan complexes au sein d'un même protocole expérimental conduit à des procédures longues et fatigantes ; d'autre part, peu d'empan complexes ont été validés en français. L'ECC répond à ces deux considérations. La tâche a été validée en français et inclut les versions abrégées de trois sous-tests : l'empan de lecture, l'empan de symétrie, et l'empan d'opérations.

Matériel et procédure

Les participants réalisent d'abord l'empan de lecture, puis l'empan de symétries, et enfin l'empan d'opérations. Ces trois sous-tâches commencent toujours pas un entraînement à l'aspect mémorisation (deux essais avec deux informations à retenir et un essai avec trois informations à retenir), puis un entraînement à l'aspect traitement (15 essais), et enfin un entraînement à la combinaison de ces deux aspects (deux essais avec deux informations à retenir et un essai avec trois informations à retenir). Pour chaque sous-test, la phase test correspond à la présentation de huit essais (empan de lecture et d'opération) ou de six essais (empan de symétrie) dans un ordre pseudo-aléatoire. Pour les empan de lecture et

⁶ Nous présentons une courte version en français de l'article de validation de l'Empan Complexe Composite. L'article complet est mis à disposition ; il se trouve après cette présentation.

d'opérations, la longueur des essais varie de 4 à 8 informations à retenir, avec deux essais par niveau pour les longueurs 5 à 7 et un seul essai pour les niveaux 4 et 8. Pour l'empan de symétrie, la longueur des essais varie de 3 à 6 informations à retenir, avec deux essais par niveau pour les longueurs 4 et 5 et un seul essai pour les longueurs 3 et 6.

On mesure pour chaque participant le nombre d'informations correctement rappelées pour chacun des sous-tests, puis on calcule une note z à partir de ces trois scores de façon à constituer un score composite de MDT.

Validation de la tâche

Les analyses ont été effectuées sur un échantillon de 974 participants. La consistance interne du score composite de MDT était satisfaisante, avec un alpha de Cronbach d'une valeur de .84. La fidélité test-retest, $r(298) = .77$, était également satisfaisante et similaire à celle reportée par Redick et al. (2012). Les coefficients de corrélation médians entre les sous-tests étaient inférieurs à ceux reportés par Redick et al. (2012), mais pas de façon disproportionnée, avec $r = .33$ entre les empan de lecture et de symétries, $r = .53$ entre les empan de lecture et d'opérations, et $r = .38$ entre les empan de symétries et d'opérations. Enfin, la validité convergente était également satisfaisante, avec une corrélation positive entre le score composite de MDT et le score dans les Matrices Avancées de Raven, $r(184) = .39$, $p < .001$, et une corrélation positive entre le score composite de MDT et le score sur un alpha span, $r(249) = .54$, $p < .001$. Ces valeurs étaient comparables à celles observées dans la littérature (Redick et al., 2012 ; Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, et Wittmann, 2000).

Conclusion

L'ECC est une tâche de MDT démontrant de bonnes qualités psychométriques et permet de mesurer la capacité de MDT aussi bien que les empan complexes classiques, tout en combinant plusieurs sous-tests et en étant plus rapide dans son administration qu'une combinaison des versions complètes de ces sous-tests.

The Composite Complex Span:
French Validation of a Short Working Memory Task

Corentin Gonthier^{a,b}, Noémie Thomassin^{a,c}, & Jean-Luc Roulin^{a,c}

^a Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, UMR CNRS 5105, Université Pierre Mendès France, BP 47, 38040 Grenoble Cedex 09, France

^b Department of Psychology, University of Grenoble, France

^c Department of Psychology, University of Savoy, France

Correspondence concerning this article should be addressed to Jean-Luc Roulin, Laboratoire LPNC, Domaine Universitaire de Jacob Bellecombette, BP 1104, 73011 Chambéry Cedex

E-mail: jean-luc.roulin@univ-savoie.fr

Abstract

Most individual differences studies in the field of working memory research use complex span tasks to measure working memory capacity. Various complex span tasks based on different materials have been developed, and these tasks have proven both reliable and valid; several complex span tasks are often combined to provide a domain-general estimate of working memory capacity with even better psychometric properties. The present work sought to address two issues. Firstly, having participants perform several full-length complex span tasks in succession makes for a long and tedious procedure. Secondly, few complex span tasks have been translated and validated in French. We constructed a French working memory task labeled the Composite Complex Span (CCS). The CCS included shortened versions of three classic complex span tasks: the reading span, symmetry span and operation span. We assessed the psychometric properties of the CCS, including test-retest reliability and convergent validity with Raven's Advanced Progressive Matrices and with an alpha span task; the CCS demonstrated satisfying qualities in a sample of 1093 participants. This work evidences that shorter versions of classic complex span tasks can yield valid working memory estimates. The materials and normative data for the CCS are also included.

Keywords

Working memory capacity; Complex span task; French validation; Psychometric properties; Short version

Working memory capacity (WMC), defined as the ability to maintain and manipulate information at the same time, is a central construct in human cognition. In particular, WMC is thought to play a role in a range of complex behaviors (Engle & Kane, 2004). Interestingly, WMC is subject to individual differences that appear relatively stable in time (Klein & Fiss, 1999); these individual differences are strongly related to fluid intelligence (Ackerman, Beier & Boyle, 2005) and more generally to performance in high-level cognitive tasks (Engle & Kane, 2004). It is therefore of interest to accurately measure individual differences in WMC.

The ubiquitous complex span tasks are certainly the most frequently used paradigm to assess working memory (for a review, see Conway et al., 2005; Redick et al., 2012). Complex spans are based on the model of simple span tasks, which require participants to memorize a series of stimuli presented in quick succession. Contrary to simple spans, however, complex spans interleave the presentation of to-be-remembered stimuli with a processing task – for example reading a sentence or solving a mathematical operation. This association of processing and storage requirements constitutes a direct operationalization of the definition of working memory. Complex spans typically demonstrate excellent psychometric properties (Conway et al., 2005; Redick et al., 2012): they have good internal consistency (Redick et al., 2012), stability over time (Klein & Fiss, 1999), convergent and criterion validity (Redick et al., 2012). By contrast, other tasks frequently used as working memory measures are not nearly as successful: for example, the backward span is more strongly associated with short-term memory than with working memory (e.g. Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999) and the *n*-back task demonstrates limited reliability as well as limited correlations with other working memory measures (Jaeggi, Buschkuhl, Perrig, & Meier, 2010, Redick & Lindsey, 2013).

Many different complex spans have been developed over the years. The seminal complex span was the reading span (Daneman & Carpenter, 1980). In the original version of the task, participants were asked to read a series of sentences and decide whether they were correct; the last word of each sentence had to be memorized for serial recall at the end of a trial. Other classic complex span tasks are the operation span, in which participants have to decide whether mathematical operations are correct while memorizing unrelated stimuli presented after each operation (Turner & Engle, 1989; Unsworth, Heitz, Schrock, & Engle, 2005), and the symmetry span, in which participants have to decide whether spatial displays are vertically symmetrical while memorizing spatial locations (Kane et al., 2004). Yet other complex span tasks exist, such as the counting span, navigation span or rotation span (see Kane et al., 2004). Despite being based on a variety of materials, such as visual, spatial,

verbal and numeric stimuli, all these complex span tasks seem to assess the same underlying construct: latent variable analyses generally indicate that complex span tasks load on a common, domain-general factor, and that this domain-general factor has better predictive validity than domain-specific factors (e.g. Kane et al., 2004). For these reasons, individual differences studies often combine several complex span tasks to obtain a domain-general estimate of WMC (for recent examples, see Unsworth, Brewer & Spillers, 2011; Redick & Engle, 2011; McVay & Kane, 2012).

