



HAL
open science

**Efficacité mnésique et mécanisme d'intégration :
applications chez l'adulte jeune et dans le vieillissement
normal**

Anthony Macri

► **To cite this version:**

Anthony Macri. Efficacité mnésique et mécanisme d'intégration : applications chez l'adulte jeune et dans le vieillissement normal. Psychologie. Université de Lyon, 2017. Français. NNT : 2017LYSE2102 . tel-01808446

HAL Id: tel-01808446

<https://theses.hal.science/tel-01808446v1>

Submitted on 5 Jun 2018

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

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



UNIVERSITÉ
LUMIÈRE
LYON 2

N° d'ordre NNT : 2017LYSE2102

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 476 Neurosciences et Cognition

Discipline : Sciences cognitives et neurologiques

Soutenue publiquement le 24 novembre 2017, par :

Anthony MACRI

**Efficacité mnésique et mécanisme
d'intégration :**

*Applications chez l'adulte jeune et dans le vieillissement
normal.*

Devant le jury composé de :

Marie IZAUTE, Professeure des universités, Université Clermont-Ferrand 2, Présidente

Sandrine VIEILLARD, Professeure des universités, Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Rapporteur

Denis BROUILLET, Professeur des universités, Université Montpellier 3, Rapporteur

Stéphane ROUSSET, Maître de Conférences, Université Grenoble 2, Examineur

Rémy VERSACE, Professeur des universités, Université Lumière Lyon 2, Co-Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale – pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

Université Lumière Lyon 2
Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition (NSCo)
Laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC), EA 3082

THESE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR EN SCIENCES COGNITIVES DE L'UNIVERSITE DE LYON

Discipline: Sciences Cognitives

**EFFICACITE MNESIQUE ET MECANISME D'INTEGRATION:
APPLICATIONS CHEZ L'ADULTE JEUNE ET DANS LE
VIEILLISSEMENT NORMAL**

Par Anthony MACRI

Réalisée sous la direction du Professeur Rémy VERSACE

Date de soutenance prévue le 24 Novembre 2017

Devant le jury composé de :

Denis BROUILLET

Professeur à l'Université Paul Valéry de Montpellier, Rapporteur

Marie IZAUTE

Professeure à l'Université Blaise Pascal, Examinatrice

Stéphane ROUSSET

Maître de conférences à l'Université Pierre Mendès-France, Examineur

Rémy VERSACE

Professeur à l'Université Lumière Lyon 2, Directeur

Sandrine VIEILLARD

Professeure à l'Université Paris Nanterre, Rapporteur

Blind certainty: a close mindedness that amounts to an imprisonment so total that the prisoner doesn't even know he's locked up.

David Foster Wallace (2005)

I think, at a child's birth, if a mother could ask a fairy godmother to endow it with the most useful gift, that gift should be curiosity.

Eleanor Roosevelt

La curiosité des enfants est un penchant de la nature qui va comme au-devant de *l'instruction; ne manquez pas d'en profiter.*

Fénelon (1687)

On ne force pas une curiosité, on l'éveille.

Daniel Pennac (1992)

La science ? Après tout, qu'est-elle, sinon une longue et systématique curiosité ?

André Maurois (1946)

Résumé

Nous sous-estimons sans cesse notre mémoire. Nous la blâmons pour ses déboires mais ne la louons jamais pour ses succès. Toutefois, il faut bien l'admettre, notre mémoire flanche et ses capacités, notamment concernant l'évocation de souvenirs, faiblissent avec le temps et l'avancée en âge. Le cadre de la cognition incarnée propose que notre mémoire n'est pas simplement un outil nous permettant d'accéder à notre passé. Elle est avant tout tournée vers le présent et nous aide à appréhender chaque moment de notre vie quotidienne grâce à l'accumulation des expériences que nous vivons et qui nous servent de référence. La mémoire conserve des traces sensori-motrices de ces expériences (Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009) et son efficacité se définit alors par la capacité d'une situation à réactiver des propriétés stockées en mémoire et pertinentes par rapport à cette situation. C'est de cette réactivation que découle l'émergence des connaissances mais l'efficacité de cette réactivation dépend principalement du lien entre les différentes propriétés lorsqu'elles sont encodées au sein des traces des événements auxquels elles appartiennent. Au sein du modèle fonctionnel de mémoire à traces-multiples Act-in (Versace et al., 2014), l'établissement de ce lien repose sur le mécanisme d'intégration intra-trace.

Certains facteurs, tels que la réalisation d'une action ou l'expérience d'une émotion, sont connus pour leurs effets sur l'efficacité de la mémoire. Cependant, ces effets n'ont que très peu été étudiés en rapport avec une conception incarnée de la mémoire. Nous émettions l'hypothèse que l'influence de ces facteurs sur la mémoire reflétait principalement leur impact sur le fonctionnement du mécanisme d'intégration. Le premier objectif de ce travail de thèse était donc d'évaluer si l'action et l'émotion permettaient d'améliorer le fonctionnement du mécanisme d'intégration. Ce mécanisme pouvant opérer à différents niveaux d'association entre les propriétés d'un événement : intégration des propriétés d'un item ou intégration de cet item à son contexte; ces travaux avaient également pour objectif de mettre en évidence un pattern clair vis-à-vis des effets de l'action et de l'émotion sur ces différents niveaux.

Enfin, nous soutenons l'hypothèse émise par certains auteurs (e.g. Benjamin, 2000) selon laquelle les difficultés mnésiques rencontrées lors du vieillissement normal sont dues à un déficit dans l'établissement d'associations en mémoire entre différents éléments d'un événement. Ce déficit associatif peut se traduire en termes de déficit du mécanisme d'intégration et le dernier objectif de ces travaux consistait à évaluer si l'action et l'émotion, de par leur influence sur le mécanisme d'intégration, pouvaient réduire les déficits mnésiques

observés chez les personnes âgées. Afin de tester ces hypothèses, nous avons employé un paradigme permettant d'obtenir des scores de performances sur les différents niveaux d'intégration chez un même individu tout en manipulant les effets de la réalisation d'actions au moment de l'encodage de l'information ou en manipulant la valence émotionnel du matériel employé et ce chez des adultes jeunes et âgés.

Abstract

We tend to always underestimate our memory. We blame it for its mishaps but never praise it for its successes. Nonetheless, one must admit that memory has its flaws and its capacities, mostly regarding recollections, weaken with time and age. In the grounded cognition framework, memory is not just a tool to access our past. Memory is mainly turned towards the present and it helps us adapt to each moment of our daily lives thanks to the accumulation of the experiences we live and that become references. Memory is made up of sensori-motor traces of these experiences (Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009) and its effectiveness is thus defined by the potential of a situation to reactivate the properties stored in memory and that are relevant for the present situation. Knowledge emerges the reactivation from but the effectiveness of the reactivation depends mostly on the link between the different properties of an event at the moment of their encoding in memory. Within Act-in, a multiple-traces functional memory model (Versace et al., 2014), the formation of this link rests upon the integration mechanism.

Several factors, such as performing an action or experiencing an emotion, are known to influence on memory effectiveness. However, this influence has only been rarely investigated in a grounded approach of memory. We formulated the hypothesis that the influence of these factors on memory reflects their impact on the integration mechanism. The first objective of this thesis was to assess if action and emotion were able to improve integration. This mechanism operates on different levels of association between the properties of an event: integration of the properties of an item and integration of the item to its context; the work reported in the present document aimed to identify a clear pattern regarding the effects of action and emotion on these different levels.

Finally, we support the hypothesis formulated by several authors (e.g. Benjamin, 2000) according to which the memory difficulties encountered in normal aging are caused by a deficit in the formation of associations between the different elements of an event in memory. The associative deficit can be translated in terms of an integration deficit and our last objective was then to assess if action and emotion, through their influence on integration, could reduce the memory deficits observed in older adults. To test these hypotheses, we used a paradigm designed to evaluate the performances on the different levels of integration in one individual manipulating at the same time the actions performed by the participants at encoding or the emotional valence of the material both in young and older adults.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier mon directeur de thèse : Rémy Versace. Rémy, merci de m'avoir donné une chance dès le Master 2 et d'avoir cru suffisamment en moi pour entreprendre la réalisation de cette thèse. Merci pour la liberté de travail que vous m'avez offerte et pour la disponibilité et la bienveillance dont vous avez fait preuve. Je n'aurai pas pu réussir sans l'apport de votre expertise théorique et méthodologique. J'ai beaucoup appris à vos côtés. Merci également de m'avoir toujours encouragé lors des nouveaux projets - tels que l'enseignement, les formations, l'encadrement des étudiants et mon stage de recherche à Ottawa - en veillant à chaque fois à ce qu'ils me profitent en tant que chercheur. Pour tout cela, merci.

Je tiens à remercier l'ensemble des participants, jeunes et moins jeunes. Merci aux étudiants pour votre temps et votre curiosité. Merci aux personnes âgées pour leur gentillesse, leur humour et merci pour votre courage lorsqu'il vous arrivait de braver l'hiver canadien pour venir passer les expériences. Merci à tous de toujours avoir fait de votre mieux !

Je remercie également les membres du jury de thèse: Denis Brouillet, Marie Izaute, Stéphane Rousset et Sandrine Vieillard. Merci d'avoir accepté de prendre le temps d'évaluer ce travail. J'attends vos retours avec impatience car je sais qu'ils apporteront des points de vue nouveaux et pertinents et ne feront que rendre meilleur le travail réalisé jusqu'ici. Merci également à Anne Didier et Lionel Brunel pour les conseils avisés donnés lors du Comité de Suivi de Thèse. Je voudrais également remercier Guillaume Vallet. Bien que nous ne nous soyons vus que rarement, nos discussions et tes conseils m'ont beaucoup apporté.

Mes remerciements vont ensuite à Sylvain Gagnon. Je vous suis infiniment reconnaissant pour l'intérêt que vous avez porté à mes travaux et pour l'immense opportunité que vous m'avez donnée en acceptant que je vienne passer quelques mois avec vous à Ottawa pour un stage de recherche. Merci pour la chaleur de votre accueil et les moyens que vous avez mis à ma disposition. Merci pour votre dynamisme et votre bonne humeur ! Merci également à votre famille pour sa gentillesse. Je n'oublierai pas notre partie de hockey avec vos garçons. Merci également pour votre travail sur les articles. Votre enthousiasme m'a donné du baume au cœur.

Merci également à Amélie et Arthur pour votre travail lors des études. Merci Amélie pour ton implication. Malgré ton emploi du temps de ministre et tes journées à rallonge, tu gardes toujours le sourire. Merci à mes collègues bureau. Merci à Amandine qui a été en

quelque sorte ma tutrice. Tu finissais ta thèse alors que je commençais la mienne et tes conseils à la fois sur le déroulement du doctorat et vis-à-vis de la recherche m'ont beaucoup apporté. Merci à Marion et J.-B pour nos échanges et pour toutes les petites attentions qui font que la vie de bureau est plus agréable.

Je tiens à remercier les étudiants de Master 1, Robin et Jordan, Lise-Yell et Sabria, Emeline et Rudy, Maude, Manon et Cynthia pour le travail qu'ils ont fourni. J'ai participé à votre formation mais travailler à vos côtés m'a permis de devenir un meilleur chercheur également.

Pour finir, je remercie ma famille et mes amis du fond du cœur. Merci à mes parents pour leur amour indéfectible, merci pour les valeurs que vous avez su m'inculquer, notamment l'importance de toujours faire de son mieux, de travailler dur pour obtenir ce que l'on veut et de ne jamais se reposer sur ses lauriers. Aussi loin que je m'en souviens, vous avez toujours voulu que je fasse quelque chose qui me plaise. Et bien c'est le cas. Merci à ma sœur, mon beau-frère et mes nièces pour leur soutien. Merci à Romain de me supporter depuis toutes ces années, merci pour notre complicité et merci de me faire toujours autant rire après tout ce temps. Tu le sais, tu es le frère que j'ai choisi. Merci à Geoffrey, Elsa, Salomé, Julien et Léa. Merci pour tous les moments que nous avons partagé durant nos études. Je suis heureux de vous avoir pour amis et je vous souhaite le meilleur.

Enfin, merci Raphaëlle. Merci de m'avoir accompagné tout au long de cette thèse, de m'avoir soutenu et encouragé, d'avoir partagé mes hauts et mes bas, d'avoir affronté la distance durant mon stage. Merci pour ton amour, ton amitié. Sans toi, cette thèse ne sera pas ce qu'elle est et je ne serai pas le même non plus. Merci pour ta soif d'aventure !

Table des matières

LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XI
AVANT - PROPOS	1
PREMIÈRE PARTIE INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	3
1. L'EFFICACITÉ DE LA MÉMOIRE.....	4
<i>1.1. La métaphore de l'entrepôt.....</i>	<i>4</i>
1.1.1. L'approche orientée sur la quantité	5
1.1.2. Le structuralisme	6
<i>1.2. La métaphore de la correspondance</i>	<i>8</i>
1.2.1. L'approche orientée sur la précision	8
1.2.2. Le fonctionnalisme	10
1.2.3. Les modèles à traces-multiples.....	11
<i>1.3. Une mémoire incarnée</i>	<i>12</i>
1.3.1. L'importance de la situation présente	12
1.3.2. Le modèle Act-in.....	14
2. LE MÉCANISME D'INTÉGRATION.....	19
<i>2.1. L'intégration selon Act-in.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2. Les mécanismes proches de l'intégration dans la littérature</i>	<i>22</i>
2.2.1. La mémoire associative	22
2.2.2. Le Binding	23
2.2.3. Object and Episodic Tokens	25
<i>2.3. L'intégration intra-trace</i>	<i>28</i>
3. AMÉLIORER L'INTÉGRATION.....	32
<i>3.1. L'action</i>	<i>33</i>
<i>3.2. L'émotion.....</i>	<i>39</i>
4. LE VIEILLISSEMENT NORMAL	46
<i>4.1. Le vieillissement de la mémoire.....</i>	<i>48</i>
<i>4.2. ADH de Naveh-Benjamin</i>	<i>50</i>
5. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	53

SECONDE PARTIE CHAPITRES EXPÉRIMENTAUX.....	56
6. HOW DOES ACTION IMPROVE MEMORY ? THE IMPORTANCE OF CAUSALITY.....	57
<i>Abstract</i>	58
6.1. <i>Introduction</i>	59
6.2. <i>Experiment 1</i>	63
6.2.1. <i>Method</i>	63
6.2.2. <i>Results</i>	66
6.2.3. <i>Conclusion</i>	69
6.3. <i>Experiment 2</i>	70
6.3.1. <i>Method</i>	70
6.3.2. <i>Results</i>	70
6.3.3. <i>Conclusion</i>	72
6.4. <i>General Discussion</i>	72
<i>References</i>	75
7. THE ASSOCIATIVE DEFICIT HYPOTHESIS AND THE INTEGRATION MECHANISM: ACTION HELPS OLDER ADULTS TO REMEMBER BETTER	80
<i>Abstract</i>	81
7.1. <i>Introduction</i>	82
7.2. <i>Method</i>	85
7.2.1. <i>Participants</i>	85
7.2.2. <i>Stimuli and material</i>	86
7.2.3. <i>Procedure and design</i>	86
7.3. <i>Results</i>	88
7.4. <i>Discussion</i>	90
<i>References</i>	92
8. THE BENEFICIAL EFFECT OF CONTEXTUAL EMOTION ON MEMORY: THE ROLE OF INTEGRATION.....	96
<i>Abstract</i>	97
8.1. <i>Introduction</i>	98
8.2. <i>Method</i>	101
8.2.1. <i>Participants</i>	101
8.2.2. <i>Stimuli and material</i>	101
8.2.3. <i>Procedure and design</i>	102
8.3. <i>Results</i>	103
8.4. <i>Discussion</i>	104
<i>References</i>	107

9. MEMORY INTEGRATION OF PERCEPTUALLY ABSENT FEATURES THROUGH EMOTIONS IN YOUNG AND OLDER ADULTS	111
<i>Abstract</i>	112
9.1. <i>Introduction</i>	113
9.2. <i>Method</i>	116
9.2.1. <i>Participants</i>	116
9.2.2. <i>Stimuli and material</i>	117
9.2.3. <i>Procedure and design</i>	118
9.3. <i>Results</i>	118
9.4. <i>Discussion</i>	120
<i>References</i>	123
TROISIÈME PARTIE DISCUSSION GÉNÉRALE	128
10. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.....	129
10.1. <i>Action et intégration</i>	130
10.2. <i>Emotion et intégration</i>	133
10.3. <i>Perspectives</i>	136
11. OUVERTURE	138
11.1. <i>Entrainement de l'intégration</i>	139
11.2. <i>Schizophrénie et intégration</i>	142
11.3. <i>En conclusion</i>	144
RÉFÉRENCES GÉNÉRALES	145
ANNEXES	161
MATÉRIEL UTILISÉ DANS LES ÉTUDES RAPPORTÉES DANS LES CHAPITRES 3 ET 4	161
IMAGES NEUTRES UTILISÉES DANS LES ÉTUDES PRÉSENTÉES DANS LES CHAPITRES 5 ET 6	169
IMAGES NÉGATIVES UTILISÉES DANS L'ÉTUDE PRÉSENTÉE DANS LES CHAPITRES 6	174

Liste des tableaux

Table 1 - Taille d'amorçage moyenne sur tous les participants en fonction des 2 durées d'amorce (500 ms et 100 ms) dans les 3 expériences. La taille d'amorçage moyenne est calculée pour chaque participant comme étant la différence entre le temps de réaction moyen pour l'une des amorces et le temps de réponse moyen pour l'autre. Les barres d'erreurs représentent l'erreur-type calculée entre-sujets.....	38
Table 2 - Mean percentages and standard errors for correct responses in Exp. 1	67
Table 3 - Mean percentages and standard errors for correct responses in Exp. 2	71
Table 4 - Mean percentages and standard errors for correct responses	88
Table 5 - Mean percentages and standard errors for correct responses	104
Table 6 - Mean percentages and standard errors for correct responses	119

Liste des figures

Figure 1 - Schéma du fonctionnement mnésique. L'encodage transformerait l'information en un code stocké auquel il serait ensuite possible d'accéder via la récupération.....	5
Figure 2 - Classification de la mémoire tirée de (Squire, 1992).....	7
Figure 3 - Illustration du modèle Act-in (Versace et al., 2014).....	16
Figure 4 - Illustration du modèle de mémoire à long-terme Type -Token issue de Zimmer et Ecker (2010).....	26
Figure 5 - Représentation schématique du protocole expérimental mis en place par Camus Brouillet et Brunel (2016). Organisation des essais expérimentaux dans les phases d'apprentissage et de test pour chacune des 3 expériences réalisées. Exp. = experiment; ISI	37
Figure 6 - Irregular 16-square grid used to present the pictures and during Location recall and Item-Location association recall.....	64
Figure 7 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.	68
Figure 8 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.	72
Figure 9 - Irregular 16-square grid used to present the drawings and during Location recall and Item-Location association recall.....	85
Figure 10 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.	89
Figure 11 - Representation of an experimental trial. Eight pictures are shown sequentially in a 16-square grid and followed by one of three types of recall: Item recall, Source recall, or Association recall.....	102
Figure 12 - Representation of an experimental trial. Eight pictures are shown sequentially in a 16-square grid and followed by one of three types of recall: Item recall, Source recall, or Association recall.....	117
Figure 13 - Représentation schématique des effets de l'émotion sur l'intégration des propriétés d'un événement au sein d'une trace mnésique. A gauche, l'émotion est introduite par un item et seule l'intégration des propriétés de l'item est influencée par cette émotion. A droite, l'émotion est introduite par le contexte et seules l'intégration des propriétés contextuelles et l'intégration de l'item à son contexte sont influencées.	134
Figure 14 - Illustration du protocole de l'étude de Purkart, Versace & Vallet (2017).....	140

Avant - Propos

Ce travail de recherche a pour but d'étudier l'efficacité de la mémoire en se positionnant dans une conception incarnée et située de la cognition dans laquelle les connaissances d'un individu reposent sur les propriétés perceptives, motrices, intéroceptives, émotionnelles et situationnelles des expériences vécues et correspondent à l'activité neuronale se déroulant lors de ces expériences (Barsalou, 1999, 2003). Les connaissances ne sont plus perçues comme des entités fixes que l'on se contenterait de retrouver dans un stock mais comme des entités dynamiques émergeant des traces de l'activité neuronale laissées au fil des expériences vécues. Ces connaissances émergent en correspondance avec une situation donnée, dans laquelle se trouve un individu (Koriat & Goldsmith, 1996), et servent l'adaptation de l'individu à cette situation (Glenberg, 1997; Versace et al., 2014, 2009; Versace, Nevers, & Padovan, 2002). L'efficacité de la mémoire se définit alors comme la capacité à réactiver les propriétés des traces passées pertinentes vis-à-vis de la situation présente. Ce potentiel de réactivation dépend en partie de la force du lien entre les différentes propriétés au sein de la trace en mémoire. Ainsi, l'efficacité va dépendre du mécanisme responsable de l'établissement de ce lien en mémoire: le mécanisme d'intégration intra-trace (Versace et al., 2014).

Le premier objectif de ce travail est d'apporter des arguments en faveur du rôle crucial joué par le mécanisme d'intégration intra-trace dans l'efficacité mnésique. Le second objectif est d'examiner l'influence sur le mécanisme d'intégration de facteurs connus pour leur impact sur le fonctionnement de la mémoire et d'évaluer si ces facteurs peuvent améliorer ce mécanisme. Enfin, le troisième objectif est d'estimer si un effet bénéfique de ces facteurs peut être retrouvé dans une population âgée dont on soupçonne que les difficultés mnésiques soient dues en partie à un déficit du mécanisme d'intégration.

Dans cette perspective, la première partie de ce document sera composée d'une introduction générale installant le cadre théorique ayant servi de support à ces travaux. Le premier chapitre de cette partie présentera l'évolution de la notion d'efficacité mnésique allant d'une conception centrée sur la quantité à une approche centrée sur la précision. Cela permettra d'introduire le concept de mémoire incarnée ouvrant sur le modèle de mémoire Act-in développé au sein de notre équipe et enfin le mécanisme d'intégration, autour duquel ce travail de thèse a été réalisé. Le second chapitre de l'introduction présentera les enjeux nous ayant poussés à nous intéresser à une possible amélioration du mécanisme d'intégration via une présentation des troubles rencontrés dans le vieillissement normal - et principalement les

troubles mnésiques – et la théorie du déficit associatif formulée par Naveh-Benjamin (2000). La fin de cette introduction théorique sera dédiée à une revue des effets de l'émotion et de l'action sur la mémoire. Ces facteurs sont très fréquemment abordés dans la littérature comme pouvant influencer les performances mnésiques et cette revue nous poussera à émettre l'hypothèse que cette influence dépend du mécanisme d'intégration.

La seconde partie de ce document sera consacrée aux travaux expérimentaux menés dans le but de tester les hypothèses mentionnées, concernant le rôle de l'action et de l'émotion sur le mécanisme d'intégration, à la fois chez l'adulte jeune et dans le vieillissement normal. Les deux premiers chapitres de cette seconde partie correspondent aux articles scientifiques traitant des études que nous avons menées sur les effets de l'action. Ces études portent sur les caractéristiques de l'action importantes pour le mécanisme d'intégration (Chapitre 3) et sur les effets de ces caractéristiques chez les personnes âgées (Chapitre 4). Les deux derniers chapitres de la seconde partie de cette thèse correspondent quant à eux aux articles portant sur les effets de l'émotion sur l'intégration. Ces études traitent de l'impact d'une émotion dite contextuelle sur l'intégration (Chapitre 5) et de l'impact d'une émotion venant d'un item sur l'intégration chez les personnes âgées (Chapitre 6).

Enfin, la troisième partie nous permettra de discuter des résultats obtenus dans les études relatées et d'apporter une conclusion. Pour finir, nous présenterons des pistes afin d'aguiller de futures recherches sur l'efficacité de la mémoire centrées sur le mécanisme d'intégration.

Première Partie

Introduction générale

Chapitre 1

"Most memory theories presuppose that memory is for memorizing.
What would memory theory be like if this presupposition were discarded?"

Glenberg (1997)

Qu'est-ce qu'une mémoire efficace ? Cette question, pourtant formulée de manière simple et directe, ne donne pas lieu à une réponse simple et directe. Avant de pouvoir répondre, il faut en effet savoir ce qu'est la mémoire et ce que signifie efficace. Nous verrons à quel point, la définition même de la mémoire est indissociable de la question de son utilité et de son efficacité. Deux conceptions majoritaires émergent de la littérature. Tout d'abord, une approche quantitative de l'efficacité de la mémoire, fortement associée à une conception structuraliste qui défend l'existence de différents systèmes de mémoire. Puis, une approche de l'efficacité orientée sur la précision qui s'associe fortement à une conception fonctionnaliste de la mémoire défendant quant à elle une organisation au sein d'un système unique. La présentation de ces deux approches servira de socle nécessaire à l'introduction des modèles de mémoire à traces-multiples qui viennent redéfinir la nature des connaissances stockées en mémoire. C'est principalement sur le modèle Act-in (Versace et al., 2014, 2009), modèle fonctionnel de mémoire à traces-multiples s'inscrivant dans une conception incarnée de la cognition - et qui nous servira de cadre théorique – que nous nous attarderons. C'est dans ce modèle que nous puiserons notre conception de l'efficacité mnésique ainsi que le mécanisme qui est au cœur des travaux abordés dans ce manuscrit : le mécanisme d'intégration intra-trace.

1. L'efficacité de la mémoire

1.1. La métaphore de l'entrepôt

La métaphore de l'entrepôt représente la mémoire comme un lieu dans lequel serait stockée puis récupérée de l'information. Cette information prendrait la forme d'unités élémentaires distinctes les unes des autres. Selon cette métaphore, ces unités, communément appelées items, seraient donc déposées dans l'entrepôt. La récupération de l'information se ferait par conséquent par une recherche de l'unité dans l'espace que constitue cet entrepôt. Même si l'origine de cette métaphore peut être retracée aussi loin que Platon (voir Roediger, 1980), son influence sur les recherches dans le domaine de la mémoire se fait encore ressentir à notre

époque (Melton, 1963) (Voir Figure 1). Cette conception s'associe à une approche de l'efficacité de la mémoire en termes de quantité d'items récupérés au sein de l'entrepôt.