The present work was motivated by two issues related to the practical use of complex span tasks. Firstly, although many researchers choose to combine multiple complex span tasks in the same protocol, this solution makes for a long procedure that can be tedious for the participant. Most studies employing more than one multiple complex span tasks have used the reading span, symmetry span and operation span; having a participant complete the most common versions of all three tasks (Unsworth et al., 2005) yields a total of 42 trials, or 192 stimuli to remember and 192 processing demands to carry out, without even taking into account the training phases for each task. This high number of trials makes it difficult to include other tasks in the same experimental session. It may also pose experimental problems by decreasing participant engagement in the task and increasing fatigue; this is not a trivial issue since complex spans are sensitive to task sequence, both because performing a complex span may decrease performance in subsequent tasks (Schmeichel, 2007) and because performance in complex span tasks can be lowered if demanding tasks have been previously completed in the same testing session (Healey, Hasher, & Danilova, 2011). Importantly, the large number of trials included in common complex spans comes from the fact that they were designed as stand-alone tasks, sufficient to obtain a psychometrically sound measure of WMC by themselves. However, this constraint is not unavoidable: since the different complex spans are known to reflect a common underlying construct, we may consider the association of multiple complex spans as a single working memory test. If individual complex spans are viewed as subtests of a larger test, then they do not need to have individually sufficient psychometric properties and the number of trials per task can be reduced. In other words, it is possible to construct a working memory test including several complex span tasks serving as subtests, with only a low number of trials per subtest, as long as the total number of trials across all subtests is sufficient to obtain a reliable measure.

Secondly, the range of available complex span tasks is limited for French-speaking samples. Two versions of the reading span task exist in French, but they both differ significantly from the widely used English-speaking version of the task (Unsworth et al.,

2005). The first version (Desmette, Hupet, Schelstraete, & van der Linden, 1995) is not computerized and only includes correct sentences, which means the only processing requirement is to read the sentences. The second version (Delaloye, Ludwig, Borella, Chicherio, & de Ribaupierre, 2008) is computerized and includes incorrect sentences, but the sentences differ markedly in structure from English-speaking versions – their average length is 5.5 words (whereas the average length is 12.6 words in Unsworth et al., 2005), and half the sentences begin with the word *they*. Both versions of the task require participants to remember the last word of each sentence, rather than unrelated stimuli (as is the case in Unsworth et al., 2005); the words also have to be recalled orally, which precludes using the task in group sessions. As for other complex spans such as the symmetry span and operation span, they do not rely on verbal materials, which means they could be adapted by simply translating the instructions; however, there may be differences in normative data between French and English-speaking samples. In particular, Unsworth and colleagues (Unsworth et al., 2005) recommend that all participants with accuracy lower than 85% on the processing task be excluded from the sample; we have observed that a very high number of participants consistently fail to reach this level of performance in work from our own lab, especially on the operation span.

In order to address both these issues, we constructed the Composite Complex Span (CCS), a French-speaking composite working memory task. The CCS included three subtests: the reading span, symmetry span and operation span. These tasks were chosen because they are the most widespread complex span tasks, because they have been validated in very large samples (Redick et al., 2012), and because they represent a variety of materials: with these three subtests, the CCS includes numeric, visuospatial and verbal content. All three subtests were designed to mimic the widespread English-speaking versions of the tasks (Unsworth et al., 2005). Because the three subtests were not intended to be used in isolation, they were shortened relative to the original versions by halving the number of trials. The CCS was entirely computerized and did not require oral responses from the participants, thus allowing for group administration.

Method

The Composite Complex Span

The CCS includes three subtests: the reading span, symmetry span and operation span, presented in this order. The whole procedure takes approximately 25 minutes. All three subtests have the same structure: in each trial, participants have to solve a series of simple

processing problems while memorizing unrelated stimuli presented after each problem. At the end of a trial, a grid containing all possible to-be-remembered stimuli appears on the screen; participants have to click the cases of the grid corresponding to the stimuli they have seen, in the correct order. An illustration of the operation span subtest is presented in Figure A1.

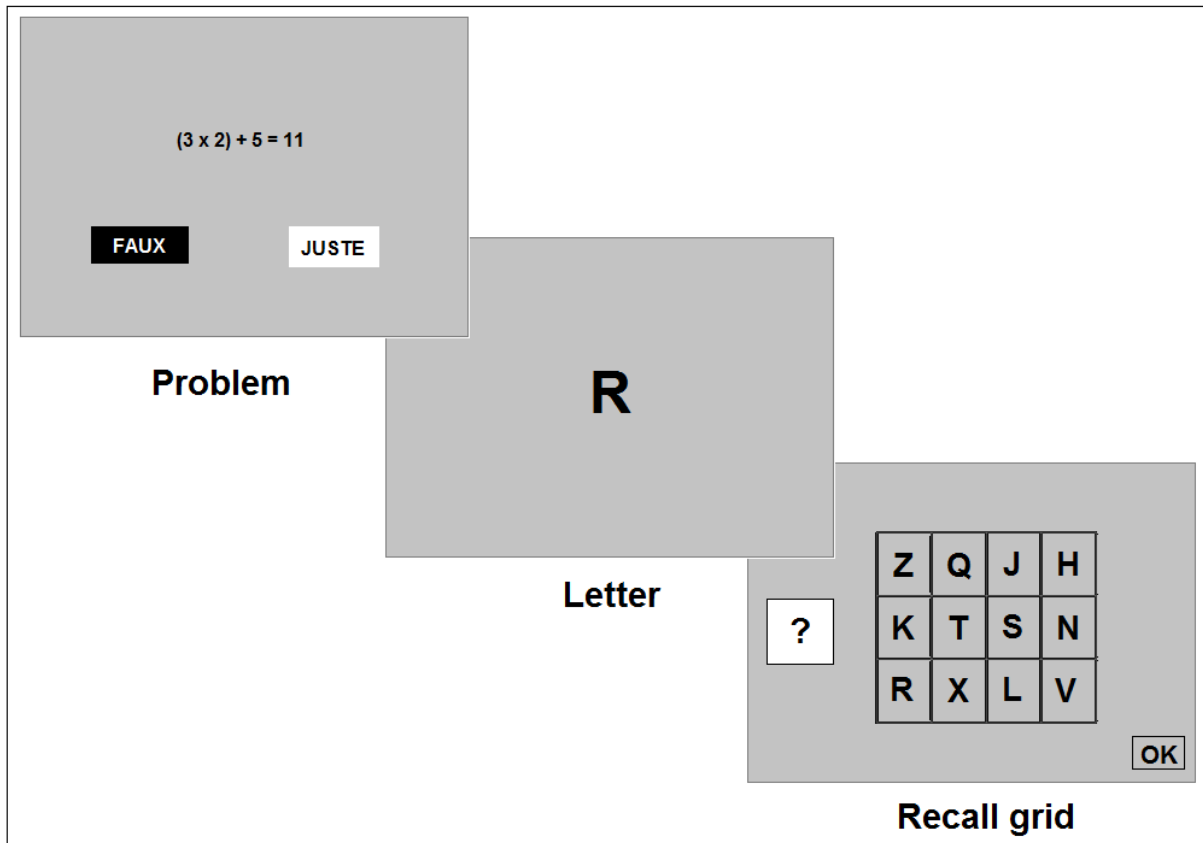


Figure A1. Illustration of the operation span subtest of the CCS. A series of problems and letters to memorize is followed by the recall grid.

The reading span subtest requires participants to tell whether sentences are correct while memorizing unrelated digits; the symmetry span requires participants to tell whether spatial displays are vertically symmetrical while memorizing spatial locations within a grid; and the operation span requires participants to tell whether mathematical operations are correct while memorizing consonants. The difficulty of the reading span and operation span ranges from a set size of 4 (four processing problems to solve interleaved with four stimuli to memorize) to a set size of 8. For the symmetry span, set sizes range from 3 to 6. These set sizes were used because they produced the most satisfying distribution of scores during pilot testing. A general notion in psychometrics is that less sensitivity is needed at the extremes of a scale because most participants fall in the middle of a normal distribution; as a consequence,

each subtest includes a single trial for the lowest and highest set sizes and two trials for all other set sizes. The trials are presented in pseudo-random order to ensure that participants cannot anticipate the set size of the current trial (Unsworth et al., 2005).

Each subtest is preceded by a training phase including three practice sessions, based on the procedure used by Unsworth and colleagues (Unsworth et al., 2005). Participants receive feedback on their performance after each trial in the practice sessions. The first practice session trains participants to memorize stimuli without a concurrent processing demand; for example in the reading span training, participants simply have to memorize and recall a series of digits. Participants complete three practice trials in this first session (one trial each of set sizes 2, 3 and 4). The second practice session trains participants to perform the processing task, without a memory requirement: for the reading span training, participants only have to tell whether sentences are correct. Participants initially complete fifteen practice trials in this session; if they fail to correctly answer at least 65% of trials, however, the practice session is repeated until they meet this criterion. There is no time constraint on this second practice session, but the participant's response times are registered and serve to calculate a time limit to complete the processing problems in the subsequent phases of the task. The time limit is calculated as the participant's mean response time plus 2.5 standard deviations (Unsworth et al., 2005). If the participant fails to answer the processing problem within this delay during the third practice session or the real block of trials, the program registers an error and moves on to the next stimulus. This time limit ensures that participants cannot freely rehearse the series of to-be-remembered stimuli while they are supposed to answer a processing problem. The third and final practice session trains participants to perform the memory and processing tasks simultaneously and is similar to the real block of trials. Prior to beginning the third session, participants are instructed that the memory and the processing tasks are equally important, and that they should strive to remain above 85% of accuracy on the processing task at all times. Participants again complete three practice trials in this session (one trial of set size 2 and two trials of set size 3).

Stimuli For The Complex Span Tasks

The reading span task.

To-be-remembered stimuli are digits from 1 to 9, counterbalanced across trials. The same digit never appears twice in the same trial, and no trial includes a meaningful sequence of numbers. The sentences for the processing task are based on the stimuli used by Desmette and colleagues (Desmette et al., 1995). Half the sentences were made nonsensical by replacing one select word by another word incongruent with the meaning. All nonsensical

sentences remained syntactically correct – e.g., *Un étranger apparut sur le seuil et tendit à la fille un petit sac de fenêtres* [A stranger appeared on the doorstep and handed the girl a small bag of windows]. The position of the incongruent word was comprised between the middle point and the end of the sentence, counterbalanced across all trials. Each trial includes between 25% and 75% of incorrect sentences.

The symmetry span task.

To-be-remembered stimuli are sequentially presented spatial locations in a 4x4 matrix; the stimuli are displayed to the participant as one square of the matrix coloured in red. Spatial locations are counterbalanced across trials; the same location never appears twice within the same trial; and the locations never form a meaningful spatial pattern. The spatial displays for the symmetry judgment task were re-used from the classic computerized version of the symmetry span (Unsworth et al., 2005) with permission from the authors. These spatial displays are constituted of black and white squares in a 8x8 matrix; half the displays are vertically symmetrical, and each trial includes between 25% and 75% of vertically symmetrical displays.

The operation span task.

To-be-remembered stimuli are consonant letters chosen for their visual and phonological distinctivity (for example, the task includes the letter N but not the letter M), counterbalanced across trials. The same letter never appears twice within the same trial, and the letters never form a meaningful sequence. The mathematical operations for the processing task follow the same structure as the original operation span (Turner & Engle, 1989; Unsworth et al., 2005). Each operation string includes two simple operations and a stated result – e.g., $(2 \times 2) + 7 = 11$. The operands include all digits from 1 to 9; the first operation in the string can be a multiplication or a division and the second operation can be an addition or a subtraction, counterbalanced across trials. The correct result of the operation string is always an integer comprised between 1 and 20. The stated result is incorrect in half the operation strings, and each trial includes between 25% and 75% of correct operations.

Scoring Method

Performance in the CCS was scored with the partial credit load method (Conway et al., 2005); in other words, participants are awarded one point per correctly recalled stimulus in each trial. With this scoring method, a participant correctly recalling four out of five stimuli in a trial of set size 5 would get four points. The partial credit method is the preferred scoring method for complex span tasks (Conway et al., 2005; Redick et al., 2012); we adopted the load version after pilot testing because it produced slightly more normal distributions in our

sample. This scoring method yields one working memory score for each subtest. Working memory scores on each subtest are then transformed into z-scores and the three z-scores are averaged, yielding a single composite working memory score. Processing accuracy scores, calculated as the percentage of processing problems correctly answered by the participant, are also retrieved for each subtest. Participants with less than 85% accuracy on a processing task are typically excluded from the sample (Conway et al., 2005; Unsworth et al., 2005); however, pilot testing suggested that this criterion is too strict in French student samples. For this reason, we instead elected to exclude participants who score in the bottom 5th percentile of the distribution of processing accuracy scores. When a participant scores below the exclusion criterion in a single subtest, his working memory score is calculated as the average of his scores on the two other subtests; when a participant scores below the criterion in two or all three subtests, his data is discarded entirely.

Validation Procedure

Convergent validity tasks.

Two tasks were used to assess the predictive validity of the CCS. The first task was set II of Raven's Advanced Progressive Matrices (APM; Raven, Raven & Court, 1998), a test of fluid intelligence. Set II of the APM is constituted of 36 items of ascending difficulty; each item comprises a matrix of nine geometric patterns that follow various logical rules. On each item, the bottom-right piece of the matrix is missing, and the participant has to select the correct piece to complete the matrix among eight alternatives. Working memory demonstrates consistent correlations with fluid intelligence, and the APM are frequently used to test convergent validity when validating complex span tasks (e.g. Unsworth et al., 2005; Redick et al., 2012).

Because we wanted to ensure that the CCS correlates with working memory tasks other than complex spans, we choose the alpha span as a second convergent validity measure (Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, & Wittmann, 2000). This working memory task requires participants to read a series of words and to recall the first letter of each word in alphabetical order. The alpha span is not a complex span with interleaved presentation of processing problems and to-be-remembered stimuli; instead, the processing requirement in the task is to rearrange the first letters of each word in alphabetical order. We constructed a French version of the alpha span for this validation study. The alpha span included five practice trials with set sizes ranging from 2 to 8, and eight target trials with set sizes ranging from 4 to 8, similar to the reading span and operation span subtests.

Validation sample.

A total of 1093 participants completed the CCS (mean age = 20.79 years, $SD = 4.61$; 142 male). These data were collected over the course of three years, in the context of several different experiments not reported here. All participants were university students participating for course credit; they were recruited at the University of Savoy or at the University of Grenoble, France. The following inclusion criteria were observed: having French as a first language, having no history of neurological disorders, and taking no psychoactive drugs. All participants provided written informed consent prior to the experimental session. A subset of these 1093 participants ($N = 303$) performed the task on two separate occasions, allowing for the examination of test-retest reliability. Two other subsets additionally completed either the APM ($N = 184$) or an alpha span ($N = 249$) in the same session as the CCS, allowing for the examination of convergent validity.

Results

Descriptive statistics

Among the total sample of 1093 participants, 20 participants (1.8%) were excluded because they failed to reach the accuracy criterion on the processing tasks in two or all three subtests. Another 99 participants (9.1%) failed to reach the accuracy criterion in a single subtest, and their working memory scores were calculated on the basis of the two other subtests. The remaining 974 participants (89.1%) performed adequately in all three subtests. Most participants needed a single practice session on the processing task to reach the accuracy criterion in each subtest; more than one practice session was required for 12 participants in the reading span (1.1%), 6 participants in the symmetry span (0.5%), and 33 participants in the operation span (3.0%).

Descriptive statistics for working memory scores and processing accuracy scores are presented in Table A1. Overall, the working memory scores for each subtest were normally distributed. For the reading span and symmetry span subtests, processing accuracy scores showed high kurtosis coefficients, indicating a floor effect (similar to Redick et al., 2012); this floor effect on processing scores is a desirable feature of complex spans since the processing task is only intended as a distraction rather than a sensitive psychometric measure (Redick et al., 2012). For the operation span, processing accuracy scores were approximately normally distributed, indicating the absence of a floor effect.