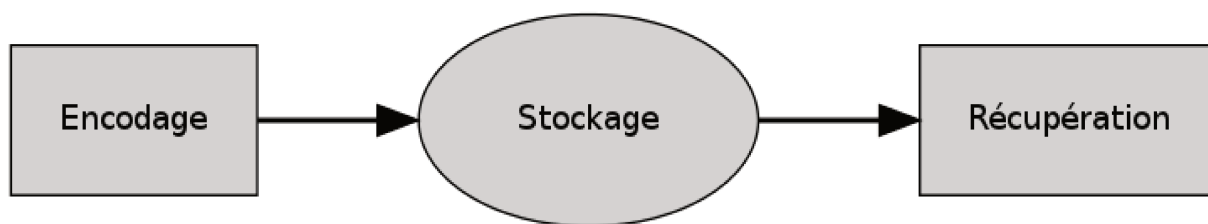


Figure 1 - Schéma du fonctionnement mnésique. L'encodage transformerait l'information en un code stocké auquel il serait ensuite possible d'accéder via la récupération.

1.1.1. L'approche orientée sur la quantité

La métaphore de l'entrepôt a justifié l'emploi de stimuli distincts et dénombrables dans les paradigmes utilisés pour évaluer et quantifier l'efficacité de la mémoire. Les paradigmes d'apprentissage de listes (de mots, de syllabes, etc...) illustrent parfaitement cette approche quantitative (quantity-oriented approach) de l'efficacité de la mémoire. Ces paradigmes simulent le déroulement des événements supposés se dérouler au sein de l'entrepôt. Les items y sont d'abord déposés (ou stockés), pour être ensuite retrouvés (ou récupérés) (Koriat & Goldsmith, 1996). Selon cette approche, l'évaluation de la mémoire est donc centrée sur l'entrée donnée au système mnésique, autrement dit centrée sur l'item (input-bound). Les études qui suivent cette approche évaluent donc quelle quantité de l'entrée est récupérée à la sortie, c'est-à-dire dans la réponse donnée par l'individu.

Cette conception dominante ne s'intéresse cependant pas aux erreurs commises lors de la récupération. Par exemple, si un item est oublié, il est considéré comme perdu. Si un item est répété, alors qu'il avait déjà été rappelé (commission error), cela n'est pas pris en compte. L'objet d'étude n'est alors pas ce qui est récupéré mais quelle quantité est récupérée. Ignorer de tels phénomènes, pourtant fréquents, implique donc d'ignorer tout un pan du fonctionnement de la mémoire. Toutefois, Koriat, Goldsmith, et Pansky (2000) soulignent que cette approche quantitative reste néanmoins utile afin d'étudier les caractéristiques de la mémoire telle que l'influence de certaines variables comme l'attention divisée, la profondeur de traitement, etc...

L'approche quantitative de l'efficacité de la mémoire, malgré les lacunes mentionnées, n'a pas seulement déterminé la façon dont la mémoire est évaluée mais également quels phénomènes sont étudiés ainsi que les recherches envisagées, les méthodes et théories

développées pour les mener à bien. A cette approche s'associe également l'une des conceptions majeures du fonctionnement mnésiques: le structuralisme.

1.1.2. Le structuralisme

Pour reprendre la métaphore de l'entrepôt, le structuralisme défend l'existence de stocks multiples. A chaque type d'information correspondrait un entrepôt particulier. Cette approche stipule l'existence d'une étape d'encodage lors de laquelle l'information issue de l'environnement et présentée au système mnésique serait abstraite de ses propriétés sensori-motrices (la rendant ainsi amodale) (Fodor, 1975) puis stockée dans l'entrepôt correspondant. Ces informations abstraites (ou représentations) de différentes natures nécessiteraient des stocks (ou systèmes de mémoire) séparés. Ainsi, la multiplication des natures de représentations engendre la multiplication des systèmes dédiés à leur stockage.

Cette multiplication des systèmes s'appuie sur un certain nombre de données expérimentales. Une grande partie de ces données se fondent sur le principe de double dissociation. Pour illustrer ce principe, imaginez un ordinateur portable qui n'afficherait plus d'image à l'écran mais qui serait encore capable d'émettre du son. Si un deuxième ordinateur du même model présente le pattern inverse, c'est-à-dire qu'il serait capable d'afficher une image à l'écran mais incapable d'émettre du son alors vous pourriez conclure que le son et l'image sont des fonctions indépendantes. Depuis les années 1980, le nombre d'observations de telles dissociations est considérable (voir par exemple Baddeley, 1984; Graf & Schacter, 1985; Squire, 2004; Tulving, 2002). Des travaux dans le champ de la neuropsychologie ont également mis en évidence des dissociations. La plus célèbre étant la dissociation entre le profil du patient H.M. (Scoville & Milner, 1957) qui souffrait d'une atteinte caractérisée comme ciblant la mémoire à long terme et celui du patient K.F. (Shallice & Warrington, 1970) qui lui souffrait d'une atteinte de la mémoire à court terme.

Cette première dissociation entre un système de mémoire à court-terme et un système à long-terme a ensuite ouvert la voie à l'établissement de grands modèles décrivant l'organisation de la mémoire en sous-systèmes multiples (Squire, 1992; Tulving, 1995). Les critères de distinctions entre les systèmes vont de la capacité et la durée de stockage, à la nature des connaissances stockées en passant par le type d'accès à ces connaissances (explicite ou implicite) (voir Figure 2).

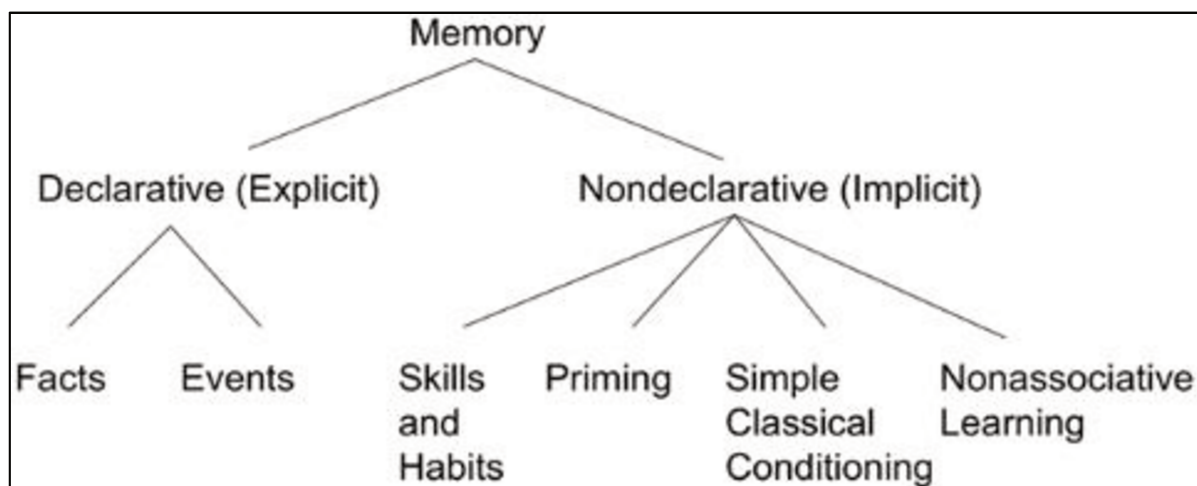


Figure 2 - Classification de la mémoire tirée de (Squire, 1992).

La distinction ayant fait couler le plus d'encre est celle entre mémoire épisodique et mémoire sémantique qui, si on reprend la classification de Squire (1992) (voir Figure 2), correspond à la distinction au niveau des sous-systèmes de mémoire déclarative entre mémoire factuelle (facts) et mémoire des événements (events). Cette dissociation s'opère au niveau de la nature des connaissances. Tulving (1972) est l'un des premiers à formaliser cette distinction. Il est important de noter que l'auteur ne se réfère aux deux types de mémoires comme à des systèmes distincts que pour aider à la compréhension de son argumentation et non pas parce qu'il les considère (à cette époque tout du moins) comme des systèmes distincts (p. 384). Selon Tulving, la mémoire épisodique reçoit et traite de l'information portant sur des événements inscrits dans un contexte spatio-temporel ainsi que les relations temporelles et spatiales entre ces événements. La mémoire sémantique, quant à elle, stockerait des connaissances générales sur le monde qui nous entoure (La Terre tourne autour du Soleil). Ces connaissances seraient abstraites, décontextualisées et conceptuelles.

Bien que l'approche structuraliste permette une explication simple des troubles mnésiques (Eustache & Desgranges, 2008) et qu'elle soit à l'origine des tests utilisés quotidiennement en neuropsychologie, elle se retrouve néanmoins confrontée à de nombreuses critiques (Versace, Nevers, & Padovan, 2002). Les principales portent sur la logique dissociative et sur les interprétations issues des dissociations observées. Dunn (2003) a démontré mathématiquement qu'une double dissociation ne permet pas de conclure à l'existence de différents systèmes ou processus mnésiques. De plus, des dissociations ont été observées entre des tâches supposées faire appel au même système mnésique. Par exemple, des dissociations ont été observées entre des tâches de rappel et de reconnaissance qui sont pourtant toutes deux

censées faire appel à la mémoire épisodique (Tiberghien & Lecocq, 1983). Pourtant ces dissociations n'ont pas été interprétées comme montrant l'existence de systèmes mnésiques séparés. Recourir à des systèmes différents n'est alors pas nécessaire, les mêmes résultats peuvent être interprétés à l'aide de différents traitements opérant au sein d'un système unique (Hintzman, 1984). De plus, rien ne rend ces différenciations systémiques plausibles sur le plan neurobiologique (Versace et al., 2009)

L'approche structuraliste et l'approche quantitative de l'efficacité mnésique ont atteint le statut de paradigme dans le domaine des recherches sur la mémoire et s'en défaire est devenu une chose difficile tellement leur influence est grande. Pourtant, concevoir la mémoire autrement qu'à travers le filtre que ces conceptions proposées devient nécessaire lorsque, par exemple, les limites mentionnées dans le paragraphe précédent émergent ou quand certains aspects de la mémoire tels que l'oubli ou les erreurs ne peuvent être investigués au sein du cadre de l'ancienne conception. Changer de cadre permet alors de réinterpréter certains résultats à la lumière de certaines données ignorées auparavant, d'extraire un nouveau sens de ces observations et de guider les futures recherches permettant ainsi d'outrepasser les limites qu'imposait la conception abandonnée.

1.2. La métaphore de la correspondance

C'est par la métaphore de la correspondance que nous introduirons une approche de l'efficacité mnésique orientée sur la précision (accuracy-oriented approach) et la conception fonctionnaliste de l'organisation de la mémoire qui apporte des réponses aux critiques opposées à l'approche structuraliste. Dans cette métaphore, la mémoire est considérée d'une manière différente, focalisée sur la correspondance entre le souvenir qu'un individu rapporte et ce qui s'est véritablement passé (Koriat & Goldsmith, 1996; Koriat et al., 2000).

1.2.1. L'approche orientée sur la précision

Cette approche peut être illustrée par un protocole expérimental très répandu dans les recherches portant sur les témoignages oculaires dans lequel les participants observent une scène puis sont, par la suite, interrogés sur la scène et/ou sur les détails de cette scène. Contrairement à l'approche quantitative, cette approche s'intéresse à ce qui est rappelé et à des notions telles que la fiabilité, la précision et la fidélité des souvenirs.

Dans cette conception, les souvenirs sont considérés comme des constructions ou reconstructions des événements passés. Koriat et al. (2000) décrivent cette métaphore à travers les attributs suivant:

- Aboutness (le contenu) : les souvenirs portent sur des événements passés et sont des descriptions qui peuvent être considérées comme des propositions porteuses d'une valeur de vérité.
- Accuracy (la précision) : ce point correspond au niveau de fiabilité du souvenir, à son niveau de correspondance à la réalité.
- Forgetting (l'oubli) : l'oubli est considéré comme la perte de correspondance entre ce qui est rapporté et le véritable événement. Ce point inclut également différentes distorsions telles que les simplifications, les fabrications, les confabulations, etc...
- Content (le contenu) : dans cette approche, ce qui est mémorisé ou mal mémorisé importe énormément contrairement à l'approche quantitative.
- Output-boundness (orientée sur la sortie) : cette approche se focalise sur la sortie, c'est-à-dire sur ce qui est rappelé et à quel point cela s'accorde avec l'entrée c'est-à-dire la situation passée réellement vécue.
- Memory as a perception of the past (la mémoire en tant que perception du passé) : comme dans le domaine de la perception, l'intérêt de l'approche orientée sur la précision porte sur la correspondance entre ce qui est perçu, ou ici mémorisé, et la réalité et les différentes façons dont les percepts, ou ici souvenirs, peuvent dévier de la réalité.

Cette approche permet d'intégrer le fait que des changements s'opèrent entre le moment où un événement est vécu et le moment où le souvenir de cet événement est utilisé et le fait que le souvenir d'un événement peut inclure des informations qui n'étaient pas présentes au moment de la formation du souvenir. L'information n'est alors pas seulement déposée dans un stock mais assimilée et intégrée au sein des autres structures cognitives. Cela explique alors l'influence de la mémoire sur d'autres fonctions cognitives telles que la perception.

Ces différents attributs et considérations se retrouvent dans une approche relativement récente de l'organisation de la mémoire qui remet en cause l'existence de différents stocks au profit de différents processus. Cette conception appelée fonctionnalisme a notamment regagné en intérêt suite à l'introduction des théories incarnées de la cognition (Glenberg, 1997; Versace et al., 2002; Wilson, 2002) qui mettent en avant l'importance de la situation présente.

1.2.2. Le fonctionnalisme

Le courant fonctionnaliste se définit en opposition au structuralisme. Là où ce dernier prône la multiplication des systèmes, le premier défend une mémoire unitaire et s'intéresse davantage au fonctionnement de la mémoire plutôt qu'à son architecture (voir par exemple Hintzman, 1984; Whittlesea, 1987). Cette section présentera les arguments qui constituent les piliers du fonctionnalisme et qui s'opposent point par point à ceux qui soutiennent l'entreprise structuraliste. L'idée principale défendue par le fonctionnalisme est que ce sont les propriétés fonctionnelles et biologiques du système cognitif qui vont définir la nature des représentations et l'organisation de la mémoire. Les diverses facultés mentales telles que la perception, la mémoire et le raisonnement opèrent alors de façon intégrée (Versace et al., 2002).

En ce qui concerne les trois grandes étapes du fonctionnement de la mémoire, et tout d'abord l'encodage, le contenu de la mémoire dépendrait ici, comme le suggère les travaux de Craik et Lockhart (1972), des traitements (i.e. de l'activité) réalisés au moment de l'encodage sur l'information traitée. Les auteurs proposent que la profondeur du traitement réalisé, s'inscrivant sur un continuum allant d'un traitement superficiel des propriétés physiques à un traitement sémantique plus complexe, influence directement la qualité du souvenir de cette information. Cette théorie de la profondeur de traitement a permis de soulever l'importance de l'activité de l'individu dans la compréhension de la mémoire et d'insinuer le doute par rapport au codage abstrait des représentations. En effet, le codage abstrait proposé par le structuralisme ne permet pas de rendre compte des effets de profondeur de traitement. Cet encodage n'est ici pas nécessaire, l'information retenue en mémoire n'est pas transformée au même sens que dans l'approche multi-systémique.

Le fonctionnalisme se distingue également au niveau de la récupération des connaissances en mémoire. Les travaux de Tulving et Thomson (1973) sur la spécificité de l'encodage, de Kolers (Kolers & Roediger, 1984) et de Morris, Bransford, et Franks (1977) sur le transfert approprié de processus montrent que les événements passés ont un impact sur les activités ultérieures car les activités au moment de la mémorisation correspondent à celles mises en jeu au moment de la récupération. La mémoire est ici une reconstruction et la similitude entre une situation passée donnée et la situation présente correspondante est une notion primordiale dans le cadre d'une mémoire à système unique.

1.2.3. Les modèles à traces-multiples

Passer d'une conception multi-système de la mémoire à une conception système unique implique un changement également au niveau du contenu de la mémoire. C'est même ce changement de perspective vis-à-vis du contenu de la mémoire qui va imposer la conception de mémoire à système unique. Cette mémoire unitaire conserverait une trace de toutes les expériences d'un individu. Cette trace est épisodique dans le sens où elle conserve les caractéristiques des événements à partir desquels elle s'est formée et elle est multidimensionnelle car elle conserve les multiples propriétés sensori-motrices de ces événements.

La mémoire est donc constituée d'une accumulation de traces à partir desquelles toute forme de connaissance pourra émerger. Cette connaissance correspond alors bien à une reconstruction à partir des traces des événements en accord avec la métaphore de la correspondance. Les traces correspondent aux patterns d'activations neuronales distribués sur l'ensemble des aires cérébrales impliquées dans le traitement de l'information (Hintzman, 1984; Whittlesea, 1987). Par exemple, un souvenir de nature épisodique composé de différentes propriétés visuelles, olfactives et motrices sera donc distribué entre les différentes aires cérébrales correspondantes. De fait, les frontières entre différentes fonctions cognitives telles que la perception, le langage, l'attention et la mémoire sont moins strictes que ce qu'on pouvait penser par le passé (Rey, Vallet, Riou, Lesourd, & Versace, 2015; Rey, Riou, Muller, Dabic, & Versace, 2015).

Les connaissances auraient par conséquent un caractère dynamique et correspondraient à différents patterns d'activation au sein du système. Cette vision, issue des travaux sur les réseaux de neurones artificiels, et dans la lignée des propositions connexionnistes de Hebb (1949), mettent en avant la nécessité de prendre en compte les contraintes du système lui-même. Les substrats neuronaux responsables du traitement de l'information entrante sont donc directement impliqués dans le stockage des représentations et dans leur émergence. Ce qui floute les frontières entre encodage, stockage et récupération.

Malgré leurs atouts majeurs et l'avancée qu'ils représentent, certains aspects des modèles à traces-multiples ont été remis en cause (Pour une revue, voir Versace et al., 2009). La première critique concerne l'indépendance et la spécificité des traces. L'hypothèse est que les traces sont spécifiques à un événement et donc indépendantes les unes des autres. Cela pose problème étant donné qu'un seul et même réseau neuronal est responsable du "stockage" de ces nombreuses

traces. Les traces ne peuvent donc pas être à la fois indépendantes les unes des autres et être situées dans le même réseau neuronal. La seconde critique repose sur le lien entre traces multiples et architecture mnésique. Les traces multiples sont une proposition sur la manière dont le système opère et ces opérations sont compatibles avec différentes architectures mnésiques. Seulement, aucun des modèles majeurs, à part celui de Whittlesea (1989), n'a proposé d'architecture opérant sur des traces. La troisième critique repose sur la nature des dimensions qui vont former une trace en mémoire. En effet, la nature des composants encodés au sein d'une trace est longtemps restée sans réponse. Enfin, la dernière critique porte quant à elle sur le manque de description des dynamiques de l'intégration des différentes propriétés d'un événement au sein de la trace de cet événement en mémoire. Cela n'a été évoqué que brièvement par Whittlesea (1987) par le biais du paramètre d'intégration mais l'auteur ne parle pas de la dynamique d'intégration.

Néanmoins, ces modèles ont le mérite d'opter pour une approche de la mémoire fondée sur les spécificités du système dans lequel cette mémoire est implémentée: le cerveau. Le fonctionnement de la mémoire et la nature des connaissances émergentes vont ainsi dépendre fortement de l'activité lors de l'encodage et de la réactivation.

1.3. Une mémoire incarnée

Depuis le début des années 90, une conception s'est peu à peu développée en insistant et en démontrant fortement l'importance, dans la cognition, du corps et de l'environnement dans lequel il évolue. Cette conception, appelée cognition incarnée, a favorisé un changement paradigmatique dans l'étude de la cognition et notamment dans l'étude de la mémoire. Cette partie aura pour objectif, dans un premier temps, de présenter cette conception à travers les principes majeurs qu'elle défend et qui impactent directement le domaine de la mémoire. Puis, dans un second temps, d'introduire le modèle Act-in (Versace et al., 2014), modèle fonctionnel de mémoire à traces-multiples, qui répond aux objections soulevées à l'encontre des modèles fonctionnels à l'issue de la partie précédente et qui applique les principes de la cognition incarnée pour décrire la mémoire et les mécanismes qui sous-tendent son fonctionnement.

1.3.1. L'importance de la situation présente

C'est en 1991 que Varela, Thompson et Rosch publient "The Embodied Mind". Les auteurs sont les premiers à y défendre l'idée d'énaction dans son sens moderne. Selon eux, "le cerveau existe dans un corps, le corps existe dans un monde, et l'organisme bouge, agit, se

reproduit, rêve, imagine. Et c'est de cette activité permanente qu'émerge le sens du monde et des choses.". La cognition est alors "située" car elle dépend des situations rencontrées par l'individu, et "incarnée" car elle prend place dans un corps et émerge des interactions de ce corps avec l'environnement.

La cognition va alors se définir, et être contrainte, par cet aspect incarné. Les connaissances sont constituées de propriétés perceptives, motrices, intéroceptives et même émotionnelles mais également situationnelles correspondant, au niveau cérébral, à des activations neuronales distribuées sur l'ensemble du cerveau (Barsalou, 1999, 2003). Les connaissances se créent à partir de l'expérience de l'individu (empirisme) et émergent de l'état du système et des interactions entre les éléments qui le composent : l'individu et l'environnement. L'approche incarnée peut même aller jusqu'à nier la notion de représentation. En effet, cette cognition des computations qui était au cœur de l'approche fonctionnaliste se traduit ici simplement par un état global du système individu-environnement. Toutefois, représentations ou pas, les connaissances sont indissociables des expériences sensori-motrices des individus. Le corps et "l'esprit" ne sont pas des entités séparées mais, au contraire, en constante interaction. Le corps fait partie de la cognition. Glenberg, Witt, et Metcalfe (2013) vont même jusqu'à dire que "la façon dont nous pensons dépend du corps que nous avons." (p. 573). Les connaissances ainsi conservées en mémoire ne sont pas des connaissances symboliques stockées dans un répertoire mais des traces laissées par les activations neuronales distribuées sur l'ensemble du cerveau.

De nombreux travaux expérimentaux viennent appuyer cette conception. Par exemple, Casasanto et son équipe (e.g. Willems, Hagoort, & Casasanto, 2010; Willems, Toni, Hagoort, & Casasanto, 2009) ont montré que des gauchers et des droitiers, des individus qui interagissent donc différemment les uns des autres vis-à-vis de l'environnement, imaginent différemment une même action et ce en utilisant deux hémisphères cérébraux différents. Proffitt et son équipe (Bhalla & Proffitt, 1999; Schnall, Harber, Stefanucci, & Proffitt, 2008; Schnall, Zadra, & Proffitt, 2010) ont quant à eux évalué l'influence de différentes variables sur la perception de l'inclinaison d'une pente. Ils ont observé que des individus qui portaient un sac plein sur le dos, venaient de faire un jogging ou avaient un taux plus faible de glucose dans le sang percevaient la pente comme plus inclinée et donc plus difficile à gravir que les individus des groupes contrôles qui eux ne portaient pas de sac, n'avaient pas couru ou avaient un taux de glucose dans le sang plus élevé. Enfin, pour achever cette série d'exemple, Zhong et Liljenquist (2006) ont étudié expérimentalement "l'effet MacBeth". Nommé d'après Lady MacBeth, personnage

de la pièce éponyme de William Shakespeare, qui, étant responsable de plusieurs meurtres, n'a de cesse de se laver les mains afin d'en faire disparaître les tâches de sang imaginaires qu'elle voit apparaître sur celles-ci. Cette atteinte à l'intégrité morale du personnage la poussant à laver physiquement ces fautes. Zhong et Liljenquist ont vérifié cet effet à travers une série de quatre expériences en montrant que les personnes ayant quelque chose à se reprocher (i.e. avec un faible niveau d'intégrité morale) s'engageaient davantage dans des comportements liés au besoin de se laver que des personnes n'ayant rien à se reprocher (i.e. avec un fort niveau d'intégrité morale). De plus, se laver les mains restaurait l'intégrité morale des individus et diminuait leur propension à s'engager dans une action charitable par rapport aux personnes ne s'étant pas lavées les mains.

Une conception incarnée de la cognition ne peut être que fondamentalement mnésique car l'anticipation d'expériences futures ne peut se faire que sur la base des traces des expériences passées. Mais "A quoi sert la mémoire ?" C'est la question que pose Glenberg (1997), de façon volontairement provocatrice, afin de montrer que les travaux sur la mémoire effectués jusqu'alors n'avaient peut-être pas adopté la bonne approche. L'auteur, en passant en revue les travaux issus de l'étude de la mémoire et de la compréhension du langage, ouvre la voie vers une reconsidération de la notion d'efficacité du système cognitif et principalement d'une mémoire qui ne servirait pas à la mémorisation et à la récupération des connaissances mais à l'adaptation de l'individu à la situation qu'il rencontre et à l'activité qu'il mène.

1.3.2. Le modèle Act-in

C'est avec pour objectif de proposer une alternative à la description multi-système classique de la mémoire que Versace et al. (2014) conçoivent le modèle Act-in. S'inspirant de modèles à traces-multiples (e.g. Hintzman, 1984, 1986), Act-in se place au sein d'une conception incarnée du fonctionnement cognitif dans laquelle la mémoire vient servir la perception et l'action afin que l'individu puisse agir dans une situation donnée. La mémoire est ici épisodique, multimodale, dynamique, fonctionnelle et situationnelle. Act-in propose une description du contenu de la mémoire et des différents processus permettant l'émergence des connaissances.