Table A1

Descriptive statistics for working memory and processing accuracy scores

Measure	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
Composite working memory score	-0.01	0.80	-0.60	0.57
Reading span				
Working memory score	32.12	8.71	-0.22	-0.39
Processing accuracy score	88.09	9.81	-2.10	6.06
Symmetry span				
Working memory score	18.37	5.38	-0.55	-0.23
Processing accuracy score	89.55	8.89	-1.79	5.37
Operation span				
Working memory score	28.88	7.48	-0.87	0.68
Processing accuracy score	80.93	12.32	-1.02	1.00

Working memory and processing accuracy scores as a function of percentile in the sample are presented in Table A2. These data confirm the presence of a floor effect for processing accuracy on the reading span and symmetry span and the absence of this floor effect for processing accuracy on the operation span. In the latter case, most participants demonstrated adequate performance on the processing task except for participants in the bottom 5th percentile who scored barely above chance level. No floor or ceiling effect appeared for working memory scores on any subtest.

Reliability

Internal consistency of the working memory scores was computed for each subtest with the Kane et al. (2004) method: the proportion of correctly recalled stimuli was calculated for each trial and a Cronbach's α was calculated across all trials. Cronbach's α were satisfying, with values above .70 for the reading span ($\alpha = .72$), the symmetry span ($\alpha = .72$) and the operation span ($\alpha = .76$). These values are comparable to the coefficients reported by Redick et al. (2012), indicating that the decrease in the number of trials did not critically affect the reliability of the subtests. The internal consistency was even higher for the composite working memory score ($\alpha = .84$).

Table A2

Percentiles for working memory and processing accuracy scores

Measure	5 th	25 th	33.3 th	50 th	66.6 th	75 th	95 th
Composite working memory score	-1.41	-0.52	-0.33	0.04	0.37	0.61	1.14
Reading span							
Working memory score	18	26	28	32	37	39	46
Processing accuracy score	71	85.5	87.5	89.5	93.75	95	98
Symmetry span							
Working memory score	9	14	16	19	22	23	26
Processing accuracy score	74	85.25	89	92.5	92.5	96.5	100
Operation span							
Working memory score	15	23	27	30	33	34	39
Processing accuracy score	57.5	75	77.5	82.5	87.5	90	97.5

Note. The possible range of working memory scores is 0-48 for the reading span and the operation span and 0-27 for the symmetry span.

Test-retest reliability of the working memory scores was calculated as the correlation between scores on the first session and scores on the second session. Correlation coefficients were moderate for the reading span, $r(286) = .61$, the symmetry span, $r(287) = .69$, and the operation span, $r(284) = .66$. These values are lower than the test-retest reliability coefficients reported by Redick et al. (2012). However, test-retest reliability was higher and above .70 for the composite working memory score, $r(298) = .77$; this value is similar to the results reported in Redick et al. (2012) and indicates satisfying test-retest reliability.

On average, working memory scores were higher on the second session for the symmetry span, the operation span, and the composite working memory score (all $ps < .001$), indicating a practice effect. However, the effect was relatively small; on average, participants recalled 1.6 more stimuli on the second session of the symmetry span (out of a total of 27) and 1.7 more stimuli on the second session of the operation span (out of a total of 48). The practice effect did not reach significance for the reading span, $F(1, 285) = 2.44$, $p = .12$, $\eta^2_p = .01$; on average, participants recalled 0.8 more stimuli on the second session of this subtest (out of a total of 48).

Validity

Convergent validity was assessed by examining the correlations between the three subtests. For reference, Redick et al. reported the following median correlation coefficients between the reading span, symmetry span and operation span in four different samples: $r = .46$ for the reading span and symmetry span, $r = .62$ for the reading span and operation span, and $r = .46$ for the symmetry span and operation span. In the CCS, working memory scores were moderately correlated across the three subtests (see Table A3). As can be seen, these correlation coefficients are lower than those reported by Redick et al. (2012), but not disproportionately so, suggesting that the short versions of the subtests retained satisfying validity.

Table A3

Cross-task correlations for the working memory scores

Measure	Reading span	Symmetry span
Reading span	-	
Symmetry span	.33	-
Operation span	.53	.38

Concurrent validity was assessed as the correlation between the composite working memory score and performance on the APM and the alpha span task. As expected, the working memory composite score correlated with Raven's APM, $r(184) = .39, p < .001$. This correlation is close to usually observed values: Redick et al. (2012) reported a median coefficient of $r = .32$ for the correlation between complex span tasks and Raven's matrices in 11 different samples. The working memory composite score also correlated with the alpha span, $r(249) = .54, p < .001$. Again, this correlation is close to the expected value: for example, Oberauer et al. (2000) reported a .49 correlation between a similar alpha span task and a version of the reading span.

Discussion

This article presented the CCS, a composite working memory task including short versions of three complex spans, the reading span, symmetry span and operation span. The CCS demonstrated satisfying reliability and validity. Observed values for internal consistency, test-retest stability, and concurrent validity were quite close to the values reported for English-speaking versions of the subtests (Redick et al., 2012). Performance on the CCS appeared relatively stable in time, and the task showed the expected correlations with

Raven's APM and with an alpha span task. Overall, the CCS seems to constitute an adequate task to measure domain-general working memory capacity in French-speaking samples.

Despite including only half as many trials in total as the three classic computerized versions of the subtests (Unsworth et al., 2005), the CCS shows similar psychometric properties. The satisfying qualities of the CCS demonstrate that short versions of complex span tasks may be used to provide an accurate measure of working memory; in other words, it is not necessary to have participants complete full versions of multiple complex spans to obtain a valid measure of their working memory capacity. While the CCS has been validated in French, it is straightforward to generalize this conclusion to other languages. However, it should be noted that the composite working memory score is more reliable than scores on the individual subtests; this reflects the fact that the CCS should be viewed as a unitary task assessing domain-general working memory, rather than as a task battery assessing working memory for different types of materials.

The only major difference between the CCS and original versions of the three complex spans resides in performance on the processing tasks. Published versions of English-speaking complex spans typically recommend to exclude participants who score lower than 85% on the processing task (Conway et al., 2005; Unsworth et al., 2005), which results for example in about 15% of exclusions for the operation span in American samples (Unsworth et al., 2005). As can be seen in Table A3, applying the same criterion in our sample would result in excluding approximately 25% of participants on the reading span and symmetry span and more than 50% of participants on the operation span subtest. Why such a discrepancy? The instructions, the practice phases and the difficulty of the processing tasks are all identical in the CCS and in the original versions of the complex spans. The most likely explanation is a true difference between the samples; for the operation span subtest in particular, a significant portion of French psychology students come from Arts divisions and are ill-at-ease with mathematical operations. The fact that complex spans have reduced validity when the processing task is too difficult for participants (Turner & Engle, 1989) may be a cause for concern. However, most participants in our sample appeared to adequately carry out the processing tasks, and the global CCS score demonstrated satisfying validity. For these reasons, the best solution is probably to retain the same processing task difficulty as the original versions of the tasks for the sake of comparability, but to adopt less stringent exclusion criteria. In this sense, discarding the data of a subtest for participants who score in the bottom 5th percentile in the processing task seems to be an adequate choice.

The CCS relies on the idea that combining working memory tasks related to different types of materials is a great way to eliminate content-specific variance and to obtain a valid, domain-general measure of working memory capacity (Kane et al., 2004). However, all three subtests in the CCS use the same complex span structure; as a consequence, it is likely that performance in the CCS still includes method-specific variance. Complex span tasks are not the only valid working memory measures: a wide variety of very different tasks can also yield useful estimates of working memory capacity, even tasks without clear processing and storage requirements (Oberauer, 2005). To obtain a truly general measure of working memory capacity, it may be desirable to combine complex span tasks with other working memory tasks (Redick et al., 2012). Since the alpha span is not a complex span task and demonstrates a significant correlation with the CCS, replacing the reading span subtest with the alpha span may partially solve this problem in studies where limiting method-specific variance is important.

In summary, the CCS constitutes a short working memory task suitable to obtain a domain-general estimate of working memory capacity. Despite being shorter than classic complex span tasks, the CCS demonstrated satisfying psychometric properties in a large French sample.

Acknowledgments

The CCS and the alpha span task scripts are readily available from the authors. We would like to thank Randy Engle and Martial van der Linden for kindly authorizing the use of material from their versions of the symmetry span and reading span, respectively.