En s'appuyant sur des travaux provenant aussi bien d'études en imagerie cérébrale que d'études comportementales, Versace et al. (Versace et al., 2014, 2009, 2002) défendent le caractère épisodique de la mémoire. De nombreux travaux montrent en effet que la mémoire

encode les différentes propriétés sensorielles et motrices des expériences vécues. Les connaissances émergent de l'activité de systèmes neuronaux impliqués dans le traitement d'informations sensori-motrices correspondantes. La mémoire est ainsi multimodale dans le sens où ces propriétés des expériences passées seraient conservées au sein de traces distribuées à travers les multiples systèmes responsables des traitements sensori-moteurs et émotionnels. Le contenu de la mémoire est alors en constante évolution, rendant ainsi la mémoire dynamique. Les connaissances émergent continuellement de la dynamique du système neuronal. Elles ne sont plus fixées mais elles évoluent en permanence en fonction du statut du système neuronal qui les génère. La mémoire est aussi fonctionnelle et situationnelle car les connaissances émergent de l'activité de l'individu dans une situation donnée et par résonance entre les propriétés des expériences passées ayant modelé les réseaux neuronaux et les propriétés de la situation présente. La mémoire est ici un système unitaire au sein duquel des traces des expériences vécues sont conservées au sein des différents systèmes responsables du traitement de l'information conservée, i.e. les systèmes visuels, auditifs, moteurs, etc...

Les modèles à traces-multiples ont été confrontés à de nombreuses objections. Parmi ces objections, la principale repose sur la question de l'indépendance des traces en mémoire. Ces modèles postulent que chaque expérience vécue donne lieu à une trace spécifique de cette expérience en mémoire. Les traces seraient donc indépendantes les unes des autres et ce à la fois spatialement et temporellement. Le contenu d'une trace ne dépendrait pas des traces précédentes et n'influencerait pas les traces suivantes. Versace et al. (2009) avancent qu'il n'existe aucune contradiction entre l'existence de traces épisodiques et la notion de dépendance de traces distribuées spatialement et temporellement. Spatialement car les traces encodent les différentes propriétés de nos expériences et temporellement car les propriétés qui forment les traces reflètent à la fois la situation présente et les propriétés réactivées en mémoire par la situation présente. De plus, les mêmes aires neuronales conservent de multiples traces, ainsi ajouter une nouvelle trace modifie les anciennes. De cette façon, les traces ne sont indépendantes ni spatialement – car elles partagent les mêmes structures neuronales – ni temporellement à la fois de façon proactive (le contenu d'une trace dépend du contenu des traces précédentes réactivées) et rétroactive (le contenu d'une trace modifie le contenu des traces précédentes).

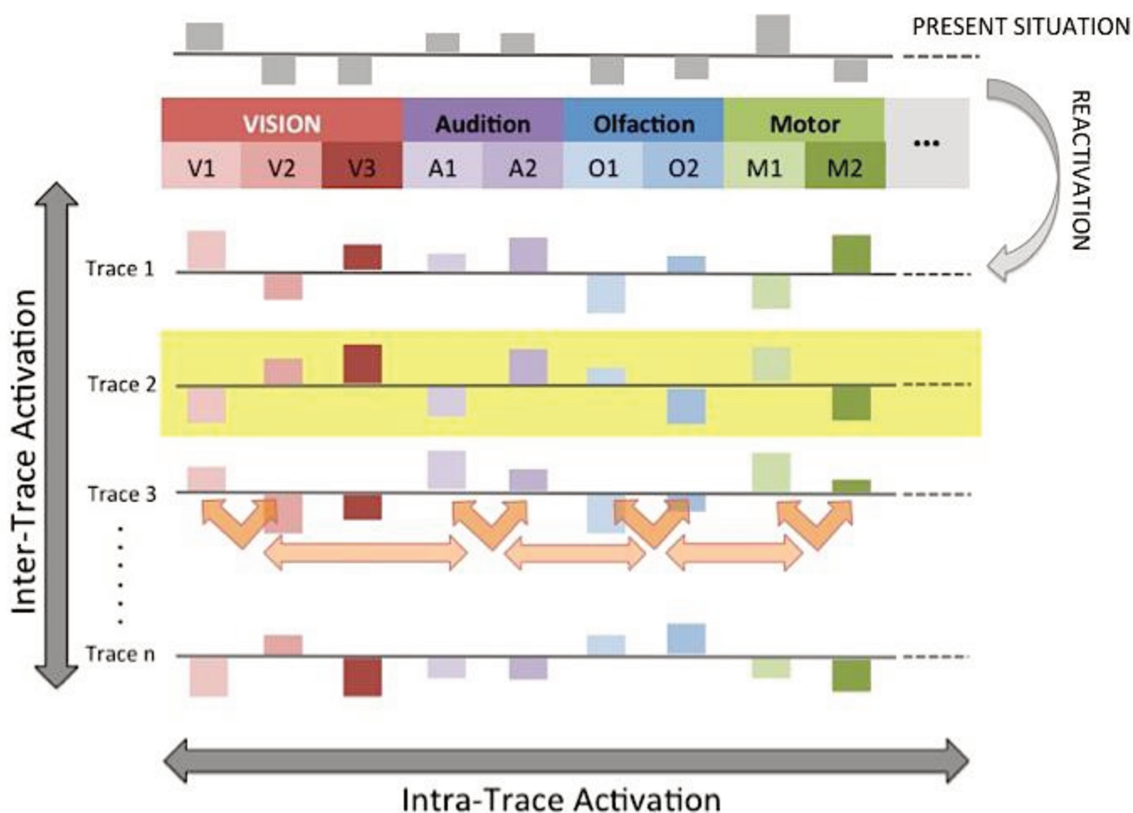


Figure 3 - Illustration du modèle Act-in (Versace et al., 2014).

Dans la lignée du modèle MINERVA 2 (Hintzman, 1984), Act-in décrit l'organisation de la mémoire selon une matrice (voir Figure 3). Dans cette matrice, sont représentées, sous forme de lignes, les expériences de l'individu. La première ligne correspond à la situation présente et les suivantes aux traces des situations passées conservées en mémoire. Comme mentionné précédemment, chaque trace se compose des différentes propriétés sensori-motrices des situations rencontrées. Ces propriétés correspondent à chaque colonne de la matrice. C'est à partir de ces traces épisodiques et de leurs différentes propriétés que vont émerger les connaissances par l'action concurrente de deux mécanismes: l'activation inter-traces et intra-trace.

De l'interaction entre l'individu et l'environnement va naître un pattern d'activation des aires sensori-motrices (visuelles, auditives, motrices, etc...). Cette activation va se répandre aux traces composées de propriétés similaires par activation inter-trace, c'est-à-dire par diffusion aux propriétés partagées par différentes traces mais ceci au sein d'une même composante, visuelle par exemple (i.e. diffusion verticale dans la matrice). De façon parallèle, une diffusion d'activation va également s'effectuer mais cette fois-ci à travers différents composants (le visuel va réactiver de l'auditif par exemple) d'une même trace (i.e. de façon horizontale dans la

matrice). L'une des originalités de la conception avancée par Versace et collaborateurs est l'idée que les propriétés réactivées en mémoire peuvent être absentes de la situation actuelle. Elles auront été associées aux composants réactivés lors de la création des traces des événements passés correspondants par un mécanisme nommé intégration multi-composants. Ce dernier est au cœur des travaux présentés dans cette thèse et fera l'objet d'un chapitre dédié.

Le modèle décrit également la distinction entre l'émergence de connaissances épisodiques et sémantiques. En fonction de la situation et de l'activité dans laquelle l'individu est engagé, la diffusion d'activation au sein des traces varie. Les mécanismes d'activation inter et intra-traces s'effectuent en parallèle. D'une part, l'activation inter-traces va se répandre à travers de nombreuses traces et favoriser l'émergence de connaissances sémantiques. L'activation inter-traces va, d'autre part, se répandre à travers différents composants. Si des composants spécifiques à un nombre restreints de traces sont réactivés alors cela favorise l'émergence de connaissances spécifiques (épisodiques), toutefois si des composants partagés par un plus grand nombre de traces sont réactivés alors cela favorise l'émergence de connaissances catégorielles (sémantiques).

Act-in conçoit le cerveau comme un système de catégorisation qui se développe en accumulant des expériences et qui produit par défaut plutôt des connaissances catégorielles. Toutefois, ce système fonctionne sur la base de traces considérées comme épisodiques car elles conservent les différentes propriétés des expériences que nous vivons. Dans une conception incarnée, la mémoire, en conservant des traces de nos expériences passées, nous permet de nous comporter de façon adaptée vis-à-vis des situations que nous rencontrons chaque jour. En conservant les traces de chaque expérience, le système est ainsi sûr de posséder les informations les plus récentes afin d'être paré à toute nouvelle situation. Prenons l'exemple des marches d'un escalier. Lorsque nous gravissons un escalier, la trace mnésique de cet événement conserve les propriétés du programme moteur nous permettant de lever la jambe pour franchir chaque marche. Au fil des expériences, ce programme moteur va s'affiner et, comme notre corps cherche à dépenser le moins d'énergie pour une tâche donnée, nous lèverons la jambe juste ce qu'il faut pour gravir chaque marche. Les traces mnésiques de ces différentes interactions avec l'escalier vont donc contenir un programme moteur de plus en plus fin et notre mémoire nous permet de programmer une action des muscles adaptée à la taille des marches. Imaginons maintenant que, suite à des travaux, la hauteur d'une des marches augmente. C'est notre mémoire qui va faire que nous allons trébucher car les traces en mémoire ne sont pas adaptées à cette nouvelle situation. Toutefois, c'est également notre mémoire qui va faire en sorte que

nous ne trébucherons pas la fois suivante en conservant une nouvelle trace correspondant à la chute. Elle nous permet de nous adapter sans cesse.

Cependant, nous avons également besoin de nous rappeler d'événements spécifiques, ne correspondant qu'à une seule trace en mémoire ou à un faible nombre de traces. C'est ce qu'on appelle les activités discriminantes. Ces activités sont principalement épisodiques car elles requièrent la réactivation des diverses propriétés de l'expérience en question. En nous rappelant, notre dernière visite au cinéma, nous pourrions sûrement resituer la place à laquelle nous étions assis, dire qu'il faisait un peu trop frais car la climatisation était trop forte, quel type de popcorn nous avons acheté, comment nous avons trouvé le film, quelles scènes nous ont le plus marqué, etc... Ces activités reposent sur un nombre plus restreint de traces, sont plus difficiles à mettre en place et sont plus susceptibles aux troubles (liés au vieillissement, à l'amnésie, etc...). Elles font fortement appel à la capacité du système à lier entre elles les différentes propriétés d'un événement au sein de la trace. L'efficacité lors de ces activités dites discriminantes va alors dépendre a) de la capacité d'une trace à être réactivée, de par sa distinctivité vis-à-vis des autres traces et de par le niveau d'intégration de ses différents composants et b) de la potentialité de la situation présentée à réactiver des traces spécifiques par le biais d'indices (ou en d'autres termes du niveau de correspondance entre la situation présente et les traces en mémoire). Nous développerons ces points dans la partie suivante.

C'est sur la question de l'intégration des différentes propriétés entre elles que nous nous concentrerons. Dans les travaux de Versace et al., (2014, 2009), le terme intégration désigne à la fois un phénomène décrivant l'activation conjointe de différentes propriétés lors de l'émergence de connaissances mais également l'association des propriétés d'un événement au sein d'une trace mnésique au moment de sa formation. Cet aspect crucial dans la création de traces épisodiques impacte directement les notions de "contenu", de "précision" et de "mémoire en tant que perception du passé" avancées par Koriat et al. (2000) dans sa conception d'une efficacité de la mémoire orientée sur la précision. L'établissement de liens forts entre les différentes propriétés d'un événement va ainsi permettre de favoriser la réactivation de la trace spécifique. Si une propriété présente dans la situation présente réactive une propriété d'une trace qui est fortement intégrée aux autres propriétés de cette trace, alors la trace entière pourra être réactivée. Au contraire, si l'intégration entre les propriétés n'est pas suffisamment forte, l'activation pourrait ne pas se propager, la trace ne pas être réactivée et le souvenir ne pas émerger. Le manque de description de ce mécanisme fait partie des objections formulées à

l'encontre des modèles à traces-multiples antérieurs. Ce mécanisme étant au cœur des travaux de cette thèse, nous lui consacrerons entièrement la prochaine partie de cette introduction.

2. Le mécanisme d'intégration

Cette partie aura pour but de faire le point sur la notion d'intégration telle qu'elle est défendue par le modèle Act-in (Versace et al., 2014) et de décrire de façon précise l'objet d'étude de ce travail de thèse. Pour parvenir à cet objectif, il est d'abord nécessaire de présenter le mécanisme tel qu'il est décrit dans les travaux ayant donné naissance au modèle. Ensuite, nous rapprocherons ce mécanisme de différentes notions issues de la littérature et qui en sont assez proches (binding, tokens). Cette partie nous permettra également d'effectuer une différenciation nécessaire entre deux aspects cruciaux dans la compréhension de l'intégration: la formation de la trace mnésique et l'émergence des connaissances. Une fois cette distinction opérée, nous terminerons par la description du type d'intégration sur lequel a porté tout notre intérêt lors de ce travail: l'intégration intra-trace.

2.1. L'intégration selon Act-in

L'intégration telle que décrite par Act-in avait, auparavant, surtout été étudiée dans le domaine de la perception visuelle et notamment à travers les travaux de Treisman et de la feature-integration theory (Treisman & Gelade, 1980). Cette théorie avance l'existence de deux étapes impliquées dans l'identification visuelle d'un objet: une étape initiale d'analyse rapide et parallèle des caractéristiques élémentaires de l'objet (sa forme, sa couleur, sa taille, etc...) qui, à ce stade-là, n'existe pas encore en tant qu'objet; et une étape où ces différentes propriétés sont intégrées afin de permettre l'identification de l'objet et l'extraction de connaissances relatives.

Versace et collaborateurs (Versace et al., 2009 ; 2014) propose de décrire l'émergence des connaissances de manière similaire. Les différentes propriétés d'une situation vont être très rapidement activées de façon parallèle au sein de différentes structures cérébrales responsables de leur traitement. Par exemple, entendre un son va activer très rapidement les aires auditives correspondantes. Cette activation va se propager aux autres propriétés partagées par la situation présente: les autres composantes sensorielles (visuelles par exemple), les composantes motrices ou encore émotionnelles. A partir du moment où différentes aires cérébrales sont impliquées, ces activités doivent être intégrées graduellement aux niveaux intra et inter-modaux permettant ainsi d'accéder à des connaissances unitaires de plus en plus élaborées. Une différence majeure

entre le modèle de Treisman et la proposition de Versace et collaborateurs repose sur le fait que les propriétés sensorielles décrites par Treisman sont également, pour Versace et collaborateurs, des propriétés mnésiques dépendantes des expériences de l'individu, soumises au changement, et pouvant varier en fonction de la situation. La plupart des travaux sur l'intégration ont porté sur des propriétés effectivement présentes lors de l'événement mais ne se sont pas intéressés aux propriétés non présentes, mais réactivées en mémoire.

Cette conception de l'intégration est soutenue, et s'illustre parfaitement, par les travaux de Labeye, Oker, Badard, et Versace (2008). Dans cette étude qui utilise un paradigme d'amorçage à court terme, des participants devaient catégoriser des objets cibles comme étant soit des outils soit des ustensiles des cuisines. Les amorces étaient des objets appartenant ou non à la même catégorie sémantique (outils vs. ustensiles de cuisine) et qui impliquaient des gestes d'utilisation similaires ou différents. Deux groupes de participants étaient confrontés à deux durées de SOA (Stimulus Onset Asynchrony) différentes. Dans la condition avec un SOA de 100 ms, l'analyse des temps de réponse a révélé des effets additifs de la similarité motrice et de la similarité catégorielle alors que dans la condition avec un SOA de 300 ms, l'analyse a révélé une interaction. Les auteurs ont interprété ces résultats en termes de mécanismes d'activation et d'intégration impliqués dans l'émergence des connaissances. Le délai plus long de 300 ms permet d'intégrer les différentes propriétés de l'amorce (similarité motrice et gestuelle) mais empêche ces différentes propriétés de s'exprimer individuellement. Pour résumer, ici, l'intégration correspond à une somme d'activation mais contrairement aux modèles d'appariement global (e.g. Hintzman, 1986), l'intégration est online, dynamique, progressive et non-linéaire. La somme des activations s'effectue en parallèle des calculs de similarité avec la situation présente et différentes formes de connaissances peuvent être construites et élaborées au fur et à mesure.

L'intégration décrite ici est donc un mécanisme intervenant au moment de l'émergence des connaissances et ne semble, a priori, pas jouer sur la formation des traces en mémoire. Toutefois, dans une conception hautement intégrée du fonctionnement cognitif, les fonctions cognitives telles que la perception, l'imagerie mentale ou la mémoire ne sont pas dissociables les unes des autres. Cela a pour effet de flouter également les frontières entre la formation des traces en mémoire (encodage) et l'émergence des connaissances. Act-in déclare que l'émergence des connaissances requiert l'intégration, dans une même trace mnésique, des différentes propriétés de l'événement rencontré et ce au moment de l'encodage (Versace et al., 2014). Cette intégration est appelée intégration intra-trace et introduit la notion de niveau d'intégration des

propriétés. Cette notion fait référence à la force du lien entre les propriétés intégrées au sein de la trace mnésique. Ce niveau d'intégration va directement influencer l'émergence de traces spécifiques (l'émergence de connaissances épisodiques). Plus les propriétés seront intégrées, c'est-à-dire fortement liées les unes aux autres, plus la trace qui les contient sera facilement dissociées des autres traces et donc plus facilement réactivée.

En bref, deux types d'intégration se distinguent au sein des travaux de Versace et al. (2014, 2009). Tout d'abord une intégration dite multi-composants qui, au moment de l'émergence des connaissances - ou pour reprendre les termes employés dans le modèle Act-in, au moment de la réactivation des propriétés conservées en mémoire - va correspondre à la réactivation de plusieurs propriétés sensori-motrices de façon unitaire et indissociable et ce dans le but de participer à la perception, à l'orientation de l'attention ou à l'exécution d'une action. Il serait sans doute judicieux de changer de terme pour la désigner et éviter la confusion avec la seconde forme. Cette seconde forme d'intégration dite intra-trace qui, au moment de la formation de la trace d'un événement en mémoire, va lier entre elles ces différentes propriétés sensori-motrices entre elles au sein d'une trace. Ces propriétés sont des propriétés présentes dans la situation nouvellement encodée mais également des propriétés que cette situation a pu réactiver en mémoire et qui vont être intégrées, liées aux nouvelles propriétés au sein de la trace. Finalement, l'intégration multi-composants peut dépendre en partie de l'intégration intra-trace et ce particulièrement lors de l'émergence de connaissances discriminantes, épisodiques. Par exemple, entendre un piano pour la première fois va créer une trace en mémoire au sein de laquelle l'intégration intra-trace va lier les propriétés visuelles aux propriétés auditives du piano. Plus tard, en rencontrant de nouveau un piano, ces propriétés vont être réactivées conjointement par intégration multi-composants qui va permettre de dire qu'il s'agit d'un piano.

C'est sur l'intégration intra-trace et sur son influence sur l'efficacité de la mémoire que nous nous concentrerons dorénavant. Cependant, afin de mieux cerner les différents enjeux et d'ancrer ces travaux dans des considérations théoriques plus vastes que le simple cadre délimité par Act-in, il semble nécessaire de rapprocher le mécanisme d'intégration d'autres notions fréquemment rencontrées dans la littérature sur le domaine.

2.2. Les mécanismes proches de l'intégration dans la littérature

Dans le domaine d'étude de la mémoire, de nombreux termes sont utilisés pour décrire des phénomènes proches de (voire semblable à) l'intégration décrite par Versace et al. (2014). On citera principalement la mémoire associative, le binding, les tokens épisodiques, etc... Cette section ne se veut pas exhaustive, le but étant simplement de décrire une diversité de termes qui se rapportent aux mêmes phénomènes mnésiques. A travers ces descriptions, nous ferons émerger différents aspects cruciaux partagés par l'ensemble de ces notions et qui caractérisent l'intégration intra-trace. C'est sur la présentation de cette intégration que nous clôturerons ce chapitre.

2.2.1. La mémoire associative

La mémoire associative est une notion très générique et se rapporte en effet à un ensemble très vaste et tout aussi varié. De fait, elle est employée dès que la mémorisation d'une association est testée et ce quelle que soit la nature des éléments qui composent cette association.

Ainsi, l'utilisation la plus répandue reflète l'évaluation d'une association entre deux éléments que l'on pourrait qualifier d'équivalents. L'exemple le plus récurrent est celui de la paire de mots (e.g. Madan, 2014; Madan, Glaholt, & Caplan, 2010; Nashiro & Mather, 2010). Typiquement, lors d'expériences qui évaluent la mémoire associative sur des paires de mots, les participants mémorisent les paires lors d'une première phase (d'apprentissage) puis, lors d'une seconde phase (de test), l'un des deux mots est présenté de nouveau et les participants doivent rappeler le mot qui lui était associé auparavant. Les auteurs testent de cette façon l'influence de différentes variables telles que la classe des mots (verbe ou nom), leur imageabilité, leur valence émotionnelle, sur le rappel de l'association. Ce type d'expérience peut utiliser d'autres types d'éléments comme des paires d'images, des noms associés à des visages, etc... et tester l'association via le rappel, la reconnaissance ou encore l'amorçage (e.g. Kan et al., 2011; Sperling et al., 2003).

Cependant, le terme de mémoire associative est également employé pour désigner l'association entre un élément et les propriétés contextuelles qui l'entourent comme sa position spatiale (e.g. Mather, 2007) ou encore, dans le cas d'un mot, la personne l'ayant prononcé

(e.g. Wang, 2015). L'emploi du terme mémoire associative reste approprié dans tous les cas mais bien trop générique pour cerner les différentes facettes de l'intégration des propriétés des événements dont elle dépend.

2.2.2. Le Binding

Le terme de binding est utilisé pour décrire les situations dans lesquelles différentes formes d'informations (i.e. différentes propriétés d'un événement) sont intégrées ensemble en mémoire. Allen (2015) assume que des formes de binding distinctes existent, chacune se rapportant à différents contextes ou types d'informations.

Une première forme de binding concerne l'intégration des propriétés composant un objet (sa forme, sa couleur, etc...). Cela n'est pas sans rappeler la feature-integration theory de Treisman et Gelade (1980). Cette dernière montre comment les propriétés élémentaires d'un objet visuel sont intégrées perceptivement et permettent ainsi de percevoir un objet en tant que tel. En ce qui concerne la mémoire, ce binding dit intrinsèque lie les propriétés élémentaires unifiées de l'objet en mémoire, au sein de la trace mnésique. Des études rapportent que ce mécanisme serait automatique, n'impliquant pas ou très peu de ressources attentionnelles (e.g. Allen, Baddeley, & Hitch, 2006; Baddeley, Allen, & Hitch, 2011). Allen et al. (2006) ont évalué la mémorisation de formes, de couleurs et des combinaisons de ces formes et de ces couleurs tout en demandant aux participants de réaliser simultanément des tâches simples ou complexes ayant pour but d'accaparer leurs ressources attentionnelles. Les résultats ont montré que la reconnaissance des combinaisons forme-couleur n'était pas plus perturbée par la tâche concurrente que la reconnaissance des formes et couleurs séparément. Les auteurs en ont conclu que, au moins en ce qui concerne les objets unifiés simples, le binding des différentes propriétés (ici la forme et la couleur) se faisait de manière relativement automatique. Pour Allen (2015), il est probable que les mécanismes impliqués dans cette forme de binding profitent du fait que les propriétés soient unifiées (unitized), ou en d'autres mots, fassent partie du même objet, au sein de l'environnement. Cela soulève la question de ce qui fait d'un objet un objet à part entière (voir Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992), question qui constitue le point de départ des travaux sur l'unitization (Goldstone, 2000) qui s'intéressent à l'influence de la présentation unifiée de différentes propriétés sur la perception et la mémoire. Toutefois, ceci n'étant pas l'objet de cette thèse, nous ne nous attarderons pas davantage sur le sujet.

Pour en revenir au binding, Ecker, Maybery, et Zimmer (2013) mettent en avant la distinction entre binding intrinsèque et extrinsèque. Contrairement au binding intrinsèque décrit dans le paragraphe précédent, le binding extrinsèque concerne l'intégration des propriétés contextuelles faisant partie de l'événement rencontré. Dans une série d'expériences, les auteurs ont étudié l'influence du binding entre formes et couleurs sur les performances de reconnaissance des formes. La couleur associée à chaque forme durant la phase d'apprentissage était soit la couleur de la forme elle-même (propriété intrinsèque) soit la couleur du fond d'écran (propriété extrinsèque). Au moment de la reconnaissance, la couleur associée à la forme était soit la couleur précédemment associée durant la phase d'apprentissage soit une couleur différente. Les résultats ont d'abord montré que le changement de couleur intrinsèque perturbait la reconnaissance même lorsque l'apprentissage avait été réalisé de manière incidente mais aussi que le changement de couleur extrinsèque n'affectait pas la reconnaissance de la forme même si la couleur de fond avait été encodée avec succès et était accessible sur demande (rappel). Dans la lignée de travaux antérieurs (e.g. Baddeley et al., 2011), Ecker et al. (2013) argumentent en faveur d'un binding intrinsèque automatique et irrépessible et d'un binding extrinsèque qui, quant à lui, nécessiterait des ressources attentionnelles et un encodage actif.

Dans sa revue de la littérature sur le binding, Allen (2015) relève le fait que ces différents bindings peuvent opérer à travers de multiples modalités (par exemple visuelles, auditives, verbales). Il est intéressant de noter que même si les travaux mentionnés dans cette section font partie du domaine d'étude de la mémoire de travail (MDT), ces principes s'appliquent également dans le cadre d'Act-in, modèle de mémoire à long-terme (MLT), qui ne dresse pas de distinction structurale entre MDT et MLT. De fait, Allen avance que les différentes formes de binding soulignent fortement l'importance du buffer épisodique introduit par Baddeley (2000) dans son modèle de MDT. Ce buffer lie les informations en provenance des différents sous-systèmes de traitements et assure le passage vers la MLT. Même si la distinction entre MLT et MDT n'est pas pertinente au sein d'un modèle tel qu'Act-in, l'importance du binding dans l'aspect épisodique de la mémoire ne peut pas être négligée. De nombreuses études ont en effet montré que la mémoire épisodique reposait fortement sur la capacité à lier ensemble les différentes propriétés d'un événement (Tulving, 1984; Versace et al., 2002; Whittlesea, 1987).

Retenons donc pour la suite de cette introduction théorique qu'il existe deux formes de binding. Une première forme, dite intrinsèque, lie les propriétés constituantes d'un objet et une seconde forme, dite extrinsèque, lie les informations contextuelles d'un événement, le tout au

sein de la trace mnésique constituée à partir de l'expérience vécue. Le terme binding est un terme largement répandue dans la littérature sur le sujet de la mémoire et surtout de son efficacité, notamment en rapport aux différents facteurs qui permettrait de l'influencer. Bien qu'il soit fréquemment employé dans les études sur la MDT (e.g. Allen, 2015; Allen, Baddeley, & Hitch, 2006; A. Baddeley, 2000; A. D. Baddeley, Allen, & Hitch, 2011), le terme ne désigne pas spécifiquement un effet à court terme et se rapproche assez bien des conjonctions familières de Hommel et Colzato (2009). Toute association perceptuelle est au départ arbitraire (e.g. fraise rouge) mais le fait de rencontrer cette association un grand nombre de fois, dans des contextes différents, va transformer, ce qui au départ n'était que le binding de deux propriétés, en une association fortement ancrée. Les deux formes de binding qui sont au cœur de la présente section trouvent leurs équivalents dans le modèle de mémoire à long-terme Types- Token de Zimmer et Ecker (2010).

2.2.3. Object and Episodic Tokens

Le modèle Type – Token (Ecker, Groh-Bordin, & Zimmer, 2004; Zimmer & Ecker, 2010; Zimmer, Mecklinger, & Lindenberger, 2006) est un modèle neurocognitif de la MLT centré sur la notion d'objet qui fait référence à l'interconnexion, à l'unification de différentes propriétés perçues dans l'environnement (voir Figure 4). Cette notion n'est pas sans rappeler l'intégration perceptive telle que la conçoivent Treisman et Gelade (1980) ou encore le binding intrinsèque d'Ecker, Maybery, et Zimmer (2013). Ecker et al. (2004) admettent cependant que la nature de ces unités et ce qui les lie entre elles n'est pas certain et évoquent le fait que la tâche réalisée au moment de la création de la trace en mémoire puisse jouer un rôle crucial à ce niveau. Pour illustrer la diversité représentée par la notion d'unité ou d'objet, les auteurs prennent l'exemple de l'apprentissage d'une liste de mot et du visionnage d'un film. Dans le premier cas, un mot de la liste équivaut à une unité alors que dans le second cas, une scène entière du film peut être considérée comme une unité.

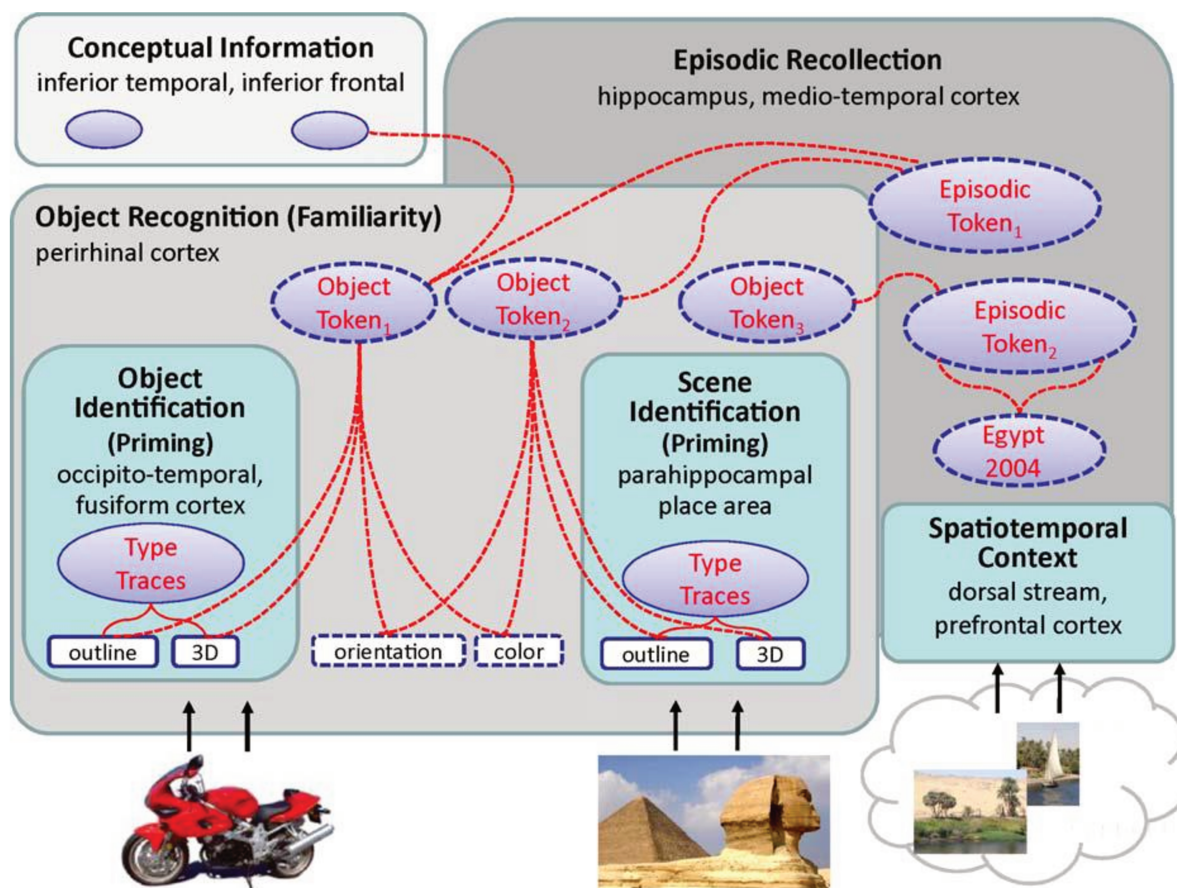


Figure 4 - Illustration du modèle de mémoire à long-terme Type -Token issue de Zimmer et Ecker (2010).

La principale revendication du modèle s'incarne dans la différenciation entre trois phénomènes mnésiques (ou états de conscience) que sont l'amorçage perceptif¹, la familiarité, le souvenir. Pour les auteurs, ces phénomènes reflèteraient trois sortes de représentations différentes réparties entre les types et les tokens. Les types correspondent à des propriétés génériques, prototypiques nécessaires à la reconnaissance d'objet à un niveau implicite. Ils seraient organisés en réseaux employés pour la catégorisation d'objet et s'affuteraient avec le temps, au fil de la répétition des expériences. Les tokens sont composés des propriétés sensori-motrices spécifiques utiles dans des tâches épisodiques explicites.

Certaines preuves empiriques viennent soutenir la dissociation entre types et tokens. La première vient des études sur les patients amnésiques et la dissociation entre mémoire explicite et implicite. En effet, chez les patients amnésiques, les performances de mémoire implicite, mesurées à travers des paradigmes d'amorçage, sont préservées alors que les performances de

¹ L'amorçage perceptif se traduit par un effet bénéfique, notamment sur les temps de réponse, de la présentation avant un item cible, d'un item amorce étant soit le même item que la cible, soit un item partageant des propriétés perceptives avec la cible.

mémoire explicite mesurées à travers des tâches de reconnaissance ou de rappel sont perturbées. Seulement, la distinction n'est pas si nette car les patients amnésiques montrent des performances de mémoire implicite perturbée lorsque l'évaluation porte sur des associations (Chun & Phelps, 1999). Cela tendrait donc à montrer une dissociation entre des représentations sensori-motrices élémentaires (les types) et des représentations unifiées, intégrées (les tokens).

La distinction entre ces deux formes de représentations se fonde également sur l'observation d'une dissociation des effets de l'orientation gauche-droite d'objet lors de tâches de reconnaissance et d'amorçage perceptif. Faire varier l'orientation gauche-droite entre une amorce et sa cible n'influence pas une tâche d'amorçage perceptif alors que faire varier cette orientation entre le moment de l'encodage d'un item et le moment de sa récupération perturbe les performances dans une tâche de reconnaissance. Cette dissociation fut considérée comme preuve que la reconnaissance et le priming perceptif reposeraient sur des traces mnésiques différentes (nous reviendrons sur ce point dans la section suivante). L'amorçage nécessiterait les types alors que la reconnaissance nécessiterait quant à elle les tokens.

L'aspect le plus pertinent du modèle, en ce qui nous concerne, est la distinction au sein des tokens, entre les tokens objets et les tokens épisodiques. Les tokens, tout comme les traces mnésiques d'Act-in, contiennent les propriétés sensori-motrices des événements rencontrés et sont donc également considérées comme des entités épisodiques pouvant être réactivées lors d'une situation donnée. Ces deux types de représentations vont se retrouver au sein de deux processus différents: la familiarité et le souvenir (Ecker et al., 2004). La principale différence entre la familiarité et le souvenir repose sur la quantité d'information accessible au moment de la récupération. C'est de cette façon que Tulving (1985) décrit la différence entre "se souvenir" et "savoir" (sentiment de familiarité). Si un sujet rapporte des détails spécifiques alors sa réponse repose sur un souvenir, alors que si aucun détail n'est rapporté alors sa réponse repose sur la familiarité.

Les tokens objets se composent des traces laissées par un objet au sein des aires cérébrales responsables de son traitement perceptif. Un token objet contient donc des informations sur les propriétés sensori-motrices d'un objet mais aucune information sur le contexte dans lequel cet objet a été rencontré. Ces tokens objets sont donc le support du sentiment de familiarité et dépendraient de l'activité du cortex perirhinal. Les tokens épisodiques intègrent quant à eux les informations sur un objet aux informations contextuelles lui étant associées (Où, comment, quand, etc...). En d'autres termes, un token épisodique peut contenir plusieurs tokens objets partageant les mêmes informations contextuelles, elles-mêmes

conservées dans le token épisodique les regroupant. Les tokens épisodiques sont le support de l'évocation d'un souvenir. Ce souvenir est plus complexe que le simple sentiment de familiarité et intègre des informations provenant de différentes modalités sensorielles et donc de différentes aires cérébrales. Cette intégration plus poussée serait quant à elle dépendante de l'activité hippocampique.

Pour résumer, et faire le lien avec le mécanisme d'intégration, nous retiendrons les deux types de représentations évoqués par Ecker et al. (2004) et Zimmer et Ecker (2010) comme servant de support aux processus de familiarité et de souvenirs que sont les tokens objets et les tokens épisodiques. Les premiers sont composés des propriétés constituantes d'un objet perçu au sein d'un événement ou d'une scène visuelle. En rencontrant une fleur, sa forme, sa couleur, son orientation et son odeur vont être conservées en mémoire sous forme de token objet. Ce token objet - et les propriétés qui le composent - vont être intégrés au contexte dans lequel cette fleur a été rencontrée dans le second de type de représentation: le token épisodique. Par exemple, la personne qui tenait cette fleur, la pièce dans laquelle elle se trouvait, l'émotion ressentie, etc... Les propriétés constituantes de la personne qui tenait la fleur (par exemple sa taille, sa corpulence, son genre, sa couleur de cheveux) peuvent elles-mêmes être intégrées au sein d'un token objet distinct de celui de la fleur mais intégré à ce dernier et aux informations contextuelles composant le token épisodique de l'événement.

La notion de token épisodique fait fortement écho à la notion de trace mnésique telle qu'elle est conçue par Versace et al. (2014, 2009). Ces deux notions font référence à une entité en mémoire conservant les propriétés sensori-motrices des événements, propriétés pouvant être réactivées si besoin. Elles sont toutefois légèrement différentes et c'est ce que nous aborderons dans la section suivante consacrée à l'intégration intra-trace.

2.3. L'intégration intra-trace

Le modèle Act-in assure que l'émergence de connaissances spécifiques (épisodiques) ne peut se faire sans une intégration multi-composantes (i.e. des différentes propriétés d'un événement) au sein d'une unique trace en mémoire. C'est ce que les auteurs appellent l'intégration intra-trace (Versace et al., 2014). Ainsi, l'émergence des connaissances, c'est-à-dire la capacité des propriétés intégrées à être réactivées lors d'une situation dépend fortement du niveau d'intégration entre ces propriétés, de la force du lien qui les unie au sein de la trace. Plus ce lien est fort, plus la trace qui contient ces propriétés se dissociera des autres traces et sera réactivée spécifiquement. Ainsi, contrairement à ce qu'avancent Ecker et al. (2004) et

Zimmer et Ecker (2010), pour Act-in, l'amorçage perceptif et la reconnaissance ne demanderaient pas des traces mnésiques différentes mais dépendraient de différentes propagations de l'activation au sein des traces: activations inter et intra-trace.

En s'inspirant des travaux mentionnés dans les sections précédentes, on peut distinguer deux types d'intégration. L'intégration des propriétés d'un objet au sein d'un événement et l'intégration de cet objet à son contexte. L'intégration des propriétés de l'objet rappelle fortement le binding intrinsèque (Ecker et al., 2013) ainsi que les tokens objets (Ecker et al., 2004; Zimmer & Ecker, 2010). Contrairement au modèle Type –Token, Act-in met de côté la notion de représentation. Les connaissances émergent directement de l'activité du système dans lequel elles sont implémentées sans être conservées sous forme de représentations. Ainsi, les propriétés de l'objet forment une trace de cet objet dans les aires cérébrales responsables de leur traitement. Ces propriétés sont liées car elles sont issues d'un objet unifié et sont intégrées dans la trace de cet objet. L'intégration de l'objet à son contexte rappelle quant à elle le binding extrinsèque et les tokens épisodiques. Comme pour ces derniers, l'ensemble des propriétés constituant le contexte entourant un objet peuvent potentiellement être intégrées au sein de la trace formée par l'événement. Quoi qu'il en soit, l'intégration intra-trace, qu'elle ait lieu au niveau de l'objet ou au niveau objet-contexte, peut se faire au sein de la même modalité sensorielle (intégration des plusieurs propriétés uniquement visuelles ou uniquement auditives par exemple) ou à travers plusieurs modalités (intégrations de propriétés visuelles et olfactives par exemple).

Une fois les propriétés intégrées, la question de leur statut se pose : sont-elles indissociables les unes des autres au moment de leur réactivation ou alors restent-elles indépendantes les unes des autres ? Il semblerait que les deux cas de figures soient envisageables. Peut-être que les propriétés perceptives d'un objet sont, une fois au sein de la trace, indissociables les unes des autres. Par exemple, il se peut que la forme d'une bouche d'incendie ne puisse pas être réactivée en mémoire sans que soit automatiquement réactivée, du moins pour une personne ayant grandi en France, la couleur rouge. Pour autant, les travaux de Labeye et al. (2008) et Treisman et Gelade (1980) laissent penser que certaines propriétés restent séparées bien que liées au sein d'une même trace en mémoire. En effet, comme mentionné précédemment en section 2.1, dans l'expérience menée par Labeye et al. (2008), seul le SOA de 300 ms entre une amorce et sa cible permettait d'obtenir un effet d'interaction entre les propriétés sémantiques et motrices de l'amorce alors qu'un SOA plus court de 100 ms ne permettait d'observer que des effets additifs des deux types de propriétés. Cela reflète une

dissociation entre les propriétés sémantiques et motrices de l'amorce en mémoire et seul le délai de 300 ms permettait leur réactivation conjointe et unifiée.

Le mécanisme d'intégration tel que nous le décrivons dans cette thèse reste toutefois peu étudié et Versace et al. (2014) nous mettent en garde sur la possible existence de différentes formes d'intégration en fonction de la nature des propriétés intégrées ou de l'aspect uni ou multi-modal de cette intégration. Les auteurs défendent cependant l'importance de ce mécanisme d'intégration intra-trace dans l'efficacité de la mémoire lors d'activités discriminantes car la capacité à effectuer des liens entre différents éléments constitue la clef de voûte de la mémoire épisodique. C'est pour cela que les auteurs soulignent également que ce mécanisme peut être influencé par différents facteurs dans le but de renforcer son efficacité et, de fait, d'améliorer l'émergence de connaissances épisodiques.

Synthèse intermédiaire

Ce chapitre avait pour but d'introduire la notion d'efficacité mnésique. Cette notion centrale dans l'étude de la mémoire a subi une transformation radicale au cours des vingt dernières années. Cette évolution est étroitement liée à celle de la notion de connaissances.

Dans une conception de la mémoire en tant que stock, les connaissances sont des entités figées. Une mémoire efficace est alors une mémoire permettant de récupérer un grand nombre de connaissances au sein de ce stock. L'accent est mis sur la quantité d'information récupérée. Seulement, des travaux ont montré que ces connaissances n'étaient pas figées et qu'elles reposaient sur les propriétés sensori-motrices des événements vécus par un individu conservées au sein de traces en mémoire (Barsalou, 1999, 2003). Les connaissances émergent alors à partir de ces traces. L'efficacité de la mémoire est alors envisagée par rapport à la situation présente et repose d'une part sur la correspondance entre le souvenir d'un événement et l'événement lui-même (Koriat et al., 2000) et d'autre part sur la capacité d'une situation à réactiver les traces des expériences passées similaires et pertinentes sur le moment.

Cette réactivation dépend alors de deux facteurs: la similarité entre la situation présente et les traces des expériences passées, et la capacité des propriétés des traces à se réactiver les unes les autres afin de permettre l'émergence des connaissances (Versace et al., 2014). Ce dernier facteur est particulièrement important dans des activités dites discriminantes dans lesquelles l'émergence de connaissances spécifiques n'implique qu'un nombre restreint de traces. Versace et collaborateurs vont ainsi mettre en évidence que cette capacité de réactivation conjointe des différentes propriétés dépend d'un mécanisme permettant de lier ces propriétés au sein d'une trace en mémoire: l'intégration intra-trace. Ainsi, plus les propriétés seront fortement liées plus l'activation de l'une entrainera l'activation de l'autre. Ce mécanisme se rapproche d'autres mécanismes documentés dans la littérature (Allen, 2015; Ecker et al., 2004, 2013; Zimmer & Ecker, 2010; Zimmer et al., 2006) et semble bel et bien crucial afin d'assurer un fonctionnement efficace de la mémoire.

Le chapitre suivant aura pour objectif d'argumenter en faveur d'une possible amélioration de l'intégration intra-trace à travers des facteurs comme l'action ou l'émotion, connus des chercheurs pour leur influence sur la mémorisation, et l'enjeu d'une telle amélioration dans une population âgée au vieillissement normal pour laquelle les déficits mnésiques observés pourraient s'expliquer par un déficit d'intégration.

Chapitre 2

"J'ai compris alors qu'un homme qui n'aurait vécu qu'un seul jour pourrait sans peine vivre cent ans dans une prison. Il aurait assez de souvenirs pour ne pas s'ennuyer. Dans un sens, c'était un avantage."

A. Camus, *L'étranger* (1942)

3. Améliorer l'intégration

Pour Tulving (2002), la mémoire épisodique est une merveille de la nature. Elle permet aux humains de réaliser ce qu'aucune autre espèce n'est capable de réaliser: voyager mentalement dans le temps et principalement vers le passé. Elle nous donne une notion de temps subjectif, laquelle s'accompagne de la notion de "soi". Ce sont nos expériences et nos souvenirs de ces expériences (ou épisodes) qui nous construisent et nous définissent. Pour Versace et al. (2014, 2009), la mémoire se compose de traces. Des traces de nos expériences. Ces traces, distribuées sur l'ensemble des aires cérébrales impliquées lorsque nous vivons réellement ces expériences, reflètent les propriétés sensori-motrices de ces événements et correspondent au "quoi, au "où" et au "quand" mis en avant par Tulving (1972, 2002). Comme nous l'avons vu, c'est grâce à l'intégration intra-trace que ces propriétés sont unifiées en mémoire et qu'elles peuvent ainsi servir de support à l'émergence des connaissances dont nous avons besoin afin de nous comporter de façon adaptée vis-à-vis de notre environnement. L'intégration crée des liens, plus ou moins forts, entre les propriétés et c'est de ces liens dont dépendent nos souvenirs (Tulving, 1984; Versace et al., 2002; Whittlesea, 1987). En cela, comprendre les différentes facettes de l'intégration, s'assurer de son bon fonctionnement, chercher à l'améliorer ou à retarder son déclin (lié à l'âge comme nous le verrons dans la section suivante) a servi de motivation à de nombreux chercheurs. C'est également l'objectif de cette thèse. Nous avons cherché à mieux comprendre le fonctionnement de l'intégration en étudiant l'influence de deux facteurs connus de la littérature comme ayant un impact sur la mémoire (au sens large) et en essayant d'observer de quelle manière ces facteurs pourraient être employés pour impacter l'intégration de façon bénéfique chez des personnes jeunes et âgées.

Il semble crucial de pouvoir proposer des moyens d'améliorer le mécanisme d'intégration afin d'améliorer les performances de mémoire épisodique et permettre aux individus de pouvoir compter plus aisément sur leur mémoire. Les deux premières sections de

ce chapitre seront dédiées à de brèves revues concernant les effets de deux facteurs connus de la littérature comme pouvant influencer de façon bénéfique le fonctionnement de la mémoire: l'action et l'émotion. Enfin, la section finale sera dédiée au vieillissement normal de la mémoire et aux raisons pour lesquelles cibler l'intégration peut s'avérer une piste intéressante pour pallier au déficit observé chez les adultes âgés.

3.1. L'action

De nombreuses études ont montré les effets bénéfiques de l'action sur les performances de mémoire (e.g. Cohen, 1981, 1989; Engelkamp & Zimmer, 1989; Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri, Nyberg & Nilsson, 1994; Nyberg & Nilsson, 1995). Les études les plus connues portent sur l'effet d'énaction (e.g. Cohen, 1981, 1989; Feyereisen, 2009; Hornstein & Mulligan, 2004; Mangels & Heinberg, 2006). Cet effet correspond à une meilleure mémorisation de phrases décrivant des actions lorsqu'au moment de l'encodage ces actions sont réalisées par le participant évalué (Self-Performed Tasks ou SPT) plutôt que lorsque le participant observe quelqu'un d'autre réaliser les mêmes actions ou encore que lorsqu'aucune action n'est réalisée et que les phrases sont simplement lues.

Cohen (1981) propose que l'action ajoute, lors de l'encodage, une propriété supplémentaire à la trace mnésique (voir aussi Borghi, 2004; Borghi & Cimatti, 2010; Brouillet, Hurley, Martin, & Brouillet, 2010; Ellis & Tucker, 2000; Madan & Singhal, 2012; Zwaan, Madden, Yaxley, & Aveyard, 2004). Cela aurait pour effet de rendre la trace plus riche et la probabilité d'être réactivée est donc plus forte au moment de la récupération. Engelkamp et Zimmer (1984) avancent quant à eux que l'information concernant le programme moteur de l'action réalisée doit être considérée comme une unité de mémoire séparée des autres formes de représentations. Cette information serait activée lorsque nous réalisons une action mais pas lorsque nous entendons parler de cette action. L'avantage des SPTs s'expliquerait alors par une préactivation des programmes moteurs correspondant à l'action en question qui aurait pour effet soit de réduire le temps de traitement soit de rendre la trace plus riche. En effet, cette préactivation n'aurait lieu que lorsque l'action est réalisée. Si l'on considère la seconde alternative, alors les interprétations mises en avant par Cohen d'une part, et Engelkamp et Zimmer d'autre part, sont plutôt similaires. Enfin, Kormi-Nouri (Kormi-Nouri & Nilsson, 2001; Kormi-Nouri, 1995) suggère que l'action réalisée promeut l'intégration épisodique des différentes composantes (ou propriétés) d'un événement sans pour autant qu'il soit nécessaire que les programmes moteurs soient des composantes séparées comme le proposaient

Engelkamp et Zimmer. L'interprétation donnée par Kormi-Nouri s'intègre parfaitement dans le modèle Act-in (Versace et al., 2014, 2009). L'action influencerait ici directement l'intégration intra-trace en renforçant le lien entre les différents éléments intégrés.

Toutefois, ces interprétations portent uniquement sur l'effet d'énaction. Les études mentionnées emploient des phrases ou des mots décrivant des actions, le facteur action n'est alors incarné que par le matériel utilisé. L'action réalisée par les participants lors de ces expériences n'est que l'action décrite par le mot ou la phrase. Qu'en est-il lorsque l'action réalisée n'est pas liée au matériel ? Madan et Singhal (2012) pensent que d'autres formes d'action comme les gestes non-communicatifs ou déictiques (référentiels) peuvent également être employés pour améliorer la mémoire. Plus récemment, Brouillet et al. (2014) ont suggéré que l'aspect causal d'une action pourrait être l'élément décisif dans l'interprétation des effets de l'action sur la mémoire. Dans une première phase, les participants apprenaient une liste de mots. Les auteurs se sont ensuite servis d'une phase durant laquelle les participants jouaient à deviner quelle lettre (entre deux) avait été sélectionnée par l'ordinateur pour associer le succès ou l'échec suite à une réponse donnée au clavier avec deux couleurs différentes. Enfin dans une phase de reconnaissance, les mots présentés dans la couleur associée au succès étaient traités plus rapidement, et ceux présentés dans la couleur associée à l'échec plus lentement, que les mots présentés dans une troisième couleur non-informative. Pour les auteurs, nos actions sont toujours suivies d'un feedback porteur d'information qui devient elle-même une connaissance.