References

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? *Psychological Bulletin*, *131*(1), 30-60. doi: 10.1037/0033-2909.131.1.30
- Conway, A. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 769-786. doi:10.3758/BF03196772
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*(4), 450-466. doi: 10.1016/s0022-5371(80)90312-6

- Delaloye, C. C., Ludwig, C. C., Borella, E. E., Chicherio, C. C., & de Ribaupierre, A. A. (2008). L'Empan de lecture comme épreuve mesurant la capacité de mémoire de travail: Normes basées sur une population francophone de 775 adultes jeunes et âgés. = The Reading Span as a measure of working memory capacity: Norms based on a French speaking population of 775 younger and older adults. *European Review Of Applied Psychology / Revue Européenne De Psychologie Appliquée*, 58(2), 89-103. doi:10.1016/j.erap.2006.12.004
- Desmette, D., Hupet, M., Schelstraete, M., & van der Linden, M. (1995). Adaptation en langue française du 'Reading Span Test' de Daneman et Carpenter (1980). = A French version of M. Daneman and P. A. Carpenter's (1980) Reading Span Test (RST). *L'année Psychologique*, 95(3), 459-482. doi:10.3406/psy.1995.28842
- Engle, R. W., & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *Psychology of Learning & Motivation*(44), 145.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 309-331. doi: 10.1037/0096-3445.128.3.309
- Healey, M., Hasher, L., & Danilova, E. (2011). The stability of working memory: Do previous tasks influence complex span?. *Journal Of Experimental Psychology: General*, 140(4), 573-585. doi:10.1037/a0024587
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394-412. doi:10.1080/09658211003702171
- 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. doi: 10.1037/0096-3445.133.2.189
- Klein, K., & Fiss, W. H. (1999). The reliability and stability of the Turner and Engle working memory task. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 31(3), 429-432. doi:10.3758/BF03200722

- McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Drifting from slow to “d’oh!”: Working memory capacity and mind wandering predict extreme reaction times and executive control errors. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(3), 525-549. doi:10.1037/a0025896
- Oberauer, K. (2005). The Measurement of Working Memory Capacity. In O. Wilhelm & R. W. Engle (Eds.), *Handbook of understanding and measuring intelligence* (pp. 393-407). Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc. doi:10.4135/9781452233529.n22
- Oberauer, K., Süß, H. M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity—facets of a cognitive ability construct. *Personality and individual differences*, 29(6), 1017-1045. doi:10.1016/S0191-8869(99)00251-2
- Raven, J., Raven, J. C., & Court, J. H. (1998). *Raven manual: Section 4, Advanced Progressive Matrices, 1998 edition*. Oxford, UK: Oxford Psychologists Press.
- Redick, T. S., Broadway, J. M., Meier, M. E., Kuriakose, P. S., Unsworth, N., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2012). Measuring working memory capacity with automated complex span tasks. *European Journal Of Psychological Assessment*, 28(3), 164-171. doi:10.1027/1015-5759/a000123
- Redick, T. S., & Engle, R. W. (2011). Integrating working memory capacity and context-processing views of cognitive control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(6), 1048-1055. doi: 10.1080/17470218.2011.577226
- Redick, T. S., & Lindsey, D. B. (2013). Complex span and n-back measures of working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(6), 1102-1113. doi:10.3758/s13423-013-0453-9
- Schmeichel, B. J. (2007). Attention control, memory updating, and emotion regulation temporarily reduce the capacity for executive control. *Journal Of Experimental Psychology: General*, 136(2), 241-255. doi:10.1037/0096-3445.136.2.241
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2), 127-154. doi: 10.1016/0749-596x(89)90040-5

Unsworth, N., Brewer, G. A., & Spillers, G. J. (2011). Variation in working memory capacity and episodic memory: Examining the importance of encoding specificity. *Psychonomic bulletin & review*, 18(6), 1113-1118. doi: 10.3758/s13423-011-0165-y

Unsworth, N., Heitz, R. P., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2005). An automated version of the operation span task. *Behavior Research Methods*, 37(3), 498-505. doi:10.3758/BF03192720

Annexe C : Résultats annexes de l'Étude 3 et exemple de verbalisations liées aux stratégies

Tableau C1

Poids factoriels des 10 indices d'aléatorisation sur les trois facteurs issus de l'analyse en composantes principales conduite sur les données de l'Étude 3

Indices	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
	Associations prépondérantes	Egalité d'usage entre les réponses	Aléatorisation
A comb	0,85	- 0,03	0,28
TPI	- 0,71	0,09	- 0,48
Runs	0,90	0,13	0,22
PS	0,91	0,09	0,14
Erreurs	0,08	0,87	0,27
Coupon	- 0,05	0,78	0,19
Repetition Gap	- 0,11	- 0,90	- 0,02
RNG	0,37	0,21	0,86
RNG2	0,02	0,49	0,22
PD	0,22	0,18	0,93

Note. Les poids factoriels supérieurs à .70 sont indiqués en gras.

Tableau C2

Analyse de variance sur les scores du facteur 1 « Associations prépondérantes » en fonction de la tâche, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variables	SC	Ddl	CM	F	p
Tâche	2.18	1	2.18	1.30	0.257
Capacité de MDT	5.39	1	5.39	3.21	0.076
Tâche*Capacité de MDT	1.32	1	1.32	0.79	0.378
Erreur	159.54	95	1.68		
Situation	31.74	1	31.74	89.79	0.000
Situation*Tâche	0.65	1	0.65	1.83	0.179
Situation*Capacité de MDT	0.07	1	0.07	0.20	0.657
Situation*Tâche*Capacité de MDT	1.04	1	1.04	2.94	0.089
Erreur	33.58	95	0.35		

Tableau C3

Analyse de variance sur les scores du facteur 2 « Egalité d'usage entre les réponses » en fonction de la tâche, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variab les	SC	Ddl	CM	F	p
Tâche	0.01	1	0.01	0.01	0.906
Capacité de MDT	2.97	1	2.97	4.69	0.033
Tâche*Capacité de MDT	0.18	1	0.18	0.28	0.600
Erreur	58.78	93	0.63		
Situation	23.24	1	23.24	66.23	0.000
Situation*Tâche	1.19	1	1.19	3.39	0.069
Situation*Capacité de MDT	0.06	1	0.06	0.17	0.681
Situation*Tâche*Capacité de MDT	0.57	1	0.57	1.61	0.207
Erreur	32.64	93	0.35		

Tableau C4

Analyse de variance sur les scores du facteur 3 « Aléatorisation » en fonction de la tâche, de la capacité de MDT, et de la situation, ainsi que des interactions entre ces variables

Variab les	SC	Ddl	CM	F	p
Tâche	0.83	1	0.83	0.95	0.332
Capacité de MDT	0.54	1	0.54	0.61	0.435
Tâche*Capacité de MDT	0.17	1	0.17	0.19	0.661
Erreur	81.78	93	0.88		
Situation	1516.03	1	1516.03	2080.36	0.000
Situation*Tâche	1.74	1	1.74	2.39	0.126
Situation*Capacité de MDT	0.06	1	0.06	0.08	0.773
Situation*Tâche*Capacité de MDT	0.11	1	0.11	0.15	0.703
Erreur	67.77	93	0.73		

Exemple de verbalisations liées aux différents types de stratégies :

Aucune stratégie ou stratégies élémentaires	"J'ai essayé de prendre en photo la grille" "J'ai fait confiance à ma mémoire visuelle"
Stratégie basée sur les localisations	"Je regardais juste les pions et pas les couleurs" "Je traçais des lignes entre les différents points pour les retenir"
Stratégie basée sur une simplification de l'espace	"J'ai découpé la matrice en quatre carrés plus petits et je regardais les pions dans chaque carrés" "Je comptais les pions par lignes et par colonnes"
Stratégie basée sur la forme	"Je regardait si les pions formaient des formes en particulier"
Stratégie basée sur un chemin	"Je faisais un chemin du pion le plus clair au pion le plus foncé" (ou inversement)
Stratégie de compromis	"Je repérais d'abord la couleurs la plus flashy", "Je mémorisais le pion le plus clair et le plus foncé, et je regardais la localisation des autres"