Plusieurs études ont ainsi étudié l'effet de gestes non-communicatifs sur les performances de mémoire. Nous en citerons et décrirons deux. Premièrement, Chum, Bekkering, Dodd, et Pratt (2007) ont utilisé une tâche de MDT visuo-spatiale pour montrer que lorsque deux motifs spatiaux (composés de carrés ou de cercles affichés sur un écran d'ordinateur) – l'un encodé activement en pointant les éléments du motifs du doigt (condition motrice) et le second encodé passivement sans pointer (condition non-motrice) – étaient mémorisés simultanément, le motif encodé activement avait plus de chance d'être retrouvé précisément en mémoire. Les auteurs ont proposé que l'encodage allocentrique sous-tendu par l'hippocampe et le cortex pariétal se produisait à la fois dans la condition motrice et dans la condition non-motrice alors que l'encodage égoцентриque sous-tendu par le striatum et les ganglions de la base se produisait plus probablement (ou était plus fort) lorsque le mouvement d'un membre était exécuté. Cela expliquerait alors l'avantage de la condition motrice sur la condition non-motrice. Bien que les auteurs aient montré les bénéfices de la réalisation d'une action lors d'une tâche de mémoire visuo-spatiale et aient discuté des processus moteurs sous-

jacents, ils n'ont abordé ni les processus mnésiques impliqués, ni les effets de l'action sur les différents aspects d'un événement pouvant être intégrés à la trace mnésique (i.e. l'objet, le contexte, l'association entre l'item et le contexte), ni l'implication de l'aspect causal de l'action de pointage réalisée par les participants. En effet, les carrés et les cercles constituant les motifs à retenir disparaissaient soit au bout de 1000ms soit, si le participant les pointait, avant que 1000 ms ne se soient écoulées. Le pointage pouvait alors causer la disparition des éléments du motif.

Deuxièmement, Ouwehand, Gog, et Paas (2016) ont comparé les effets du pointage, de la dénomination et de la simple observation au moment de l'encodage sur les performances ultérieures de mémorisation d'images et de leurs positions spatiales. L'étude a montré que le pointage améliorait la mémoire spatiale mais n'avait aucun effet sur la mémoire de l'item. Les auteurs ont également rapporté que lorsqu'il était demandé aux participants de répondre verbalement plus que manuellement au moment du test, les bénéfices du pointage disparaissaient. Bien que ces résultats soient intéressants, nous aimerions identifier plusieurs points qui demandent à être clarifiés. Tout d'abord, bien que les bénéfices du pointage par rapport aux autres conditions soient incontestables, l'étude ne donne aucune explication quant à l'origine de ce bénéfice. Est-ce parce que le pointage aide à focaliser l'attention ou parce qu'il ajoute une composante motrice qui améliore la récupération uniquement lorsque cette composante est réactivée (comme mentionné brièvement dans l'article) ? De plus, lors des expériences, les images apparaissaient à l'écran durant 2000 ms mais si les participants pointaient l'image du doigt avant la fin des 2000 ms alors l'image disparaissait suite au pointage. Cela crée, tout comme dans l'étude de Chum, Bekkering, Dodd, et Pratt (2007), un lien de causalité entre l'action motrice des participants et la disparition de l'image qui n'est pas discuté par les auteurs (sur le sujet, voir Brouillet et al., 2014). Enfin, la mémoire pour les positions spatiales des images n'était mesurée que pour les images ayant été reconnues. L'étude ne fournit donc pas de mesure indépendante de la mémorisation spatiale.

Nous pouvons voir à travers ces exemples que l'action est un facteur reconnu de la littérature comme pouvant influencer les performances mnésiques (e.g. Chum, Bekkering, Dodd, & Pratt, 2007) et impacter directement l'intégration (Ouwehand et al., 2016). Toutefois, les preuves expérimentales de l'influence de l'action sur l'intégration restent peu nombreuses. Il semble également nécessaire d'investiguer d'avantage la part jouée par différents aspects d'une action tel que l'aspect moteur ou encore l'aspect causal. De plus, aucun pattern clair ne semble émerger en ce qui concerne les effets de l'action sur l'intégration des propriétés de l'item, du

contexte ou de l'association entre les deux. Il semblerait que les interprétations données par Cohen, Engelkamp et Kormi-Nouri mentionnées précédemment ne soient pas nécessairement incompatibles et peuvent se rapporter à différents types d'action. Dans le cas des SPTs décrites par Cohen, l'action dépend directement du matériel. L'action réalisée est l'action décrite par les mots ou les phrases à retenir ce qui expliquerait pourquoi l'effet des SPTs reste confiné à l'item et ne s'étend pas au contexte ou à l'intégration item-contexte (voir par exemple Hornstein & Mulligan, 2004). Cependant, lorsque l'action est détachée du matériel, comme dans le cas des actions non-communicatives de Madan et Singhal (2012), l'action réalisée a ainsi le potentiel d'améliorer, en plus de l'intégration des propriétés de l'item, l'intégration des propriétés contextuelles telles que la position ou encore l'intégration item-contexte.

Dans une conception incarnée de la cognition et de la mémoire, les propriétés sensori-motrices d'un événement sont intégrées au sein de la trace mnésique de cet événement et servent l'adaptation de l'individu à son environnement. En ce qui concerne, les différents aspects de l'action, certaines théories mettent en avant l'importance de la perception des conséquences d'une action sur l'initiation de l'action et sur l'intégration des propriétés. La question directrice, dans ce genre de cadre, concerne alors les buts poursuivis au moment de la perception d'un stimulus.

Les théories idéomotrices de la cognition postulent que l'idée d'une action, i.e. la représentation mentale des conséquences de cette action sur l'environnement, est à l'origine du déclenchement de cette action (voir Stock & Stock, 2004 pour une revue). Ces théories prônent une conception active de l'individu dans son environnement. C'est l'anticipation des buts (l'idée d'action) qui va déclencher la série de mouvements mise en œuvre afin de réaliser ces buts. Dans cette lignée, Hommel et collaborateurs (Hommel, 2015; Hommel, Müsseler, Aschersleben, & Prinz, 2001) formulent la théorie du codage des événements (Theory of Event Coding - TEC) dans laquelle l'exploration active de l'environnement permet à l'individu d'identifier les buts à poursuivre et c'est également de cet exploration que naîtrait le lien entre les différentes propriétés d'un événement au sein de la trace en mémoire. Ces deux théories reposent sur le fait que la sélection d'une réponse motrice s'opère grâce à une simulation mentale des effets que cette réponse motrice engendrera. La manipulation expérimentale de l'anticipation des conséquences de l'action (Elsner & Hommel, 2001) peut se faire de façon exogène (via les stimuli) ou endogène (via une simulation mentale). Kunde (2001) suppose une forme de compatibilité préexistante entre une réponse et ses effets appelée compatibilité Réponse-Effet. Dans une série d'expérience, les participants devaient donner une réponse

gauche-droite avec plus ou moins de force et l'effet consécutif à la réponse partageait des caractéristiques avec le mouvement effectué. Il s'agissait par exemple, dans l'expérience 1, d'un flash lumineux du même côté (condition compatible) ou du côté opposé au mouvement (condition incompatible). Les résultats montrent que les réponses associées à un effet compatible étaient plus rapides que les réponses associées à un effet incompatible. Pour Kunde, ces résultats sont le signe d'une simulation endogène des effets de l'action et cette association Réponse-Effet pourrait reposer sur l'intégration des propriétés motrices et perceptives. Cette théorie met en valeur l'aspect causal d'une action par rapport à l'aspect moteur dans l'influence de l'action sur l'intégration en mémoire.

Plus récemment, des auteurs comme Camus, Brouillet, et Brunel (2016) sont allés jusqu'à considérer que l'action serait un critère nécessaire de l'intégration des propriétés sensori-motrices en mémoire en prenant appui sur les résultats obtenus dans une série de trois expériences (Figure 5).

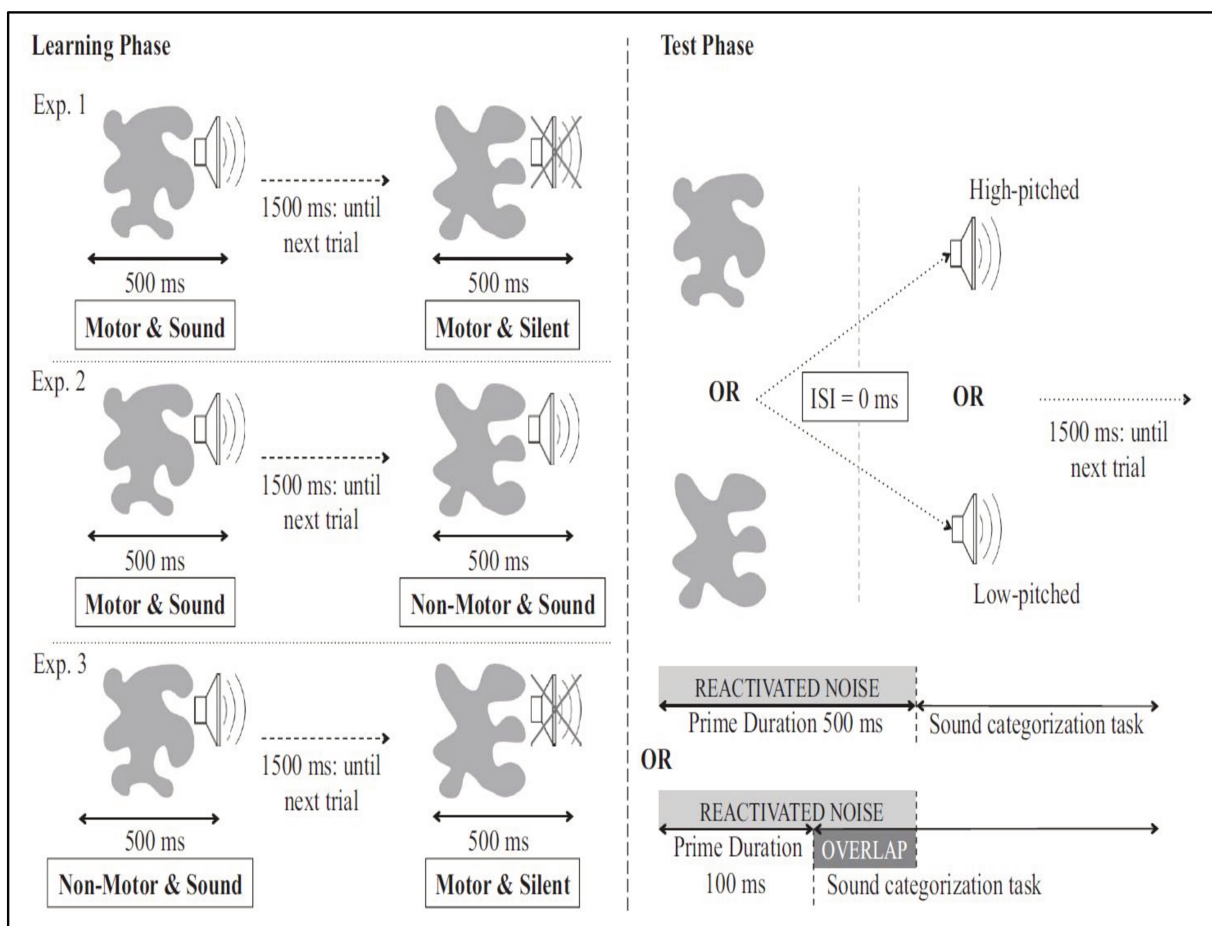
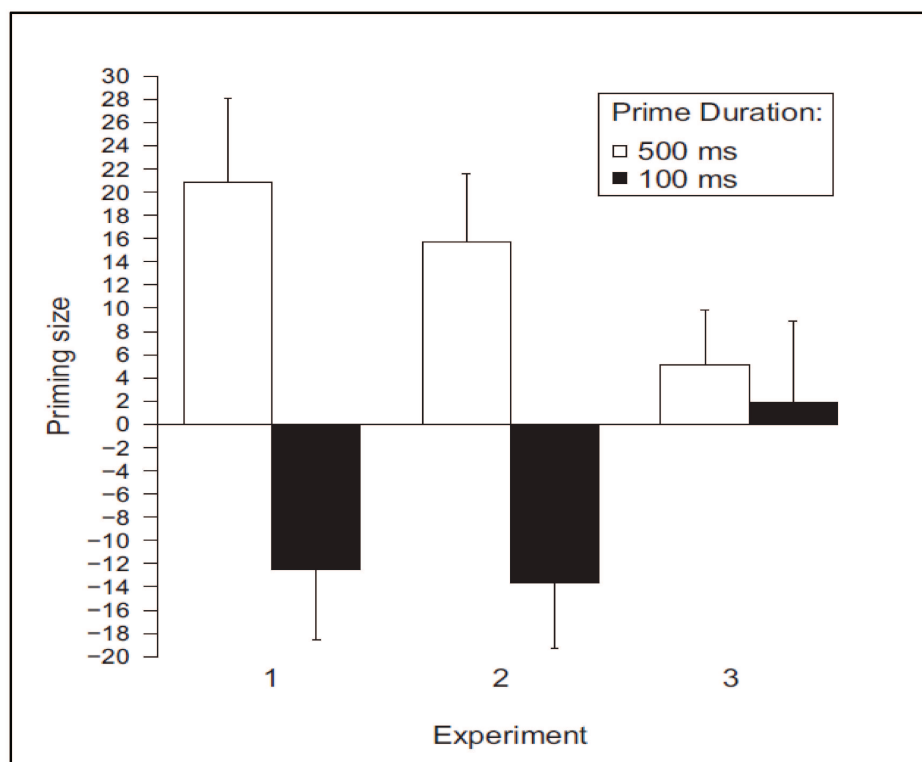


Figure 5 - Représentation schématique du protocole expérimental mis en place par Camus Brouillet et Brunel (2016). Organisation des essais expérimentaux dans les phases d'apprentissage et de test pour chacune des 3 expériences réalisées. Exp. = experiment; ISI

La première expérience consistait en un paradigme d'amorçage à court-terme composé de deux phases. Dans la première phase, les participants apprenaient des associations entre des formes et des sons. Dans la seconde phase, l'effet d'amorçage de la forme sur le traitement des sons était examiné. La réponse motrice donnée par les participants devenait un facteur dans les expériences deux et trois permettant ainsi aux auteurs d'évaluer l'influence de cette réponse motrice sur l'intégration forme-son. La première expérience avait permis de démontrer que l'amorce associée au son dans la phase d'apprentissage influençait le traitement de la cible et que la propriété réactivée en mémoire par l'amorce était de nature perceptive. Dans l'expérience 2, le paradigme employé était le même à l'exception près que la phase d'apprentissage prenait la forme d'une tâche de go/no-go lors de laquelle la moitié des associations était apprises en réalisant une réponse motrice et l'autre moitié non. L'analyse des temps de réponse obtenus suite à la phase de test similaire à celle de l'expérience 1 a révélé que les réponses données par les participants étaient plus rapides lorsque l'association forme-son avait été apprise en réalisant une réponse motrice. Dans l'expérience 3, la moitié des formes était associée à un son et l'autre

Table 1 - Taille d'amorçage moyenne sur tous les participants en fonction des 2 durées d'amorce (500 ms et 100 ms) dans les 3 expériences. La taille d'amorçage moyenne est calculée pour chaque participant comme étant la différence entre le temps de réaction moyen pour l'une des amorces et le temps de réponse moyen pour l'autre. Les barres d'erreurs représentent l'erreur-type calculée entre-sujets.



moitié non. Seules les formes qui n'étaient pas associée avec un son nécessitaient une réponse motrice. Aucune différence n'a été observée entre les amorces apprises avec une réponse motrice et celles qui ne l'étaient pas. Les résultats, mis en relation avec les résultats des deux premières expériences, tendent à montrer que le mécanisme d'intégration nécessiterait une action de la part du participant lors de l'apprentissage de l'association forme-son, sans quoi l'intégration ne pouvait avoir lieu (Table 1).

Notre but, en étudiant les effets d'action sur le mécanisme d'intégration, sera d'évaluer l'importance de l'aspect causal de l'action sur l'intégration par rapport à son aspect moteur en faisant l'hypothèse d'un rôle prépondérant de l'aspect causal dans la lignée des déconsidération de Kunde (2001) et de la compatibilité Réponse-Effet. Il sera également important d'évaluer si les déterminants moteurs ou causaux de l'action ont des effets différents sur la mémoire de l'item, des informations contextuelles et de l'association.

3.2. L'émotion

Les processus émotionnels et mentaux ont longtemps été séparés. De plus, l'émotion a longtemps été considérée comme néfaste pour la raison. Il aura fallu attendre Aristote (384-324 av. J.-C.) pour qu'émerge une vision favorable des émotions. Pour lui, l'émotion affecte le jugement humain en s'accompagnant de souffrance ou de plaisir (Rhétorique II, Chap. 1). Aristote est également le premier à concevoir le fait que l'émotion touche aussi bien le corps que l'esprit (ou âme à l'époque). Ses considérations quant au rôle de l'esprit sur le ressenti émotionnel seront reprises plus tard par Marc Aurèle qui en fera le principe clef du stoïcisme: "Si vous êtes affligés par quelque chose d'externe, la douleur n'est pas due à la chose elle-même, mais à votre évaluation de celle-ci; et cela, vous avez le pouvoir de l'abolir à tout moment." (Marc Aurèle, Méditations). C'est ensuite grâce à Descartes (Les passions de l'âme, 1649) que la question du rapport entre émotion et esprit renaît. Sa conception dualiste considère le cerveau comme siège des passions, passions qui seraient causées et renforcées par le corps. Cependant, ce dualisme corps/esprit sera remis en cause par les philosophes des Lumières de la fin du XVIIIe siècle.

Nous devons l'étude scientifique des émotions à Darwin (1872) qui classifia les émotions grâce à l'étude des expressions corporelles, et surtout faciales. Il en induira l'universalité des expressions ce qui le poussera à voir l'émotion comme un réflexe adaptatif. Toutefois, même après toutes ces années, il n'existe pas de consensus quant à la définition de

l'émotion. C'est pourquoi, Kleinginna et Kleinginna (1981) ont recensé et catégorisé 92 définitions des émotions recueillies à travers la littérature et ont tenté d'en donner une définition complète : "Emotion is a complex set of interactions among subjective and objective factors, mediated by neural/hormonal systems, which can (a) give rise to affective experiences such as feelings of arousal, pleasure/displeasure; (b) generate cognitive processes such as emotionally relevant perceptual effects, appraisals, labeling processes; (c) activate widespread physiological adjustments to the arousing conditions; and (d) lead to behavior that is often, but not always, expressive, goal-directed, and adaptive." (p. 355). L'émotion possède donc des caractéristiques physiologiques, cognitives et comportementales mais, malgré cette définition, les chercheurs continuent de s'interroger sur les liens de causalité entre émotions et manifestations corporelles, sur la primauté entre émotion et cognition et sur la nature des processus émotionnels. Cependant, certains consensus parviennent tout de même à émerger et portent, notamment, sur l'existence d'émotions primaires et secondaires (e.g. Ekman, 1992) ou encore sur la distinction de trois étapes dans le processus émotionnel : l'évaluation, la préparation à l'action, la réponse (Arnold, 1945). Nous ne développerons néanmoins qu'un seul de ces consensus et celui-ci concerne les dimensions qui permettent de définir un phénomène émotionnel. De nombreux auteurs (Frijda, 1988; Russel, 1980; Watson, Wiese, Vaidya, & Tellegen, 1999) ont abouti, en étudiant la manière dont des personnes pouvaient décrire leurs états émotionnels subjectifs, à la description de deux dimensions principales: la valence c'est-à-dire l'aspect positif ou négatif, et l'intensité, le niveau d'activation engendré par l'émotion (arousal). Ces deux dimensions permettent de se représenter les émotions dans un espace en deux dimensions en faisant varier les niveaux d'intensité ou de valence.

Nous aborderons brièvement la question du lien de causalité entre émotions et manifestations corporelles qui pourrait se traduire par la question : "Lorsque j'éprouve de la peur, ai-je peur car mon pouls s'accélérent ou bien mon pouls s'accélérent-il car j'ai peur ?". Parmi les théories se proposant de répondre à cette question on peut compter a) la théorie périphérique de James-Lange qui place les manifestations corporelles comme cause des ressentis émotionnels (voir Ellsworth, 1994), b) la théorie centraliste de Cannon-Bard (Cannon, 1927) qui s'oppose de façon virulente à la première et place la perception de l'émotion avant l'expérience de celle-ci et enfin c) la théorie bi-factorielle de Schachter et Singer (1962) qui représente un compromis entre les deux premières. Ces derniers distinguent intensité (arousal) et évaluation (appraisal) d'une émotion. L'hypothèse est qu'un même niveau d'intensité peut engendrer des évaluations différentes. En utilisant des injections d'adrénaline ayant pour effet

de créer une manifestation corporelle similaire à celle produite par un stimulus émotionnel, en absence d'un tel stimulus, les auteurs ont comparé les effets de trois groupes de participants tous injectés avec de l'adrénaline. Un premier groupe, dit "informé", connaissait les effets physiologiques de l'adrénaline, le second groupe, dit "mal-informé", se voyait donner de mauvaises informations sur les effets de l'adrénaline (engourdissement, démangeaisons, maux de têtes) et le troisième groupe, dit "ignorant", ne recevait aucune information. Les participants étaient ensuite placés dans une pièce afin de remplir un questionnaire. Dans la pièce se trouvait un complice des expérimentateurs qui avait pour consigne de remplir le même questionnaire mais en se conduisant soit de manière joyeuse soit de manière colérique. Les chercheurs mesuraient le comportement des participants (rentraient-ils ou non dans le jeu du complice ?) et les réponses données lors d'une évaluation de l'humeur qu'ils réalisaient une fois sortis de la pièce. Les participants "mal-informés" et "ignorants" se comportaient de façon similaire à celle du complice et rapportaient une humeur cohérente avec l'émotion manifestée. Les participants "informés" n'entraient pas dans le jeu du complice et ne rapportaient pas d'humeur particulière. Les participants qui pouvaient identifier la source de leurs changements corporels sont restés insensibles au complice alors que ceux qui ne pouvaient pas identifier la source des changements ont cherché des réponses dans leur environnement. Les auteurs interprètent les résultats en termes de médiation de l'émotion par la cognition : l'interprétation d'une réaction physiologique se fait soit sur la base des connaissances, si les connaissances permettent d'identifier la situation, soit grâce au contexte.

Dans une conception incarnée et située de la cognition, dans laquelle les connaissances émergent à partir des traces sensori-motrices reflétant les activations liées aux expériences vécues, le statut et le rôle de l'émotion dans la cognition sont également envisagés. Pour donner un sens aux concepts d'émotions, le système cognitif aurait recours à la simulation. Cette simulation peut avoir lieu online ou offline, c'est-à-dire en présence ou en absence d'un objet émotionnel. La simulation online fait référence à l'expérience émotionnelle lors de laquelle la connaissance est acquise en lien avec le vécu. La simulation offline, bien que supportée par les mêmes aires cérébrales, se fait en l'absence de stimulation externe. Elle intervient dans des fonctions telles que la mémoire, le raisonnement ou encore le langage et sert ces fonctions. Une des théories majeures allant dans ce sens est celle des marqueurs somatiques de Damasio (1994). Damasio considère les émotions comme des sensations plaisantes ou déplaisantes qui se caractérisent par des paramètres physiologiques (pouls, sensations thermiques, etc...). De cette façon, lorsque nous faisons l'expérience d'un événement émotionnel, les activations

physiologiques associées à cet événement sont conservées en mémoire sous forme de marqueurs somatiques. Ces marqueurs peuvent ensuite être réactivés dans n'importe quelle situation. Damasio insiste alors sur l'importance de ces marqueurs dans la prise de décision, processus dans lequel les marqueurs réactivés par la situation présente aident à anticiper les conséquences des différentes options. C'est ainsi que mémoire et émotion s'entremêlent. Les marqueurs somatiques sont une forme de mémoire des aspects émotionnels et servent l'adaptation de l'individu. Levine et Pizarro, (2004) ajoutent que les marqueurs guident le comportement futur et aident l'individu à éviter les situations négatives au profit des situations positives.

Dans cette lignée, Niedenthal (2007; Niedenthal, Winkielman, Mondillon, & Vermeulen, 2009) propose une théorie incarnée de l'émotion dans laquelle émotion et corps sont indissociables. En manipulant le corps (postures, expressions faciales), il serait alors possible de manipuler le traitement émotionnel d'une information ou de simuler les propriétés émotionnelles d'événements passés. De cette façon, Havas, Glenberg, et Rinck (2007) ont forcé des participants à sourire en leur faisant tenir un stylo entre leurs dents (état positif) ou à froncer les sourcils en tenant le stylo entre leurs lèvres (état négatif). Les auteurs ont ainsi montré que la simulation d'une émotion améliorait le traitement de phrases congruentes avec l'état émotionnel simulé. Ces travaux, ainsi que ceux de Damasio, sont compatibles avec le cadre théorique d'Act-in (Versace et al., 2014). Dans ce cadre, l'émotion donne une certaine teinte aux traces mnésiques des événements émotionnels permettant ainsi aux traces de ces événements d'émerger plus facilement lors de la réactivation. Cette émotion agit également comme dénominateur commun entre les différentes propriétés d'une trace et permet de les lier les unes aux autres et ce de façon plus forte que dans une trace non-émotionnelle.

Le champ d'étude des effets de l'émotion sur la mémoire (EEM) est très vaste. Il apparaît que les résultats observés dépendent fortement de la méthodologie utilisée. Afin de mieux cerner le sujet, il est nécessaire d'effectuer deux distinctions. La première concerne la source de l'émotion dans les études réalisées. L'émotion peut être introduite soit par les stimuli à mémoriser - dans lequel cas elle est au centre des tâches réalisées en tant que propriété des stimuli - soit par le contexte (grâce à une vidéo ou une odeur secondaire dans la tâche réalisée) ou l'état émotionnel du sujet. Adelman et Estes (2013) ont montré que des mots émotionnels, qu'ils soient positifs ou négatifs, étaient mieux mémorisés que des mots neutres, sans observer de différence entre les mots positifs et négatifs. Pour Kensinger et Schacter (2006) toutefois, les événements négatifs étaient rappelés avec davantage de détails que les événements positifs.

Dans ce type d'études, où l'émotion vient des stimuli au centre de la tâche réalisée par les participants, les auteurs ont proposé des interprétations en termes de mécanismes attentionnels: l'information portant un contenu émotionnel capture davantage l'attention et s'en trouve mieux mémorisée que l'information ne portant pas de contenu émotionnel (e.g., Bower, 1981; Christianson & Loftus, 1991; Hamann, Ely, Grafton, & Kilts, 1999; Loftus, Hoffman, & Loftus, 1991). En ce qui concerne les études dans lesquelles l'émotion provient du contexte, la plus connue et la plus influente et sans doute celle de Bower (1981). L'auteur se réfère à ce qu'il appelle la dépendance d'état (mood-state dependent retrieval) comme le fait que la récupération d'une information soit plus efficace si l'état émotionnel du participant est le même au moment de la récupération qu'au moment de l'encodage. Bower a également étudié ce qu'il nomme la congruence d'humeur (mood congruency effect) qui se réfère à la tendance des individus à se rappeler plus facilement d'une information si celle-ci partage la même valence émotionnelle que l'humeur dans laquelle ils se trouvent. Les personnes d'humeur négative rappelleront plus facilement des événements négatifs que positifs. Ces deux phénomènes décrits par Bower sont très similaires à des effets de contexte observés communément dans les recherches sur la mémoire (voir Baddeley, 1993; Godden & Baddeley, 1975) dans lesquelles un contexte similaire lors de l'encodage et la récupération entraîne systématiquement de meilleures performances que des contextes différents. Les explications des effets décrits par Bower ne sont donc pas spécifiques au domaine de l'émotion.

Mather (2007) a unifié les différents travaux sur les rapports entre émotion et mémoire à l'aide d'une théorie centrée sur l'objet (object-based framework). Lorsque l'émotion provient des stimuli au centre de la tâche, alors ces "objets émotionnellement stimulants attirent l'attention ce qui améliore l'intégration des propriétés qui les constituent. En revanche, la stimulation émotionnelle associée à un objet détériore ou n'a aucun effet sur les associations entre cet objet et d'autres objets distincts ou entre cet objet et l'information contextuelle correspondante". Une seconde théorie prédit le même pattern de résultats en ce qui concerne la mémoire de l'item, celle du contexte et celle des associations entre les deux mais plutôt que de reposer sur l'arousal (le niveau d'activation physiologique déclenché par une émotion), cette dernière repose sur la valence et insiste notamment sur le rôle la valence négative dans l'intégration des propriétés internes (de l'item) mais pas externes (contextuelles) en mémoire (voir Kensinger, 2009). Pour un même niveau d'arousal, des événements positifs et négatifs seront mieux rappelés que des événements neutres. La valence ne permettrait alors pas de se

rappeler de quel événement il s'agissait mais plutôt des détails de cet événement. De plus, des événements négatifs seraient rappelés avec davantage de détails que des événements positifs.

La seconde distinction nécessaire pour une bonne description des EEM est de nouveau celle entre mémoire de l'item, mémoire du contexte et mémoire de l'association entre les deux. Wang (2015) a demandé à des participants de mémoriser une liste de mots (mémoire de l'item). La moitié des mots était lue par une femme et l'autre par un homme (mémoire du contexte). Après la phase d'apprentissage, la moitié des participants visionnait une vidéo négative et l'autre moitié une vidéo neutre. Lors du test, les participants devaient rappeler les mots et le genre de la personne qui les avait lus. Les résultats ont montré que la vidéo négative avait un effet positif sur la mémoire de l'item mais aucun effet sur la mémoire du contexte. Les auteurs expliquent cet effet en termes de mécanismes dépendants de l'amygdale mais ne donnent pas d'interprétation satisfaisante de l'absence d'effet de l'émotion sur la mémoire du contexte. De plus, l'émotion était introduite par le biais de la vidéo et ce après la présentation des stimuli. En cela, elle ne constituait pas purement une propriété contextuelle.

D'un point de vue neuro-anatomique, l'EEM reposerait en grande partie sur la relation étroite entre les structures impliquées dans le traitement des émotions et les structures impliquées dans les processus mnésiques (LaBar & Cabeza, 2006). L'une des structures de première importance est l'amygdale et se situe au cœur d'un système permettant la mémorisation d'information émotionnelle de par ses connexions bidirectionnelles avec des structures mnésiques telles que l'hippocampe. L'amygdale serait influencée aussi bien par l'intensité émotionnelle que par la valence. L'intensité influencerait davantage sur un réseau amygdalo-hippocampique alors que la valence influencerait sur un réseau liant hippocampe et cortex pré-frontal (Kensinger & Corkin, 2004). L'amygdale est une structure préservée lors du vieillissement normal (Good et al., 2002) laissant présager d'une préservation de l'EEM avec le vieillissement.

De façon surprenante, et même si le binding est mentionné (e.g. Mather, 2007), les études dans le domaine de l'émotion n'ont jusqu'à présent que rarement portées sur les mécanismes qui pourraient sous-tendre une mémoire efficace. Cela a cependant été investigué par Versace et Rose (2007) qui ont réalisé une expérience dans laquelle les participants, au cours d'une phase d'apprentissage, devaient juger du degré d'association entre des images d'objets ou d'animaux et les sons qui les accompagnaient. Chaque paire image/son était précédée d'une image d'une valence soit négative soit neutre. Lors de la phase test, les mêmes images étaient de nouveau présentées, associées soit au même son que lors de la phase d'apprentissage soit à

un son différent. Les participants devaient alors indiquer si les images et les sons étaient congruents ou non. Les résultats ont révélé que lorsqu'une image déjà vue lors de la phase d'apprentissage était accompagnée du même son, les temps de réaction étaient plus courts dans la condition négative que dans la condition neutre, montrant ainsi que la valence émotionnelle à l'encodage affectait la force du lien entre les images et les sons. Cependant, Versace et Rose (2007) ont utilisé une tâche nécessitant d'effectuer un jugement de congruence entre les images et les sons plutôt qu'une tâche de mémoire au sens strict. Earles, Kersten, Vernon, et Starkings (2016) ont étudié l'impact de l'émotion sur la mémoire de l'item et de l'association. Les participants regardaient des individus réaliser des actions positives, neutres ou négatives et leur mémoire des actions réalisées et des personnes les ayant réalisées étaient ensuite testée dans une tâche de reconnaissance. La mémoire de l'item (les actions) était améliorée par la valence émotionnelle des actions mais cette valence n'avait aucun impact sur la mémoire de l'association (entre l'action et la personne qui l'avait réalisée). Bisby et Burgess (2014) ont conduit une série d'expérience dans la même lignée. Dans une première expérience, des images neutres ou négatives étaient présentées en association avec quatre fonds d'écran différents qui constituaient des contextes neutres. La mémoire des items négatifs était meilleure que celle des items neutres et la mémoire associative pour le contexte était dégradée par l'émotion négative émanant de l'image. Dans une seconde expérience, le même paradigme était utilisé mais deux des quatre fonds d'écran étaient associés à la menace d'un choc électrique et étaient donc considérés comme négatifs. La mémoire du contexte était dégradée pour les contextes négatifs comparée à celle pour les contextes neutres. Les résultats de la première expérience sont cohérents avec la littérature sur l'émotion issue des stimuli (Mather, 2007). Les interprétations des résultats de la seconde expérience sont toutefois limitées par deux objections a) la mémoire du contexte n'est évaluée qu'en association avec l'item ce qui ne donne pas d'information sur la mémoire pour le contexte seul et b) le contexte négatif fait partie de la scène visuelle et a pu éloigner l'attention de l'item central. Cela expliquerait pourquoi la mémoire de l'association est dégradée et sans information sur la mémoire du contexte seul, cette objection est difficile à rejeter.

Comme mentionné précédemment, la mémoire épisodique dépend fortement de la capacité de notre mémoire à effectuer des liens entre les différentes propriétés de notre environnement. Ainsi, si l'émotion affecte, ne serait-ce que l'intégration des propriétés de l'item, alors elle constitue une piste solide dans l'étude des facteurs permettant d'améliorer l'efficacité de la mémoire. De façon similaire à l'action, il est nécessaire d'investiguer si le fait de faire varier les méthodes d'introduction de l'émotion dans les paradigmes expérimentaux peut faire

varier le type d'intégration requis dans la tâche: intégration de l'item, intégration du contexte et lien entre les deux. Il semblerait alors qu'un parallèle puisse être observé entre les effets de l'action et ceux de l'émotion. Lorsque l'émotion provient des items au centre de la tâche à réaliser ses effets sont restreints à l'intégration des propriétés de cet item.

Le but d'étudier l'émotion en rapport avec l'intégration est alors de confirmer le rôle de l'émotion sur l'intégration mis en évidence par Versace et Rose (2007) mais aussi et surtout de comprendre les aspects - tant de l'émotion que de l'intégration elle-même - pouvant expliquer différents patterns des effets de l'émotion sur la mémoire observés dans la littérature. Ces aspects sont la source de l'émotion (stimuli vs. contexte) et l'aspect de l'intégration évalué (item, contexte ou item-contexte).

4. Le vieillissement normal

La population mondiale est en croissance constante. Cette croissance s'explique par une augmentation du nombre de naissance mais également par une augmentation de l'espérance de vie moyenne. Nous vivons plus longtemps. Par exemple, en France, l'espérance moyenne est passée de 81,9 ans pour les femmes et 73,9 ans pour les hommes en 1995 à 85,1 ans pour les femmes et 79,0 ans pour les hommes en 2015 (source INSEE). Ce vieillissement est d'autant plus marqué dans les pays occidentaux et s'explique principalement par une amélioration des conditions de vie et les progrès de la médecine.

Même si, d'un point de vue cognitif, l'entrée dans la vieillesse pourrait être située aux alentours de la vingtaine, âge à partir duquel certaines fonctions cognitives commencent à décliner (Salthouse, 2009), l'organisation mondiale de la santé (OMS) définit l'âge de 65 ans comme entrée dans la vieillesse. Communément, cette entrée dans la vieillesse est également associée au départ à la retraite. Dans les travaux présentés dans ce document, nous suivrons la définition de l'OMS et désignerons comme "âgées" des personnes de 65 ans et plus.

Le vieillissement bien qu'étant un processus naturel est souvent perçu de façon négative. Les modifications accompagnant le vieillissement sont considérées comme un déclin. L'image de la vieillesse est souvent confondue avec celle de la démence. Les personnes âgées peuvent ainsi être mises de côté voir discriminées (agisme). Toutefois, toutes nos fonctions cognitives ne déclinent pas avec l'âge et des stratégies de compensation des difficultés peuvent être mises en place (voir Hertzog, Kramer, Wilson, & Lindenberger, 2008). Les méthodologies expérimentales utilisées pour étudier les effets de l'âge se divisent en deux groupes: les études

transversales et les études longitudinales. Dans la méthode transversale, on compare directement les performances d'un groupe d'adultes jeunes à celle d'un groupe d'adultes âgés à un moment donné. Dans la méthode longitudinale, un même groupe de participants sera testé au fil du temps et on compare donc les performances de ce même groupe à deux instants différents. Les deux types de méthodes possèdent leurs propres avantages et inconvénients. Dans la méthode transversale, les variables âge et génération sont confondues alors que dans la méthode longitudinale ce sont les variables moment de mesure et âge qui le sont. L'idéal méthodologique serait de combiner les deux méthodes (Sliwinski & Buschke, 1999) bien que cela soit extrêmement coûteux. En raison des difficultés de recrutement, de perte d'individus et de suivi inhérentes à l'approche longitudinale, lors des deux études impliquant des personnes âgées que nous avons réalisées, nous avons, pour la première, employé la méthode transversale alors que la seconde n'a été réalisée qu'auprès de personnes âgées.

Le vieillissement normal, qui est une dégradation globale des sens, s'accompagne aussi de dégradations physiologiques qui n'épargnent pas le cerveau et par extension la cognition. Les voies de neuro-transmission dopaminergiques sont affectées (Ollat, 1993) et les matières blanches et grises également (Giorgio et al., 2010) mais les structures les plus altérées sont les lobes frontaux et les hippocampes (Daselaar, Fleck, Dobbins, Madden, & Cabeza, 2006). Ces derniers étant des structures primordiales dans la mémoire. Cependant, l'évolution de la cognition avec l'âge semble impliquer d'autres facteurs tels que la condition physique (Hillman, Weiss, Hagberg, & Hatfield, 2002) ou encore la réserve cognitive (Stern, 2009) qui explique les différences inter-individuelles observées dans les altérations cognitives dues au vieillissement par les différences de ressources et de capacités de compensation dépendant en grande partie du niveau socio-culturelle. Il est intéressant de souligner que le déclin des performances cognitives accompagnant le vieillissement peut être expliqué par la mise en place de stratégies différentes (Lemaire, 2010). Si ces stratégies sont contrôlées, alors les âgés peuvent réussir des tâches, comme des tâches de mémoire épisodique par exemple, aussi bien que les jeunes adultes (Naveh-Benjamin, Brav, & Levy, 2007).

Différentes théories ont vu le jour pour expliquer les altérations cognitives liées à l'âge. Il en existe deux types: globales ou analytiques (Syssau, 1998). Les premières émettent des hypothèses générales sur le fonctionnement cognitif dans son ensemble alors que les secondes s'intéressent aux différences entre ce qui est altéré et ce qui ne l'est pas lors du vieillissement. Parmi les théories globales, on compte principalement la théorie du ralentissement global, celle du déficit d'inhibition et enfin celle du déclin sensoriel généralisé. La théorie du ralentissement

global (e.g. Salthouse, 1996) postule que la dégradation de la myéline (une couche lipidique qui enrobe certains axones et qui améliore la vitesse de transmission du signal nerveux) aurait pour conséquence un ralentissement général qui toucherait les systèmes perceptifs, moteurs et cognitifs (tout ce qui implique une transmission nerveuse). Ainsi, la rapidité motrice des âgés est touchée tout comme leur performances cognitives. La théorie du déficit d'inhibition (e.g. Dempster, 1992) attribue les effets du vieillissement à une sensibilité exacerbée aux informations non-pertinentes. Le traitement de l'information en serait ainsi ralenti et moins précis. Selon Vallet, Fortin, et Simard (2012), cette théorie serait la plus pertinente pour expliquer pourquoi les âgés ne présentent pas systématiquement de ralentissement ou d'altération des performances. La théorie du déclin sensoriel généralisé (Valentijn et al., 2005) propose que les altérations sensorielles liées à l'âge (perturbation de la vision par exemple) détériorent le traitement de l'information et expliquent ainsi les altérations cognitives liées à l'âge. Cette théorie est très intéressante dans une approche incarnée et non-abstractive de la mémoire.

Les théories analytiques, quant à elles, se fondent sur l'observation de l'hétérogénéité avec laquelle les différentes fonctions cognitives sont altérées lors du vieillissement. On constate alors que les fonctions les plus altérées sont les fonctions exécutives (Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996) et la mémoire qui, respectivement, impliquent majoritairement les lobes frontaux et les hippocampes, qui sont elles-mêmes les structures les plus atteintes par le vieillissement (Daselaar, Fleck, Dobbins, Madden, & Cabeza, 2006).

Toutefois, la mémoire est la préoccupation principale des personnes âgées (Minett, Da Silva, Ortiz, & Bertolucci, 2008) et les plaintes concernent majoritairement la mémoire épisodique (Isingrini & Taconnat, 2008; Luo & Craik, 2008). Ainsi certaines formes de connaissances sont atteintes par le vieillissement et d'autres non (voir Balota, Dolan, & Duchek, 2000 pour une revue).

4.1. Le vieillissement de la mémoire

Avec l'âge, certaines formes de connaissances sont préservées alors que d'autres sont altérées. Par exemple, la mémoire procédurale (mémoire des compétences et des habitudes) est largement considérée comme préservée même si l'apprentissage procédural n'est pas aussi efficace chez les âgés que chez les jeunes (Hubert et al., 2009). Pour ce qui est des effets d'amorçage, l'amorçage de répétition et l'amorçage sémantique semble préservés alors que l'amorçage associatif est perturbé (Vallet, 2012) ce qui va dans le sens d'un mécanisme

d'intégration altéré chez les personnes âgées. Nous aborderons cette théorie plus tard. En ce qui concerne l'amorçage inter-sensoriel (différence de modalité sensorielle entre l'amorce et la cible), les résultats sont contradictoires. Certaines revues montrent des effets similaires aux jeunes alors que d'autres ne montrent pas d'effet significatif de ce type d'amorçage chez les personnes âgées (Vallet, 2012). Les personnes âgées montrent une mémoire sémantique préservée voire meilleure car la somme des connaissances croît avec l'âge (Grady & Craik, 2000). Comme mentionné précédemment, les plaintes des personnes âgées viennent principalement de la mémoire épisodique. Cependant, il semblerait que les connaissances épisodiques en elles-mêmes soient préservées dans le vieillissement (Syssau, 1998). Les travaux qui ont investigué les déficits de mémoire épisodiques ont donc porté soit sur l'encodage des connaissances soit sur leur récupération. De cette façon, Craik (1986) émet l'hypothèse d'un déficit d'auto-initiation dans le vieillissement. Les ressources cognitives des personnes âgées seraient limitées et causeraient des difficultés dans l'initiation d'action et dans la mise en place de stratégies efficaces au moment de l'encodage. L'hypothèse de cette variation des stratégies avec l'âge est supportée par Lemaire (2010) et par Naveh-Benjamin et al. (2007) qui en forçant l'emploi de stratégies efficaces chez les âgés leur avaient permis d'améliorer significativement leurs performances.

D'un autre côté, certains se sont intéressés à la récupération. La quantité d'items rappelés par les personnes âgées est, de façon reconnue, plus faible que les jeunes adultes (Craik & McDowd, 1987). La chute des performances de rappel est d'autant plus marquée pour le rappel du contexte ou de la source (Glisky, Rubin, & Davidson, 2001; Spencer & Raz, 1995). On observe également chez les personnes âgées, lors de tâche de reconnaissance, une augmentation des réponses "Know" par rapport aux réponses "Remember" (Piolino et al., 2006). Ces deux observations se complètent si on les rapporte aux travaux sur les tokens objets et les tokens épisodiques (Ecker et al., 2004; Zimmer & Ecker, 2010; Zimmer et al., 2006). En effet, les tokens épisodiques sont le support des réponses de types "Remember" car ces réponses nécessitent la réactivation en mémoire des informations concernant le contexte ou la source d'une information. Ainsi les personnes âgées auraient des difficultés à réactiver ces connaissances contextuelles, ce qui se traduirait par des souvenirs moins vivaces et des plaintes épisodiques. C'est dans ce sens que Naveh-Benjamin (2000) a formulé l'hypothèse du déficit associatif que nous développerons dans la section suivante.

4.2. ADH de Naveh-Benjamin

En 2010, Bender, Naveh-Benjamin, et Raz ont mis en évidence le pattern de performances concernant la mémoire de l'item et la mémoire associative typiquement observé entre adultes jeunes et âgés. Dans une étude réalisée auprès de 278 personnes (entre 18 et 85 ans), les auteurs ont montré que la mémoire de l'item est généralement meilleure que la mémoire associative quel que soit l'âge mais que les personnes âgées présentent un déficit par rapport aux jeunes dans des tâches de mémoire associative. C'est en 2000 que Naveh-Benjamin formule l'hypothèse du déficit associatif (Associative Deficit Hypothesis - ADH) pour interpréter les déficits mnésiques observés dans l'aspect épisodique chez les personnes âgées. Cette hypothèse part du postulat que les éléments ou propriétés d'un événement sont liés les uns aux autres. L'émergence de connaissances épisodiques nécessitera alors l'émergence de caractéristiques propres à cet événement, plus le lien entre ces caractéristiques est fort plus l'émergence sera facilitée. Dans l'étude princeps de l'ADH, Naveh-Benjamin (2000) a comparé les performances d'un groupe d'adultes jeunes à celles d'un groupe d'adultes âgés dans une tâche de mémoire dans laquelle des images étaient présentées dans des matrices. Par la suite, dans une tâche de reconnaissances, les participants devaient identifier les items présentés, les positions spatiales de ces items et également replacer les items aux bonnes positions. Les résultats ont montré que les performances des âgés étaient similaires à celles des jeunes en ce qui concerne l'item mais que leurs performances étaient significativement moins bonnes en ce qui concerne le rappel des positions et de l'association entre item et position. Ainsi, Naveh-Benjamin suggère que les difficultés mnésiques, notamment épisodiques, rencontrées par les personnes âgées viendraient d'une difficulté à créer et retrouver les liens entre les différentes propriétés d'un événement.

De nombreux travaux sont venus appuyés l'ADH au fil du temps. Les auteurs ont montré que ce déficit associatif pouvait être observé quel que soit le matériel utilisé (mots, images, visages), les paradigmes expérimentaux employés (rappel libre, reconnaissance) ou les modalités sensorielles mises en jeu (visuelle, auditive) (Bastin & Van der Linden, 2005; Chalfonte & Johnson, 1996; Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin, Guez, Kilb, & Reedy, 2004; Naveh-Benjamin, Hussain, Guez, & Bar-On, 2003a). La première étude ayant servi à la naissance de l'ADH revient toutefois à Chalfonte et Johnson (1996) qui comparaient personnes jeunes et âgées dans une tâche de mémoire portant sur des associations items-couleurs-positions. Les participants âgés avaient des performances similaires lors du rappel des items ou des couleurs uniquement – les propriétés seules sont intactes – mais avaient des scores significativement inférieurs aux jeunes adultes dans le rappel de l'association – ainsi le lien

entre les propriétés étaient défectueux. Même si l'ADH semble être l'hypothèse la plus robuste pour expliquer le vieillissement de la mémoire, certains résultats viennent toutefois la nuancer en montrant que le déficit pourrait dépendre du type d'association concerné (e.g. Parkin, Walter, & Hunkin, 1995; Troyer, D'Souza, Vandermorris, & Murphy, 2011). L'ADH s'accorde avec les modifications biologiques observées dans le vieillissement (Li, Naveh-Benjamin, & Lindenberger, 2005). Le déficit est présent mais moins marqué pour les associations naturelles (Naveh-Benjamin et al., 2003a) et l'ampleur du déficit croît avec l'avancée en âge (Bender et al., 2010) ce qui tend à confirmer qu'il est causé par le vieillissement. L'ADH nous apparaît donc comme la théorie la plus vraisemblable et c'est donc celle que nous avons retenue dans nos travaux.

Synthèse intermédiaire

Ce chapitre avait pour vocation de passer en revue les effets de l'action et de l'émotion sur la mémoire tout en les rapprochant du mécanisme d'intégration. L'action et l'émotion peuvent toutes deux avoir des effets bénéfiques sur les performances mnésiques et il semblerait qu'elles aient pour cible le mécanisme d'intégration. Toutefois, l'intégration est un mécanisme multi-facettes et les effets de ces facteurs peuvent toucher différentes facettes.

Il a ainsi été montré que lorsqu'une émotion est véhiculée par un stimulus au centre d'une tâche à réaliser, cette émotion améliore l'intégration des propriétés perceptives constituant cet item. Cependant, cette influence est restreinte aux limites de l'item et ne s'étend pas à l'intégration des propriétés contextuelles entourant l'item en question (Mather, 2007). En parallèle, les effets d'une émotion apportée par le contexte n'ont que très rarement été étudiés et les résultats obtenus n'ont jamais été discutés dans le cadre d'un modèle de mémoire à traces-multiples. De plus, l'étude de l'amélioration de l'intégration des propriétés de l'item s'est uniquement intéressée jusqu'ici à l'intégration de propriétés perceptivement présentes durant l'événement tout en ignorant l'intégration de propriétés réactivées en mémoire et pouvant être intégrées au sein de la trace de l'événement alors qu'elles ne faisaient initialement pas partie de cet événement.

En ce qui concerne l'action, les recherches sur ses effets sur l'intégration n'en sont qu'à leurs balbutiements mais elles semblent toutefois montrer que l'action peut améliorer l'intégration des propriétés d'un item cible (Camus et al., 2016). Il reste néanmoins important de déterminer quels aspects de l'action (motricité ou aspect causal par exemple) entrent en jeu dans l'amélioration de l'intégration.

Pour conclure, la littérature sur le vieillissement normal de la mémoire envisage la piste d'un déficit associatif (Naveh-Benjamin, 2000) semblant correspondre à un déficit intégratif axé principalement sur des difficultés pour les personnes âgées à intégrer les informations à leur contexte. C'est ainsi que a) l'étude des effets sur l'intégration de l'action et de l'émotion pourrait permettre de mieux comprendre comment fonctionnent leurs effets sur la mémoire et que b) l'étude de ces effets chez les personnes âgées pourraient ouvrir la voie à l'utilisation de ces facteurs dans des techniques de remédiation ou de stimulation de la mémoire centrées sur le mécanisme d'intégration.

5. Objectifs et Hypothèses

Ce travail de thèse s'articule autour de deux objectifs principaux. Le premier part de l'hypothèse que l'intégration intra-trace, mécanisme sur lequel repose l'efficacité de la mémoire – principalement dans les activités discriminantes – peut être renforcé dans le but d'améliorer les performances mnésiques. A cette fin, l'influence largement documentée de l'action et de l'émotion sur la mémoire a été étudiée dans le cadre du modèle fonctionnel de mémoire à traces multiples Act-in (Versace et al., 2014). Le second objectif, part quant à lui de l'hypothèse que les difficultés dans les activités discriminantes observées dans le vieillissement normal serait dues à un déficit associatif (Naveh-Benjamin, 2000). Ce déficit se traduit, dans le cadre d'Act-in par un déficit d'intégration et notamment d'intégration des propriétés contextuelles d'un événement.