Annexe D : Caractéristiques du matériel de l'Étude 5

Tableau D1

Mots de la liste 1 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
PLAFOND	10,34	8	2
JANVIER	8,34	7	2
PIRATE	8,14	6	2
CHARBON	9,24	8	2
CAILLOU	10,02	7	2
TOMBEAU	10,22	8	2
SCANNER	8,56	7	2
GENTIL	9,98	7	2
COUDE	10,19	6	1
BŒUF	10,39	5	1
FOUET	8,56	5	1
BOXE	9,32	4	1
FAIBLE	10,02	7	1
POIS	8,09	4	1
LARGE	8,63	6	1
FLOT	10,28	4	1

Tableau D2

Mots de la liste 2 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
BROUILLARD	10,88	11	2
MOBILE	8,01	7	2
FOURMI	9,61	7	2
RASOIR	8,92	7	2
RITUEL	8,82	7	2
SODA	10,23	4	2
BALCON	10,53	6	2
JETON	10,27	6	2
BARQUE	10,4	7	1
FREIN	10,25	5	1
PACTE	8,12	5	1
PROIE	10,61	6	1

PLEUR	9,52	5	1
MULE	9,62	5	1
GRIFFE	8,11	7	1
SOIE	10,38	5	1

Tableau D3

Mots de la liste 3 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
PORTAIL	8,61	7	2
AFFICHE	9,78	8	2
INSULTE	10,49	8	2
GRANDEUR	8,75	9	2
BALLET	8,66	6	2
MOTEL	9,43	5	2
VAPEUR	8,02	6	2
APPUI	8,81	6	2
RONDE	9,54	5	1
LITRE	10,19	6	1
PINCE	9	5	1
FICHE	10,46	5	1
CANNE	10,91	6	1
COTE	8,48	4	1
BLANCHE	8,31	7	1
TROUSSE	8,79	8	1

Tableau D4

Mots de la liste 4 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
TAMBOUR	10,2	7	2
FINANCE	8,03	8	2
ORBITE	9,81	7	2
BOUCHER	8,26	8	2
REFUS	9,02	5	2
BIJOU	8,37	5	2
AUTEL	8,27	5	2
PRATIQUE	10,15	9	2
COMBLE	8,56	6	1
STRESS	10,85	6	1

HACHE	10,23	6	1
DINDE	9,32	5	1
COURT	8,39	5	1
MARS	9,75	4	1
BROSSE	8,43	7	1
COLLE	8,11	6	1

Tableau D5

Mots de la liste 5 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
COIFFURE	10,46	9	2
POIGNET	10	8	2
POKER	10,76	5	2
OBSTACLE	10,65	8	2
CONCEPT	8,66	7	2
WAGON	10,24	6	2
IMPACT	9,54	7	2
MAUDIT	8,02	7	2
NONNE	8,46	5	1
PROPRE	10,04	6	1
OIE	9,15	4	1
PAIE	8,4	4	1
BORNE	8,35	6	1
STEAK	10,76	6	1
VERT	10,91	5	1
PAILLE	9,43	7	1

Tableau D6

Mots de la liste 6 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
MINEUR	8,79	6	2
ORTEIL	9,71	6	2
ARMOIRE	9,79	8	2
RUBAN	8,49	6	2
MIGNON	9,02	9	2
CITRON	10,92	6	2
FRISSON	8,62	8	2
CISEAU	8,72	7	2

RAIL	9,31	4	1
VASE	10,74	4	1
BULLE	8,11	5	1
GRIPPE	8,22	6	1
CRABE	8,14	6	1
POUX	10,41	4	1
GRAISSE	9,09	7	1
RUSE	9,98	4	1

Tableau D7

Mots de la liste 7 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
OUBLI	8,02	5	2
CULOT	9,73	6	2
REMORDS	10,67	7	2
ADJOINT	9,42	7	2
CORTEX	8,68	6	2
BONNET	8,37	6	2
MORAL	10,27	6	2
ESCROC	9,27	7	2
FRITE	9,33	5	1
SIMPLE	10,67	7	1
MOINS	10,35	5	1
PLEIN	9,7	6	1
TORCHE	8,09	7	1
PLANQUE	9,1	8	1
BOUC	8,49	4	1
SEAU	9,01	4	1

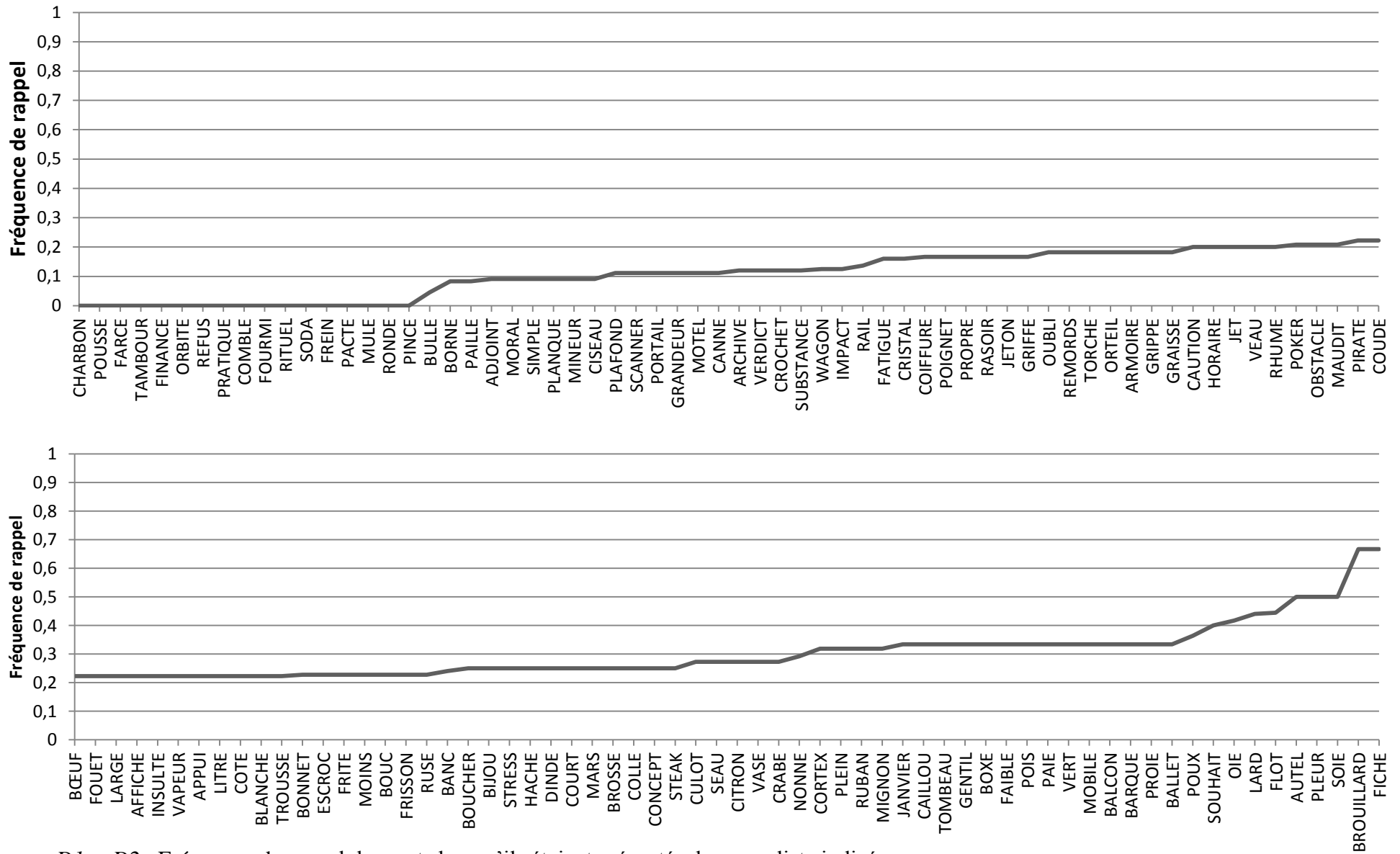
Tableau D8

Mots de la liste 8 des Études 5A et 5B et leur fréquence d'apparition, leur nombre de lettres et leur nombre de syllabes