La partie suivante de ce document sera consacrée aux travaux expérimentaux rapportés sous formes d'articles. Tous les articles ont été soumis dans des revues internationales. L'article rapporté dans le chapitre 3 a été accepté pour publication dans la revue *Cognition & Emotion*. L'ensemble des travaux emploie un paradigme inspiré de Tardif (2014). Dans une série de travaux réalisés dans le cadre de sa thèse, s'inscrivant dans la lignée de Naveh-Benjamin (2000) et Chalfonte et Johnson (1996), l'auteure a employé un paradigme évaluant séparément mémoire de l'item, mémoire pour une information contextuelle (la position spatiale) et l'association entre l'item et sa position spatiale tout en comparant des adultes jeunes et âgés. Des séries de 6 dessins issues de la base de données Snodgrass et Vanderwart (1980) étaient présentées séquentiellement dans une matrice irrégulière de 16 cases évoquant la disposition des blocs de Corsi (Corsi & Michael, 1972). A la suite de chaque série, les participants étaient invités à réaliser 3 types de rappels différents: un rappel oral des images vues lors de la présentation (rappel de l'item), un rappel des positions indépendant de celui des items pour lequel une matrice vierge était affichée et dans laquelle les participants devaient sélectionner les cases dans lesquelles les dessins avaient été présentés et enfin un rappel de l'association entre les items et leurs positions. Dans ce dernier, les dessins présentés lors de la série étaient de nouveau affichés et les participants devaient les replacer dans les bonnes cases. Les résultats obtenus supportaient l'hypothèse du déficit associatif (Naveh-Benjamin, 2000). Nous avons choisi de reprendre ce type de paradigme qui permet d'évaluer l'intégration de propriétés d'un item et l'intégration item-contexte tout en obtenant une mesure indépendante sur l'intégration des informations contextuelles. Une modification majeure concerne cependant l'occurrence des

rappels. Dans le paradigme employé par Tardif, les 3 types de rappels étaient tous demandés après chaque série de dessins. Bien que leur ordre fût contrebalancé, la procédure originale laissait place à une contamination des rappels entre eux. Par exemple, le fait que les dessins soient affichés de nouveau lors du rappel de l'association augmentait le temps d'affichage des items, ce qui influence fortement les performances de rappel et peut biaiser les performances en rappel de l'item si celui-ci arrive après le rappel de l'association. Afin de pallier à cette limite, nous avons choisi de ne proposer qu'un seul type de rappel après chaque série. Ensuite pour répondre aux différentes hypothèses, nous avons adapté le matériel ou les actions à réaliser durant les séries d'images.

Les chapitres 3 et 4 correspondent à deux articles relatant des études portant sur les effets de l'action sur l'intégration. L'étude présentée dans le chapitre 3 investigate l'effet d'actions non-communicatives sur différentes formes d'intégration: intégration des propriétés d'un item, intégration des informations contextuelles et intégration item-contexte. L'étude évalue l'influence de la causalité de l'action sur l'intégration. Afin de manipuler l'action, lors de la présentation des images, les participants déclenchent l'apparition des images en cliquant à l'aide de la souris. Dans une condition, les clics sont orientés vers la case dans laquelle le dessin va apparaître, dans l'autre condition, le clic est dirigé en dehors de la matrice. Ces deux conditions sont comparées à une condition neutre dans laquelle aucun clic n'est demandé. Dans une seconde expérience, les mêmes actions sont réalisées mais après l'apparition des dessins. L'hypothèse étant qu'en fonction de l'action réalisée différents effets pourront être observés sur l'intégration. Le chapitre 4 relate une étude employant le même paradigme menée auprès de personnes âgées faisant l'hypothèse que l'action pourrait palier au déficit associatif observé dans cette population.

Les chapitres 5 et 6 correspondent quant à eux à deux études portant sur les effets de l'émotion sur l'intégration. La première étude introduit l'émotion de manière contextuelle, via deux odeurs (une neutre et une négative), et évalue l'impact d'une telle émotion sur les 3 types d'intégration mentionnés précédemment. L'influence de l'émotion issue d'un item, comme le montre la littérature, est restreinte à l'intégration des propriétés de l'item. A contre-pied, nous faisons l'hypothèse qu'une émotion contextuelle améliore l'intégration item-contexte. La seconde étude, rapportée dans le chapitre 6, investigate l'intégration des propriétés d'un item chez les personnes âgées. Bien que la littérature sur le sujet montre que ce type d'intégration est préservé dans cette population, les recherches n'ont porté que sur l'intégration de propriétés perceptivement présentes en mettant de côté l'intégration de propriétés réactivées en mémoire.

Différentes hypothèses ont guidé cette étude. La première porte sur une possible altération de l'intégration de propriétés réactivées en mémoire et qui pourrait expliquer les déficits apparaissant chez les personnes âgées. La seconde hypothèse porte sur le fait que l'émotion issue de l'item, connue pour améliorer l'intégration des propriétés perceptivement présentes de l'item, pourrait également améliorer l'intégration des propriétés absentes.

Seconde Partie

Chapitres Expérimentaux

Chapitre 3

6. How does Action improve memory ?

The importance of causality

Anthony Macri¹, Arthur Boisson¹ & Rémy Versace¹

¹Laboratoire EMC, Université Lumière Lyon 2 (France)

Article soumis dans le Quaterly Journal of Experimental Psychology –
2017

Abstract

The present paper argues that the interpretations of the effects of action – as improving item memory, on the one hand (Engelkamp, 1984, 2001), or as improving episodic integration, on the other - are not incompatible and do not hold in the case of non-communicative gestures. This theory is based on the assumption that the effects of action on memory are mediated by the integration (Versace et al. 2014). Integration strengthens the link between the pieces of information making up purely episodic memory traces. Based on the hypothesis that the different effects of action on memory are based on the involvement of a crucial aspect of action – causality - Experiment 1 tested its impact on item, location and association (between item and position) recall. The results showed that the causality of action enhances the integration of the item and its position within the memory trace, improving recall of the item and of the association between the item and its position. Experiment 2 confirmed the involvement of causality in the action-related improvement of the integration mechanism. The results are discussed in relation to the egocentric updating and transfer appropriate processing theories.

Keywords: Action, Memory, Integration, Act-in

6.1. Introduction

Many studies have shown the beneficial effects of action on memory performance (e.g. Cohen, 1981, 1989; Engelkamp & Zimmer, 1989; Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri, Nyberg & Nilsson, 1994; Nyberg & Nilsson, 1995). However, the explanation of these beneficial effects is still controversial. The aim of the present study is to gain a better understanding of the role that action plays in memory mechanisms.

We wanted to focus on the underlying mechanism on which the effects of action might be based. In the literature on memory, and especially on episodic memory, many studies have shown that memory efficiency is highly dependent on the link between the different features that make up a memory trace, both between the components of the target item and between the target item and contextual information (e.g. position) (Tulving, 1984; Versace et al., 2002; B. W. Whittlesea, 1987). The strength of this link depends on the efficiency of the integration mechanism (Versace et al., 2014, 2009). The integration mechanism is central in Act-In, a memory model proposed by Versace and collaborators (Versace et al., 2014). Act-In assumes that the re-emergence of specific traces depends on the level of integration of the features within the trace. The more integrated the features are, the more likely it is that the trace as a whole will be dissociated from other traces and can therefore be specifically retrieved. The features of the trace are all the components of the experience encoded by the trace; that is to say, they include both the target elements and contextual information.

The beneficial effects of action on memory performance are well-documented in the literature. The best-known are enactment effects (Cohen, 1981, 1989; Engelkamp, 1998; Feyereisen, 2009; Hornstein & Mulligan, 2004; Mangels & Heinberg, 2006; Nyberg & Nilsson, 1995) which correspond to the fact that material such as sentences for which a corresponding action is performed at encoding either by the participant himself (Self-Performed Tasks (SPTs) ; Cohen, 1981) or by someone else is memorized better than in conditions where no action is performed (the material is simply read or heard). Three different explanations of the enactment effect can be found. Firstly, Cohen (1981) proposed that, at encoding, action adds a motor component to the memory trace (see also Borghi, 2004; Borghi & Cimatti, 2010; Brouillet, Heurley, Martin, & Brouillet, 2010; Ellis & Tucker, 2000; Madan & Singhal, 2012; Zwaan, Madden, Yaxley, & Aveyard, 2004), thus creating a trace that is richer and more likely to be remembered. Secondly, Engelkamp and Zimmer (1984) proposed that motor program information should be considered as a separable memory unit, independent of other memory

representations, that is activated when performing an action but not necessarily when simply hearing one. The memory advantage of SPTs could then be explained by the preactivation of motor programs that shorten processing time or simply by the fact that this activation - which does not occur in other conditions - also makes the memory trace richer. If the latter explanation is correct then Cohen's and Engelkamp's interpretations are somewhat similar to one another. Thirdly, and contrary to Engelkamp and Zimmer, Kormi-Nouri (1995) and Kormi-Nouri & Nilsson (2001) proposed that action promotes episodic integration of the different components of an event without requiring motor programs to be separate components within the memory trace. They proposed that in the case of SPTs, participants are more involved in the task and action is then "considered as the "glue" that cements the components of actions into a single memory unit or into closely connected memory units" (Kormi-Nouri & Nilsson, 2001, p. 105).

The studies mentioned so far have mainly used words. Action or manipulability is merely a property of the items involved. When an action is performed by the participants, the action performed is the action described by the sentence or the verb to be remembered. In order to better understand the effects of action on memory, it seems important to establish the distinction between action as a property of the items and action as an independent feature. As an example of the latter, Madan & Singhal (2012) have suggested that other forms of action, such as non-communicative or deictic gestures, could be used to improve memory. Moreover, a recent study by Brouillet et al. (2014) suggests that the causal aspect of action might be the key element in interpreting the effect of action on memory. We want to stress the fact that the mere presence of an action is not sufficient to explain the effects observed on memory but that the consequences of that action are what really matters. Brouillet et al. (2014) showed that sensory-motor consequences of past actions are integrated into memory traces. The authors associated the success or failure associated with a simple keyboard response with two different colors. In a recognition task, the words presented in the color associated with success were processed faster, and those presented in the color associated with failure processed slower, than words presented in a non-informative color. The authors argued that action is always followed by an informative feedback which becomes part of knowledge.

As a first example of an action that is independent of the material, Chum, Bekkering, Dodd, and Pratt (2007) used a visuospatial working memory task to show that when two spatial arrays corresponding to squares or circles displayed on a computer screen – one array being actively encoded through limb pointing (move condition) and the other passively encoded (no move condition) – were kept in mind simultaneously, the actively encoded array was more

likely to be retrieved more accurately. The authors proposed that allocentric encoding (a function of the hippocampus and parietal cortex) occurred in both the move and no move conditions, whereas egocentric encoding (occurring at the striatum of the basal ganglia) was more likely to occur (or was stronger) when limb movements were executed, thus explaining the advantage of the move condition over the other. Although the authors showed a benefit of action in a visuospatial memory task and discussed the motor mechanisms, they discussed neither the underlying memory mechanisms that may be involved, nor the effects of action on the different components of the event to be remembered (item, location, association between item and location) nor the causal aspect of the action performed by the participants (when performed within 1000 ms following stimulus presentation, pointing caused the stimulus to disappear).

As a second example, in a recent paper, Ouwehand, Gog, and Paas (2016) compared the effects of pointing, naming and simply observing at encoding on subsequent memory for pictures and their locations. The study showed that pointing improved location memory (spatial location recall) but had no impact on item memory. The authors also found that when participants were asked to answer verbally rather than manually during the test phase, the beneficial effect of pointing at encoding was lost. Although these results are interesting, we would like to point out several issues that call for further explanation. First, although the results showed a beneficial effect of pointing over the other encoding conditions, the paper presents no clear discussion of whether this is because pointing helped "to focus attention" or because it added "a motoric code that benefits retrieval only when this code gets reactivated". We address this point in the present study. What is more, in their experiments, the authors asked the participants to point at the pictures that appeared on the screen. When performed before the fixed interval of 2000 ms, this had the effect of making the picture disappear. The authors do not address the question of the importance of causality in the effects of action on memory even though we know that the sensory-motor consequences of action are integrated within memory traces (Brouillet et al., 2014). Finally, location memory was only measured for the items that were recognized. In the present study, location memory was measured independently of item memory.

As a third example, Camus, Brouillet, and Brunel (2016) assessed the role of motor response during the integration process. The authors examined the impact of a motor response on the formation of an association between a shape and a sound. In a priming experiment, the shapes were used as primes for the target sounds. The results showed that when the association

between the shape and the sound was formed with the participants performing a motor response, the targets were processed faster than when the association was formed without a motor response.

By contrast, Cohen's and Engelkamp's explanations are not appropriate for actions that are detached from the material, unlike Kormi-Nouri's, which continues to be relevant. By improving episodic integration, action could enhance the relations in memory between the different elements of a memory trace, for example an item and its position. This distinction could also shed some light on the absence of an effect of SPTs on position memory (Hornstein & Mulligan, 2004). In the case of SPTs, the action is linked to the material to be remembered and the effects of that action might therefore be restricted to the material itself. Thus, when the action performed is not linked to the items, the action can improve the association between the item and its position, thus reinforcing Kormi-Nouri's interpretation. We also argue that the interpretations of the effects of action on memory made by Cohen (1981), Engelkamp and Zimmer (1984), and Kormi-Nouri (1995) are not incompatible and that the said effects may depend on the action itself. The causality of action could make it possible to explain the different effects of action that are reported in the literature and depend on the status of the action (linked to the material or not). We hypothesized that, in the case of non-communicative or deictic gestures, if the event as a whole is the consequence of the action, then the action should enhance the memory integration of the item and of the relation between the item at the center of the event and its contextual information.

To test this hypothesis, we adapted a paradigm used by Tardif (2014) to investigate the role of action on encoding. This paradigm has the advantage of measuring not only the specific recall of the items but also the recall of the association between an item and its context and, more specifically, its spatial location. It consists in the presentation of series of pictures taken from Snodgrass & Vanderwart's (1980) database. The pictures are shown sequentially for 2000 ms in series of 6 in a 16-square grid arranged similarly to Corsi's block layout. After each series of 6 pictures, the participants are asked to perform one of three types of recall: oral recall of the names of the pictures (Item recall), recall of the 6 squares where the pictures appeared (location recall) and a recall task consisting in putting the pictures back in the squares in which they appeared during the presentation (Association recall).

To study the role of action in memory, we created three action conditions. The first one (NoClick condition) required no motor action on the part of the participants during the presentation of the pictures. The second action condition (BottomClick condition) required the

participants to trigger the appearance of each picture to be remembered by clicking with the mouse on a rectangle located at the bottom of the computer screen. In this case, the appearance of the picture was the consequence of the participant's action but the movement was not congruent with the spatial location of the picture. In the third and last condition (SquareClick condition), the participants triggered the appearance of each picture to be remembered by clicking with the mouse on the square where the picture was to appear. In this case, action was linked to the items through a movement that was congruent with the spatial location of the picture. The comparison between the 2 motor conditions and the NoClick condition enabled us to discriminate between the effects of an action that causes the event but is detached from it (i.e. BottomClick condition) and the effects of an action that still causes the event but that focuses on a feature of that event, here the spatial location (i.e. SquareClick condition). Our hypotheses were as follows: a) the oral recall of the item should benefit from the 2 forms of actions because the item is the direct consequence of the action in both cases; b) the recall of the spatial location should only benefit from the action congruent with the location of the items during their presentation; finally c) the recall of the association between the items and their locations should be improved by both motor conditions, but with performance in the condition that focuses action on the spatial locations of the items (SquareClick) being better than in the condition in which it does not (BottomClick).

6.2. Experiment 1

6.2.1. Method

Participants

Twenty-four healthy French-speaking students at the University of Lyon 2 (20 women; 4 men; $M = 20.58$ years, $SD = 2.65$) took part in this experiment (18 right-handed). They were all randomly selected students. No visual or speech disorders were reported. They were all aware of the task they would have to perform but were not informed of the aims of the study. They all gave written informed consent. The data was collected in October 2015.

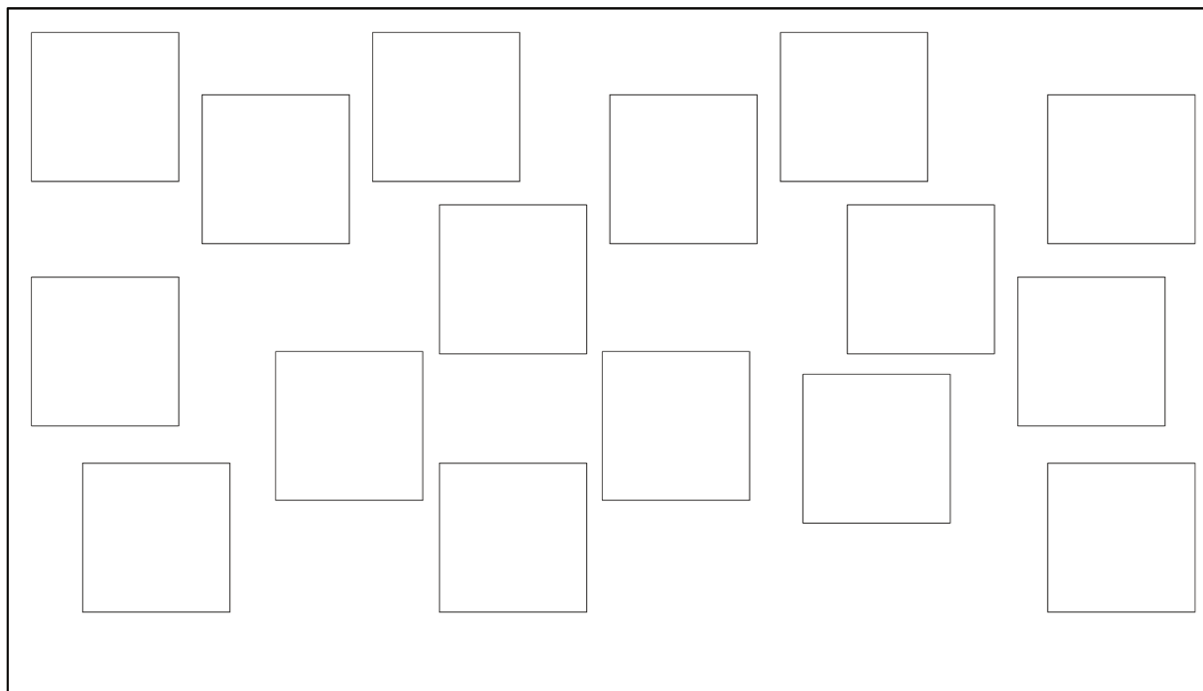


Figure 6 - Irregular 16-square grid used to present the pictures and during Location recall and Item-Location association recall

Stimuli and Material

During the task, 36 series of 6 pictures appeared in a 16-square layout displayed across the computer screen (cf. Figure 6). The pictures were taken from the 260-picture (Snodgrass & Vanderwart, 1980) database. Six pictures were selected for the training phase and 216 for the test phase (see Annex A). The pictures were resized to 200x200 pixels to be presented in the 16-square layout. All the pictures had a familiarity and a complexity value (see Tardif, 2014). Using the median value for each factor, the pictures were distributed in such a way that each series of 6 pictures included as many familiar as unfamiliar and as many complex as simple pictures.

Each participant was tested in the same room on an APPLE computer (Mac OS 10.10 Yosemite) with a 21.5" screen and 1600 x 900-pixel resolution. The experiment was designed and run using OpenSesame (2.8.3 version; Legacy backend) (Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2011).

Procedure and design

Each participant was tested individually for approximately 45 minutes. Three series of 6 pictures, each associated with one of the types of recall used in the experiment, were presented as training. After the training phase, 36 series of 6 pictures were used at test. The pictures were

displayed sequentially for 2000 ms separated by a 500-ms interval. Their locations were randomized, subject to the constraint that no picture could appear in a location previously occupied by another picture. To assess the effect of action on recall performances, 3 types of instructions were used. Each type of instruction was displayed before the presentation of the pictures and always applied to the whole series of pictures. In the first condition (SquareClick condition), a red square (40x40 pixels) appeared in one of the 16 squares on the screen and the participants had to click on the red square as soon as it appeared in order to reveal a picture. The starting position of the mouse was set to the center of the screen. The red square remained on the screen until the participants had clicked on it and there was no delay between the red square and the picture. The picture was displayed for 2000 ms and followed by a 500-ms interval preceding the presentation of the next red square in another location. The position of the mouse was reset to the center of the screen after each picture. The second condition (BottomClick condition) was almost the same as the SquareClick condition, with the difference that the participants had to click on a red rectangle (400x100 pixels) located at the bottom of the screen in order to trigger the appearance of a picture in one of the 16 squares on the screen. This rectangle was displayed at the same time as the red square displayed in one of the 16 locations in the grid. Both the red square and the rectangle disappeared when the participants clicked. A picture was displayed for 2000 ms followed by a 500-ms interval. The position of the mouse was not reset to the center of the screen after each picture so that it would remain close to the bottom of the screen to limit movement in that condition. In these two conditions, a click was necessary to reveal every picture in the series. In the third condition (NoClick condition), no action was needed and the pictures appeared automatically. Just as in the SquareClick condition and in the BottomClick condition, a red square also appeared for 500 ms in the squares in which the pictures were shown and disappeared just before the picture was revealed without any interval between them. This red square, which was present in all conditions, was not necessary in order to follow the instructions in the BottomClick and NoClick conditions but prevented potential differences in attention engagement between the 3 conditions. In the NoClick condition, the mouse cursor was not shown.

After each series of 6 pictures, on-screen instructions asked the participants to perform one of three possible recalls: item recall, location recall, association recall. For item recall, the participants had to tell the experimenter the names of the items depicted in the 6 pictures they had just seen. For location recall, an empty 16-square grid was presented and the participants had to click on the 6 squares in which the pictures were located. For association recall, the

pictures presented in the series were displayed at the bottom of the screen and the participants were instructed to drag them to the squares in which they had been located. In the original paradigm designed by Tardif (2014), the participants performed the 3 types of recall on each series of 6 pictures. Even though the order in which the 3 types of recall occurred was counterbalanced, the recall of the association between the items and their location preceded the other types of recall in 1/3 of the test trials. For this type of recall, the pictures to be repositioned in their original locations were displayed again at the bottom of the screen. This means that for 1/3 of the recalls, the participants saw the pictures for longer than in the other trials. For obvious reasons, this could have had an impact on recall performance, in particular in the case of item recall. We consequently modified the original task so that, in the present study, only one type of recall was requested after each series of pictures. For example, after a first series of pictures, the participants were asked to perform Item recall. After the following series, they only performed location recall and so forth... The order of the different types of recall was randomized and the same order was used for every participant. As a result, the paradigm became more difficult because the participants were informed, by means of on-screen instructions, of the type of recall to be performed only after the presentation of the pictures, thus creating a delay before recall.

Each interaction condition was paired 4 times with each type of recall. The different conditions (type of instruction and type of recall) were randomized, subject to the constraint that no condition could be repeated more than twice in a row. The randomized order was the same for every participant. Whether they were right or left-handed, all the participants chose to use the mouse with their right hand. This might be due to the fact that computer mouses are usually placed on the right side.

6.2.2. Results

Results are presented in Table 2. For each type of recall, the mean percentages of correct recall were submitted to a one-way ANOVA with the action condition as a within-subject factor.

Table 2 - Mean percentages and standard errors for correct responses in Exp. 1

	Item recall		Location recall		Association recall	
	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE
SquareClick	88	6.1	88	5.4	82	6.1
BottomClick	82	7.0	77	6.6	66	7.0
NoClick	77	6.2	78	8.1	60	6.2

Note - CA, Correct responses; SE, Standard Errors

Item recall

When the participants were asked to orally recall the names of the pictures, the analysis revealed a significant effect of action ($F(2, 46) = 22.21, p < .05, \eta^2 = .22$). The recall rates were significantly higher in the SquareClick condition (88%) than in the BottomClick (81%) ($t(23) = 4.05, p < .001$) or NoClick condition (77%) ($t(23) = 6.60, p < .001$). The recall rate was also significantly higher in the BottomClick condition than in the NoClick condition ($t(23) = 2.75, p < .01$).

Location recall

For the recall of the location, the analysis also showed a significant effect of action ($F(2, 46) = 38.95, p < .05, \eta^2 = .37$). Recall in the SquareClick condition (88%) was significantly higher than in the BottomClick (77%) ($t(23) = 9.49, p < .001$) and NoClick conditions (78%) ($t(23) = 7.01, p < .001$). The analysis revealed no difference between the BottomClick and the NoClick conditions ($t < 1$).

Item-Location recall

The analysis revealed a main effect of action on Item-Location recall ($F(2, 46) = 111.58, p < .0001, \eta^2 = .66$). The recall rate in the SquareClick condition (82%) was significantly higher than in the BottomClick condition (66%) ($t(23) = 10.68, p < .001$) and the NoClick condition (60%) ($t(23) = 13.58, p < .001$). Recall in the BottomClick condition was higher than in the NoClick condition ($t(23) = 4.79, p < .001$).

Additional analysis

In order to compare the effect of action between the different recall conditions, the NoClick recall rate was subtracted from the SquareClick and BottomClick rates for each type of recall. The difference then provided a measure of the effects of action depending on the type of recall (Figure 7). A repeated-measure Type of recall \times Action condition ANOVA was applied.

The analysis showed a main effect of Action ($F(1, 23) = 138.42; p < .001$), a main effect of the type of recall ($F(1, 23) = 18.75; p < .001$) and a significant interaction between the type of action and the type of recall ($F(2, 46) = 15.16, p < .001, \eta^2 = .06$). As Figure 7 shows, the interaction can be explained by the fact that the advantage of the SquareClick condition over the BottomClick condition increased from the recall of the item ($M = 6\%$, $SD = 0.07$) to

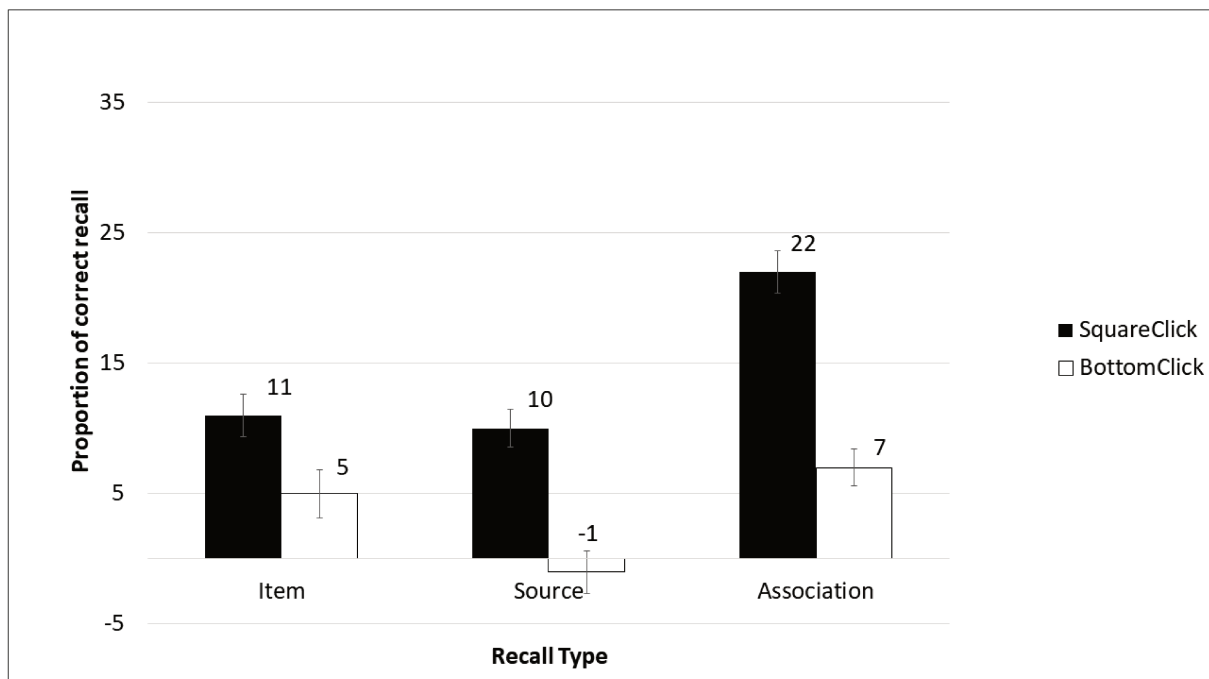


Figure 7 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.

the recall of the location ($M = 11\%$, $SD = 0.05$), and then on to the recall of the association between the items and their locations ($M = 15\%$, $SD = 0.07$).

6.2.3. Conclusion

The results clearly show that both action conditions had their own effects on the different recall performances when compared to the no-action control condition. First, action systematically improved the recall of the item. Moreover, when this action was congruent with the spatial location of the item, it facilitated the recall of the spatial position and increased the recall of the association between item and position and, to a lesser extent, the recall of the item itself. This comes from the congruency between the action and a feature of the memory trace (here the spatial location), but also from an increase in the causality of the action with regard to the appearance of the items (hence the better item recall performances).

This led us to think that causality is the crucial characteristic when it comes to improving integration. In this case, the main effect of action is due to causality, which improves integration of the item and its position within the memory trace and facilitates the retrieval of the item. We designed a second experiment to assess the importance of causality.

A second experiment was designed to show that although the simultaneous presence of an action is important on its own, what really explains the effect of action is its causal effect. In this experiment, action did not cause the pictures to appear in the grid. The action occurred after the appearance of the pictures. Therefore, if simultaneity alone is important, the same pattern of results as in Experiment 1 should be observed. However if, as we argue, causality is the key factor, then the pattern should be different. Action should not bring about any improvement in item recall. In the case of location recall, only the action oriented towards the spatial location of the items (SquareClick) should improve recall compared to the control condition (NoClick). In the case of association recall, no effect of the action conditions should be seen compared to the control condition.

6.3. Experiment 2

6.3.1. Method

Participants

Twenty-four healthy French-speaking participants, different from the participants in Experiment 1 (16 women; 8 men; $M = 20.67$ years, $SD = 2.10$), took part in this experiment (22 right-handed). They were all randomly selected students at the University of Lyon. No visual or speech disorders were reported. They all gave written informed consent. The data was collected between December 2015 and April 2016.

Material

The material was the same as that used in Experiment 1. The same 36 series of 6 pictures from the Snodgrass & Vanderwart (1980) database were used as stimuli for this experiment (see Annex A).

Procedure and design

We followed the same procedure as in Experiment 1, except that the action came after the appearance of the stimuli to be remembered in the two action conditions. A red square appeared for 500 ms before each stimulus in the three action conditions: SquareClick, BottomClick and NoClick. The pictures were shown for 2000 ms before a red square (200x200 pixels) appeared. This fully covered the picture and gave the signal to the participant to perform the action corresponding to the condition: to click on the red square in the SquareClick condition or to click at the bottom of the screen in the BottomClick condition. In the NoClick condition, the participants were not required to perform any action and the red square covering the picture stayed on the screen for 500 ms.

6.3.2. Results

Results are presented in Table 3. For each type of recall, the mean percentages of correct recall were submitted to a one-way ANOVA with the action condition as a within-subject factor.

Table 3 - Mean percentages and standard errors for correct responses in Exp. 2

	Item recall		Location recall		Association recall	
	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE
SquareClick	71	1.9	79	2.0	65	3.2
BottomClick	69	2.9	60	2.9	59	2.6
NoClick	67	2.2	58	3.0	57	3.4

Note - CA, Correct responses; SE, Standard Errors

Item recall

When the participants were asked to recall the names of the pictures orally, the analysis revealed no significant effect of action ($F(2, 46) = 2.46, p = .09$).

Location recall

For the recall of the location only, the analysis showed a significant effect of action ($F(2, 46) = 16.07, p < .001, \eta^2 = .29$). Recall in the SquareClick condition (78%) was significantly higher than in the BottomClick (60%) ($t(23) = 4.80, p < .001$) and NoClick conditions (58%) ($t(23) = 4.87, p < .001$). The analysis revealed no difference between the BottomClick and the NoClick conditions ($t < 1$).

Item-Location recall

The analysis revealed no main effect of action on Item-Location recall ($F(2, 46) = 1.90, p = .16$).

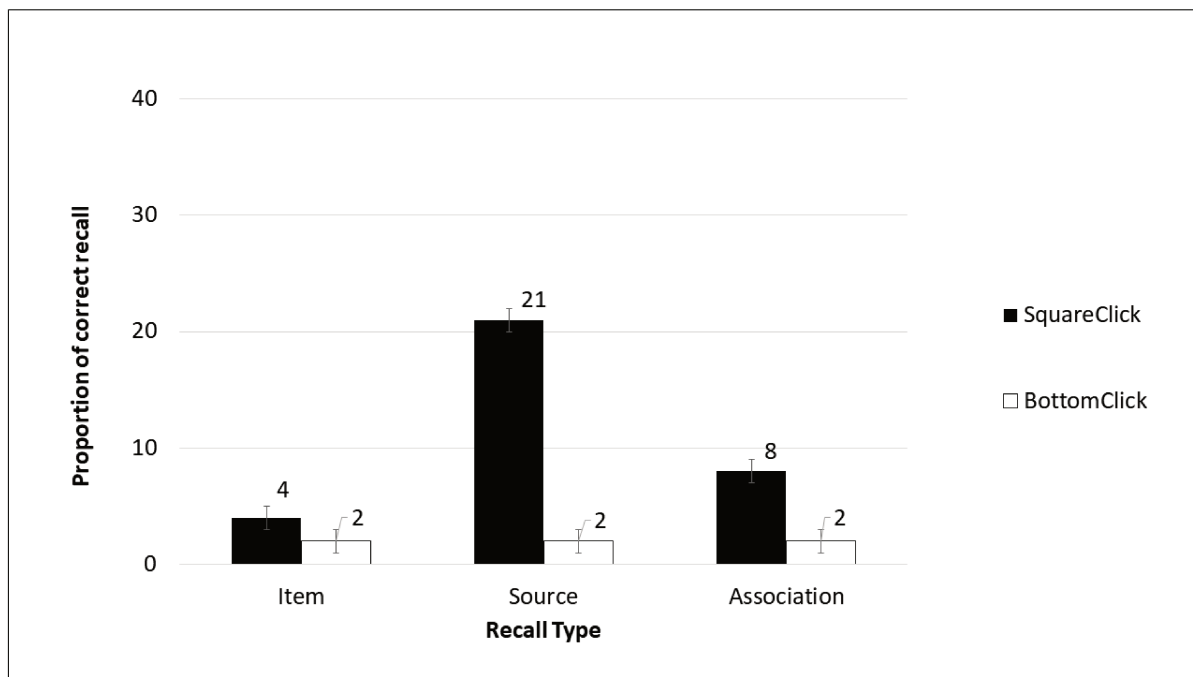


Figure 8 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.

Additional analysis

As shown by Fig. 8, the analysis revealed a main effect of Action ($F(1, 23) = 17.37, p < .001, \eta^2 = .05$), and a significant interaction between the type of action and the type of recall ($F(2, 46) = 5.95, p < .01, \eta^2 = .03$). Local comparisons showed a significant difference between the SquareClick and BottomClick condition for Location recall ($t(23) = 4.80, p < .001$), but not for the other two types of recall (Item recall: $t(23) = 1.16, p = .12$; Item-Location recall: $t(23) = 1.31, p = .10$).

6.3.3. Conclusion

The results from Experiment 2 support the interpretation that, in the present study, causality was responsible for the effect of action on memory. As predicted, when deprived of its causal aspect of making the stimuli appear on the screen, action no longer enhanced the integration of the different pieces of information to be memorized.

6.4. General Discussion

Action is known to improve memory performances (Cohen, 1981, 1989; Engelkamp & Zimmer, 1989; Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri, Nyberg & Nilsson, 1994; Nyberg & Nilsson,

1995). This improvement has been found not only for actions that are related to the material to be remembered but also for non-communicative gestures (Chum et al., 2007; Ouwehand et al., 2016). Authors have interpreted the beneficial effect of action in ways that were thought to be incompatible with one another. Engelkamp and Zimmer (1984) proposed that action is a separable memory unit which, once reactivated, enhances memory performance. According to the authors, this enhancement is specific to item memory. Kormi-Nouri and Nilsson (2001) and Kormi-Nouri (1995) argued that it is not necessary to consider action as a separable memory unit in order to understand its effect on memory and suggested that action acts as a binder between the different features of an event. In the present paper, we have argued that these interpretations are not necessarily incompatible. This theory is based on the assumption that the effects of action on memory are mediated by the integration mechanism described by Versace et al. (2014). This mechanism strengthens the link between the different pieces of information (e.g. item and location) that make up purely episodic memory traces.

Starting from the hypothesis that the different effects of action on memory are based on the involvement of a crucial aspect of action – i.e. causality - Experiment 1 tested its impact on item, location and association (between item and position) recall. The results showed that the causality of action enhanced the integration of the item and its position within the memory trace, improving recall of the item and of the association between the item and its position. Experiment 2 confirmed the involvement of causality in the action-related improvement of the integration mechanism. When action came after the stimuli, it only had a beneficial effect on the recall of the item's position. The results of Experiment 2 also preclude an explanation of the results of Experiment 1 in terms of an attentional effect. If the beneficial effect of the SquareClick condition relative to the BottomClick condition was due to an increase in the attentional focus on the items and on their locations, then the same difference should have been observed in Experiment 2 as was observed in Experiment 1.

This hypothesis concerning the central role of action on integration is consistent with the idea developed in the literature that episodic recovery is determined by the ability to recreate an egocentric spatialized point of view which organizes the elements that have been encoded during learning. This capacity is thought to be based on a simulation and updating mechanism (Cerles, Gomez, & Rousset, 2012; Gomez, Rousset, & Baciú, 2009; Gomez, Rousset, & Charnallet, 2012). In line with this proposal, a specific deficiency in this process has been demonstrated in patients with amnesia (Gomez, Rousset, Bonniot, Charnallet, & Moreaud, 2015; Gomez et al., 2012). This egocentric updating necessarily involves components linked to

actions. This idea is also present in Chum et al. (2007), for whom egocentric encoding occurs only when limb movements are involved.

The results could also be interpreted in relation to the Transfer Appropriate Processing theory (Morris et al., 1977) and the Encoding Specificity theory (Tulving & Thomson, 1973). The first theory puts forward the role played by the similarity of processing between the acquisition of a memory and the retrieval of it. According to the second theory, the memory trace of an event is determined by the encoding operations. In the present experiment, upon acquisition, the action performed, the item and the location are all part of the memory trace and are retrieved together which improves recall of the association. The interpretation weakens the interpretation of the results solely in terms of integration. However, the action conditions improved recall of the item even if this recall was performed verbally and did not involve any action resembling the encoding condition. Nonetheless, to rule out the alternative interpretations it would be necessary to replicate the same experiment changing the response mode for the recall of the associations.

To conclude, the present study highlights the importance of causality in the effect of action on memory, and confirms the crucial role of integration in memory processes. This mechanism seems to be of the utmost importance not only in the simulation (recovery) of past events, but also in the simulation of future events (anticipation), and thus more generally in memory efficiency.

References

- Borghi, A. M. (2004). Object concepts and action: Extracting affordances from objects parts. *Acta Psychologica*, 115(1), 69–96.
- Borghi, A. M., & Cimatti, F. (2010). Embodied cognition and beyond: Acting and sensing the body. *Neuropsychologia*, 48(3), 763–773.
- Brouillet, D., Vagnot, C., Milhau, A., Brunel, L., Briglia, J., Versace, R., & Rousset, S. (2014). Sensory–motor properties of past actions bias memory in a recognition task. *Psychological Research*, 79(4), 678–686. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0600-6>
- Brouillet, T., Heurley, L., Martin, S., & Brouillet, D. (2010). The embodied cognition theory and the motor component of “yes” and “no” verbal responses. *Acta Psychologica*, 134(3), 310–317.
- Camus, T., Brouillet, D., & Brunel, L. (2016). Assessing the functional role of motor response during the integration process.
- Cerles, M., Gomez, A., & Rousset, S. (2012). Effect of egocentric perception on an allocentric memory task. In *COGNITIVE PROCESSING* (Vol. 13, pp. S56–S56). SPRINGER HEIDELBERG TIERGARTENSTRASSE 17, D-69121 HEIDELBERG, GERMANY.
- Chum, M., Bekkering, H., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2007). Motor and visual codes interact to facilitate visuospatial memory performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(6), 1189–1193.
- Cohen, R. L. (1981). On the generality of some memory laws. *Scandinavian Journal of Psychology*, 22(1), 267–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1981.tb00402.x>
- Cohen, R. L. (1989). Memory for action events: The power of enactment. *Educational Psychology Review*, 1(1), 57–80. <https://doi.org/10.1007/BF01326550>
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451–471.
- Engelkamp, J. (1998). *Memory for actions* (Vol. vii). Hove, England: Psychology Press/Taylor & Francis (UK).
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1984). Motor programme information as a separable memory unit. *Psychological Research*, 46(3), 283–299. <https://doi.org/10.1007/BF00308889>
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1989). Memory for action events: A new field of research. *Psychological Research*, 51(4), 153–157. <https://doi.org/10.1007/BF00309142>

- Feyereisen, P. (2009). Enactment effects and integration processes in younger and older adults' memory for actions. *Memory*, 17(4), 374–385. <https://doi.org/10.1080/09658210902731851>
- Gomez, A., Rousset, S., & Baciú, M. (2009). Egocentric-updating during navigation facilitates episodic memory retrieval. *Acta Psychologica*, 132(3), 221–227.
- Gomez, A., Rousset, S., Bonniot, C., Charnallet, A., & Moreaud, O. (2015). Deficits in egocentric-updating and spatial context memory in a case of developmental amnesia. *Neurocase*, 21(2), 226–243.
- Gomez, A., Rousset, S., & Charnallet, A. (2012). Spatial deficits in an amnesic patient with hippocampal damage: questioning the multiple trace theory. *Hippocampus*, 22(6), 1313–1324.
- Hornstein, S. L., & Mulligan, N. W. (2004). Memory for actions: Enactment and source memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 367–372. <https://doi.org/10.3758/BF03196584>
- Kormi-Nouri, R. (1995). The nature of memory for action events: An episodic integration view. *European Journal of Cognitive Psychology*, 7(4), 337–363. <https://doi.org/10.1080/09541449508403103>
- Kormi-Nouri, R., & Nilsson, L. G. (2001). The motor component is not crucial. In *Memory for action: A distinct form of episodic memory* (pp. 97–111).
- Kormi-Nouri, R., Nyberg, L., & Nilsson, L.-G. (1994). The effect of retrieval enactment on recall of subject-performed tasks and verbal tasks. *Memory & Cognition*, 22(6), 723–728. <https://doi.org/10.3758/BF03209257>
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2012). Using actions to enhance memory: effects of enactment, gestures, and exercise on human memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 507.
- Mangels, J. A., & Heinberg, A. (2006). Improved Episodic Integration Through Enactment: Implications for Aging. *The Journal of General Psychology*, 133(1), 37–65. <https://doi.org/10.3200/GENP.133.1.37-65>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16(5), 519–533. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(77\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(77)80016-9)

- Nyberg, L., & Nilsson, L.-G. (1995). The role of enactment in implicit and explicit memory. *Psychological Research*, 57(3–4), 215–219. <https://doi.org/10.1007/BF00431282>
- Ouwehand, K., Gog, T. van, & Paas, F. (2016). Effects of pointing compared with naming and observing during encoding on item and source memory in young and older adults. *Memory*, 24(9), 1243–1255. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1094492>
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 6(2), 174–215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.2.174>
- Tardif, S. (2014). *Processus associatifs en mémoire épisodique dans le vieillissement normal et dans le trouble cognitif léger de type amnésique*. University of Laval.
- Tulving, E. (1984). *Precis of elements of episodic memory*. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02), 223–238.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80(5), 352.
- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Groupe de Boeck.
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Whittlesea, B. W. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(1), 3.
- Zwaan, R. A., Madden, C. J., Yaxley, R. H., & Aveyard, M. E. (2004). Moving words: Dynamic representations in language comprehension. *Cognitive Science*, 28(4), 611–619.

Condensé de l'article

Introduction - Dans cette étude nous testions l'hypothèse selon laquelle les effets de l'action sur la mémoire seraient dus principalement au fait qu'une action engendre des conséquences perceptives. Ainsi l'intégration des propriétés d'un événement dépendrait de l'aspect causal de l'action plus que du geste lui-même. En suivant les travaux de Camus et al. (2016) montrant l'importance des conséquences de l'action sur l'intégration des propriétés, nous avons dans un premier temps introduit différentes actions qui causaient l'apparition de l'information à retenir (Exp. 1) puis, dans un second temps, conservé les mêmes actions tout en leur ôtant leur lien de causalité avec le matériel.

Méthode – Dans l'expérience 1, des séries de 6 dessins étaient présentées au sein d'une matrice irrégulière de 16 cases. Les dessins étaient affichés séquentiellement dans 6 cases de la matrice. Dans une première condition, un carré rouge apparaissait dans une des 16 cases et le participant devait cliquer dans cette case afin d'y faire apparaître un dessin (Condition SquareClick). Le dessin restait affiché durant 2000ms puis disparaissait et un nouveau carré rouge apparaissait dans une autre case de la matrice. Dans une seconde condition, les participants déclenchaient l'apparition de chaque dessin, non pas en cliquant dans une case de la matrice, mais en cliquant sur un rectangle rouge en bas de l'écran (Condition BottomClick). Enfin, une troisième condition servait de contrôle. Les dessins apparaissaient automatiquement dans la matrice sans qu'aucune action ne soit demandée de la part des participants. Une fois les 6 dessins d'une série passés, les participants étaient invités à effectuer l'un des 3 rappels suivant : a) le rappel oral du nom de ce que représentaient les dessins ; b) le rappel des positions occupées par les dessins dans la matrice en cliquant à l'aide de la souris d'ordinateur dans les cases d'une matrice vierge qui apparaissait à l'écran; et enfin c) le rappel de l'association entre les dessins et leurs positions en cliquant sur les dessins et en les déposant dans les cases correspondantes à l'aide de la souris. Dans l'expérience 2, le protocole était le même à l'exception du fait que dans les conditions SquareClick et BottomClick, bien que les actions réalisées restaient les mêmes, celles-ci se déroulaient après l'apparition des dessins. Dans les deux conditions, chaque dessin restait affiché 2000ms puis était recouvert d'un carré rouge servant de signal au participant afin que celui clique sur la case (Condition SquareClick) ou sur le rectangle en bas de l'écran (Condition BottomClick).

Résultats – Dans le cas où l'action déclenchait l'apparition des stimuli, les deux conditions SquareClick et BottomClick ont engendré de meilleures performances sur l'ensemble des

rappels, avec un avantage pour la condition SquareClick. Dans le cas où l'action ne déclenchait pas l'apparition des stimuli, seul un effet de la condition SquareClick a été obtenu sur le rappel des positions occupées par les dessins.

Conclusion – Cette étude montre que l'intégration des propriétés d'un événement, que ce soit les propriétés d'un item ou l'intégration de cet item et de ses propriétés contextuelles, peut être favorisée par la réalisation d'une action. Cet effet bénéfique repose sur l'aspect causal de l'action vis-à-vis de la scène perceptive au moment de la formation de la trace de l'événement.

Chapitre 4

7. The Associative Deficit Hypothesis and the Integration Mechanism: Action helps older adults to remember better

Anthony Macri¹, Sylvain Gagnon² & Rémy Versace¹

¹ Laboratoire EMC, Université Lumière Lyon 2 (France)

² School of Psychology, University of Ottawa, Ottawa, Canada

Article soumis dans le Canadian Journal on Aging - 2017

Abstract

The present study aims to investigate if a factor such as action, known to influence memory performance, can improve memory integration of the different sensori-motor features of an event and thus reduce the memory deficit observed in older adults. Memory for the central items (drawings) processed by older participants during the task they performed was assessed along with memory for the location of the items (independently from the items) and memory for the associations between items and locations. The results demonstrate that memory for the items and for the associations between the items and their locations improved only when a congruent behavioral response linking the pictures to their location was performed at encoding. The results are discussed in regards with the Associative Deficit Hypothesis (ADH - Naveh-Benjamin, 2000) and the different levels of integration that can occur upon the formation of the memory traces.

Key words: Action, Memory, Aging, Associative Deficit

7.1. Introduction

Memory declines with age (e.g., Craik & Jennings, 1992) and episodic memory seems to be especially vulnerable (e.g., Light, 1991). Bender, Naveh-Benjamin, & Raz (2010) report the pattern of performance typically observed when comparing younger and older adults on item memory and associative memory tasks. They demonstrated, thanks to large sample of participants ($n = 278$) aged between 18 and 85, that item memory performance was generally higher than associative memory performance for all participants, but that older adults showed a greater deficit compared to younger adults when associative memory was evaluated. This study supports the Associative Deficit Hypothesis (ADH), first formulated by Naveh-Benjamin (2000) as an explanation of memory deficits typically observed in healthy older adults. Each experienced event is made up of various types of information. Bringing back from memory a previously experienced event necessitates the retrieval of several pieces of information that are specific to this event including how these pieces are interrelated. According to Naveh-Benjamin (2000) the memory deficits observed in older adults are mainly caused by the difficulty to create or to remember the links or associations among the different features that make up an event. In a recognition based memory task, participants were presented with pictures on a grid, and were asked to memorize the item, their locations or both the items and their locations. Older adults scored similarly to younger participants on memory for the item, but they scored significantly lower when asked to remember the locations and even lower when asked about both features (Naveh-Benjamin, 2000). The associative nature of the memory deficit found in older adults as well as the ADH interpretation have received support from multiple empirical studies and have been validated with various type of events or stimuli (ex: words, pictures, faces), the tasks (ex: free recall, recognition) and across various presentation modalities (ex: visual, auditory; Bastin et al., 2013; Chalfonte & Johnson, 1996; Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin, Guez, & Shulman, 2004; Naveh-Benjamin, Hussain, Guez, & Bar-On, 2003). The ADH is considered as a very relevant hypothesis that can help targeting precisely the memory mechanisms impaired in old age for the purpose of boosting memory performance in older individuals.

The ADH is also in line with the multiple-traces models of memory and especially the Act-in model (Versace et al., 2014, 2009). In this model, memory is a single system in which the sensory-motor properties of past experiences and the relations between these properties are preserved within episodic traces. The different components of an event or item generates neuronal activation in the cerebral areas responsible for their processing and are integrated and linked to one another within the trace. The richer a memory trace is, that is to say the more

components it contains, and the greater are the associations between the components, the more likely the memory is to be reactivated in the future. In the Act-in model, integration is a key mechanism that impacts on the formation of the memory traces through the binding of the different components and thus leads to improved memory performance. Therefore, integration occurs between the different features of an item and between an item and the contextual features that surround it. Act-in allows to make predictions about factors known to influence memory functioning and that may facilitate integration (for a discussion about the factors that may impact the integration mechanism, see Versace et al., 2014). The aim is then to pinpoint some of these factors so that older people could rely on them to boost the formation of their memory traces and consequently improve their associative memory performance. This was done in previous studies investigating the effects of emotional processing on integration (Macri, Pavard, & Versace, Accepted; Versace & Rose, 2007). In one study, emotion was introduced as a contextual feature (i.e. not central to the events or items processed by the participants) and was shown to increase the integration between an item and a contextual feature (its location). In another study, Versace and