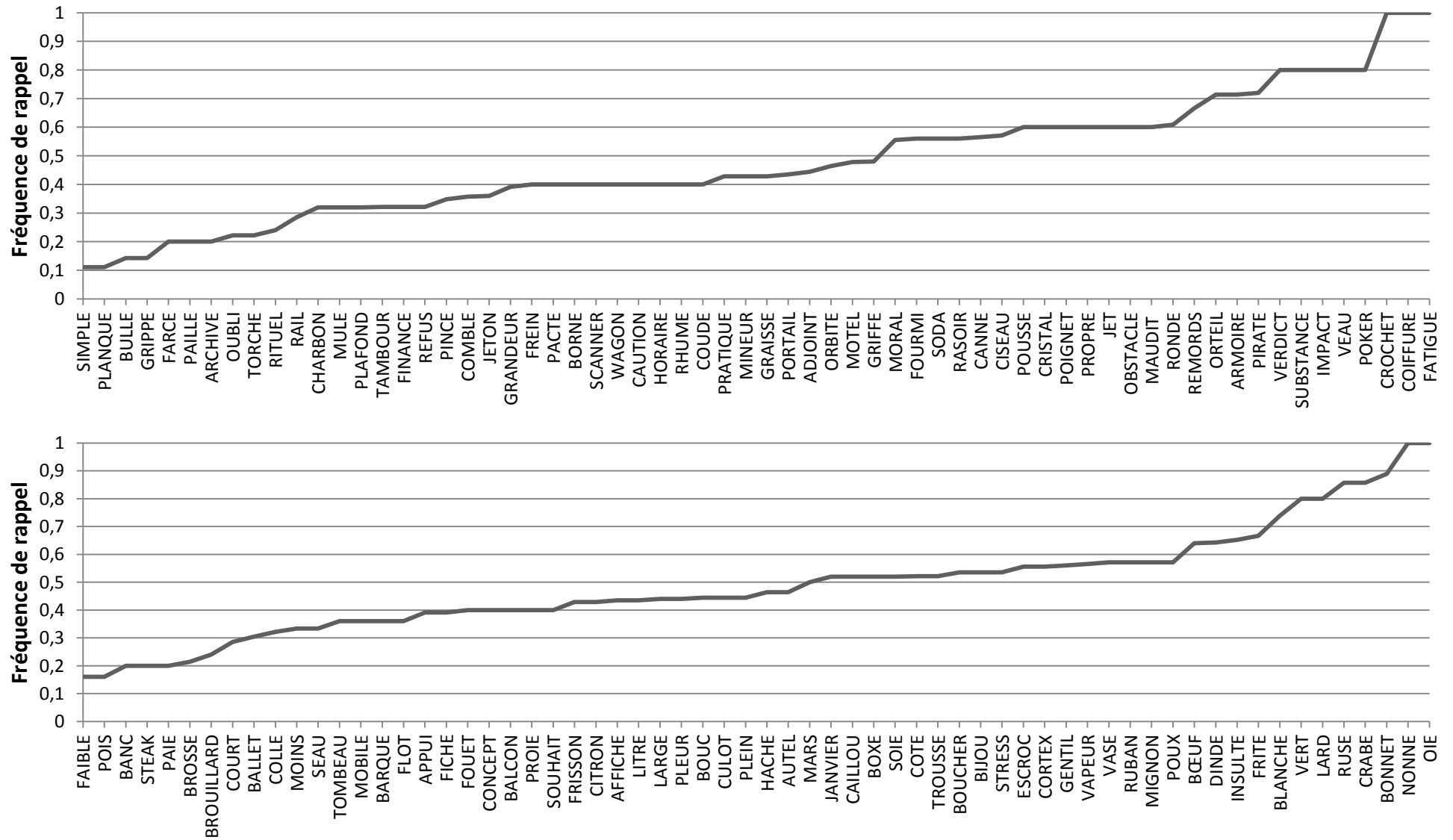
Lemme	Fréquence	Nombre de lettres	Nombre de syllabes
FATIGUE	9,25	8	2
CAUTION	10,88	7	2
ARCHIVE	9,42	7	2
HORAIRE	8,94	8	2
VERDICT	8,63	7	2
CRISTAL	10,22	7	2

Annexe D : Caractéristiques du matériel de l'Étude 5

CROCHET	10,69	8	2
SUBSTANCE	8,87	10	2
POUSSE	8,57	6	1
BANC	10,76	4	1
SOUHAIT	10,41	7	1
LARD	8,62	5	1
JET	10,49	3	1
VEAU	8,66	5	1
RHUME	8,17	5	1
FARCE	9,35	5	1



Figures D1 et D2 : Fréquence de rappel des mots lorsqu'ils étaient présentés dans une liste indicée.



Figures D3 et D4 : Fréquence de rappel des mots lorsqu'ils étaient présentés dans une liste non indiquée.

Tableau D9

Mots de la liste 1 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
camion	6	2	5,35	6,83	59,46
cellule	7	2	4,51	5,56	42,98
cerveau	7	2	5,16	6,48	61,59
couple	6	1	5,51	6,38	49,62
fleur	5	1	5,27	6,83	99,75
glace	5	1	5,29	6,38	66,82
membre	6	1	5,34	5,1	56,06
morceau	7	2	5,49	5,26	64,78
naissance	9	2	4,94	5,84	39,72
pantalon	8	3	5,56	6,63	37,55
piscine	7	2	5,67	6,88	23,62
poupée	6	2	4,27	6,66	27,59
poussière	9	2	5,01	5,8	24,4
rayon	5	2	4,02	5,99	27
tableau	7	2	5,46	6,49	50,11
valise	6	2	5,06	6,71	50,99

Tableau D10

Mots de la liste 2 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
arrêt	5	2	5,39	5,67	50,88
banque	6	1	5,75	6,53	79,35
bonbon	6	2	5,33	6,62	23,45
champ	5	1	4,54	6,1	57,22
corde	5	1	4,83	6,54	38,57
courrier	8	2	4,96	6,36	23,98
gardienne	9	2	5,13	5,29	31,92
herbe	5	1	5,09	6,65	34,81
magasin	7	3	6,51	6,44	60,62
miroir	6	2	5,7	6,66	28,35
piano	5	2	4,6	6,82	22,22
pièce	6	1	4,5	6,42	67,17
plage	5	1	4,76	6,74	48,19
printemps	9	2	5,08	5,79	27,85

terrain	7	2	5,18	6,12	52,58
vêtement	8	3	5,49	6,26	61,48

Tableau D11

Mots de la liste 3 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
caisse	6	1	4,88	5,74	38,03
caméra	6	3	5,14	6,72	56,18
chapeau	7	2	5,06	6,79	54,91
chemise	7	2	5,96	6,7	43,66
classe	6	1	5,95	5,63	78,99
compagnon	9	3	4,44	5,21	22,2
écran	5	2	4,89	6,19	23,68
forêt	5	2	4,91	6,68	34,94
foyer	5	2	4,52	6,21	28,95
machine	7	2	5,4	5,47	67,72
pluie	5	1	5,76	6,6	46,1
public	6	2	5,47	5,56	46,97
salade	6	2	5,58	6,62	21,8
tante	5	1	5,58	5,62	76,62
texte	5	1	5,24	5,46	20,42
ventre	6	1	5,56	6,51	46,91

Tableau D12

Mots de la liste 4 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
chasseur	8	2	4,34	6,09	34,92
chaussure	9	2	5,02	6,76	73,58
concert	7	2	4,95	5,55	31,65
gorge	5	1	5	6,13	30,87
maladie	7	3	5,49	5,18	66,04
moitié	6	2	5,39	5,16	74,77
nuage	5	1	5,38	6,56	30,27
ongle	5	1	5,19	6,68	20,37
patte	5	1	4,28	6,26	34,6
plante	6	1	5,67	6,81	21,86
radio	5	2	6,2	6,88	78,23

rivière	7	2	4,78	6,56	32,73
titre	5	1	5,51	5,1	41,35
toilette	8	2	6,44	6,76	62,84
viande	6	1	6,14	6,52	44,43
village	7	2	4,54	6,14	95,82

Tableau D13

Mots de la liste 5 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
anneau	6	2	4,22	6,56	21,61
bâtiment	8	3	4,13	6,57	27,58
billet	6	2	5,13	6,25	83,87
boîte	5	1	5,55	6,55	88,81
chaîne	6	1	4,51	6,27	38,8
chauffeur	9	2	5,04	5,69	40,59
chocolat	8	3	5,92	6,58	31,03
copie	5	2	5,57	5,51	25,7
feuille	7	1	5,92	6,57	30,1
fromage	7	2	5,63	6,65	27,22
fumée	5	2	5,11	6,42	20,25
langue	6	1	5,34	6,05	69,11
lunette	7	2	5,94	6,69	33,33
neige	5	1	5,87	6,72	39,34
souris	6	2	4,12	6,74	53,97
week-end	8	2	6,07	5,08	44,51

Tableau D14

Mots de la liste 6 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
larme	5	1	5,06	6,63	45,71
escalier	8	3	5,78	6,8	32,29
policier	8	3	5,61	6,41	34,15
exercice	8	3	5,99	5,47	22,66
repas	5	2	5,81	6,15	48,53
poisson	7	2	5,08	6,87	81,51
poudre	6	1	4,12	5,86	23,11
chanteuse	9	2	5,51	6,02	21,17

couleur	7	2	5,85	5,32	82,25
droite	6	1	6,23	5,06	58,7
sourire	7	2	5,5	6,49	53,97
désert	6	2	4,02	6,57	27,66
arbre	5	1	5,34	6,8	81,69
bouteille	9	2	5,87	6,64	57,24
lampe	5	1	5,29	6,71	25,86
église	6	2	4,91	6,75	64,75

Tableau D15

Mots de la liste 7 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
artiste	7	2	4,68	5,74	40,78
dossier	7	2	4,83	5,39	78,91
disque	6	1	4,62	6,47	33,61
paquet	6	2	4,65	5,77	44,96
botte	5	1	5,79	6,68	32,19
cabine	6	2	4,19	6,19	20
voisin	6	2	5,43	5,65	56
marché	6	2	5,15	5,59	74,36
bague	5	1	5,31	6,72	30,32
oiseau	6	2	5,45	6,78	77,73
sucré	5	1	5,86	6,71	32,01
planète	7	2	4,29	6,4	61,11
fenêtre	7	2	5,77	6,74	90,55
ouvrier	7	3	4,03	5,58	23,93
parfum	6	2	5,18	5,84	30
assiette	8	2	6,36	6,85	21,24

Tableau D16

Mots de la liste 8 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
couteau	7	2	5,8	6,81	58,15
estomac	7	3	5,06	5,81	23,56
élève	5	2	5,46	5,56	52,03
oreille	7	2	5,08	6,73	73,54
étudiant	8	3	6,49	5,89	70,9

couloir	7	2	4,08	6,1	29,17
pomme	5	1	5,73	6,9	42,35
bouton	6	2	5,16	6,43	32,44
balance	7	2	4,27	5,61	40,12
poche	5	1	5,51	6,19	49,65
cigarette	9	3	6,1	6,8	65,57
manteau	7	2	6,06	6,8	39,97
douche	6	1	6,17	6,54	36,06
diamant	7	2	4,25	6,74	20,56
boule	5	1	4,27	6,37	30,68
moteur	6	2	5,45	6,17	33,63

Tableau D17

Mots de la liste 9 de l'Étude C5 et leur nombre de lettres, leur nombre de syllabes, leur fréquence subjective, leur valeur d'imagerie et leur fréquence d'apparition

Lemme	Nombre de lettres	Nombre de syllabes	Fréquence subjective	Valeur d'imagerie	Fréquence
entrée	6	2	5,51	5,27	48,08
ascenseur	9	3	5,48	6,45	25,34
examen	6	3	5,97	5,48	47,77
théâtre	7	2	5,05	6,33	41,49
front	5	1	4,55	6,14	41,03
ligne	5	1	5,13	6,26	89,83
barbe	5	1	4,89	6,73	24,15
poubelle	8	2	5,55	6,77	21,34
tuyau	5	2	4,15	6,58	26,73
contrat	7	2	4,75	5,1	53,23
danseuse	8	2	5,21	6,06	23,05
doigt	5	1	5,81	6,71	85,69
serviette	9	2	5,73	6,57	25,64
fusil	5	2	4,39	6,82	48,61
peinture	8	2	4,22	6,4	29,53
nature	6	2	5,16	5,62	60,2

Annexe E : Liste du matériel utilisé dans l'Étude 8

Liste des 24 séries de cases à mémoriser et taille du sous-espace pertinent d'après la formule de Pick :

Série 1
Taille : 12,5

		2		4	
			5		
	1	6			
			3		

Série 2
Taille : 16,5

				1	
		4			
3	6				
			5		
	2				

Série 3
Taille : 16

	2		4		
3			6	1	
	5				

Série 4
Taille : 14,5

			6		
				1	
		5		4	
					2
			3		

Série 5
Taille : 24

				1	
	2				
		4			
5				3	
	6				

Série 6
Taille : 12

			3		
		4		2	
	1				
		5	6		

Série 7
Taille : 13

		1		3	
			5		
	4				
6		2			

Série 8
Taille : 19

					2
		5			
	6			1	
		3		4	

Série 9
Taille : 16

6					
			1		
5				4	
	3		2		

Série 10
Taille : 15

				5	
		3			4
			6		
		2			
			1		

Série 11
Taille : 20,5

				3	
	6				4
				5	
	2		1		

Série 12
Taille : 14

	4		6		
				1	
	5				
		2	3		

Série 13
Taille : 22

		1			
	2			3	
5					6
		4			

Série 14
Taille : 22

	5				
			2		
		6			
				4	
1					
		3			

Série 15
Taille : 18

				3	
			2		
	4				
			1		6
		5			

Série 16
Taille : 11,5

			5		1
			6		
			3	2	
		4			

Série 17
Taille : 18

		4			
		3		1	
2					
		6	5		

Série 18
Taille : 18,5

					6
			4		
		1			
5				3	
		2			

Série 19
Taille : 17

		6			
	2		3		
					4
			1		
		5			

Série 20
Taille : 11,5

		2			
			4		
	6		3	5	
		1			

Série 21
Taille : 24

				5	
	4				1
			3		
2				6	

Série 22
Taille : 15

		2			
	1			4	
			3		6
	5				

Série 23
Taille : 12

		3	2		
	4		1		
		5			
	6				

Série 24
Taille : 20,5

	3				5
			1		
					4
		2	6		

Annexe F : Questionnaire de correspondance constructive et d'élimination de réponse

Tableau F1

Liste des propositions du questionnaire d'évaluation des stratégies de correspondance constructive et d'élimination de réponse

Propositions	Construit évalué
Vous cherchiez toutes les règles d'un dessin, même si vous aviez déjà trouvé la solution.	Aucun
Vous preniez le temps d'examiner attentivement le dessin et de réfléchir à la solution avant de regarder les réponses proposées.	Correspondance constructive
En général, vous étiez sûr(e) de vos réponses.	Aucun
Après avoir examiné le dessin, vous éliminez les réponses possibles qui ne correspondaient pas jusqu'à n'en garder qu'une.	Elimination de réponse
Une fois que vous trouviez une règle, vous la vérifiez sur une autre ligne ou colonne.	Aucun
Vous examiniez successivement chacune des réponses possibles pour savoir si elle allait à la place de la pièce manquante.	Elimination de réponse
Selon vous, il y avait souvent plusieurs règles à trouver dans chaque dessin.	Aucun
Après avoir regardé le dessin, vous imaginiez à quoi devait ressembler la bonne réponse avant de la chercher dans les réponses possibles.	Correspondance constructive

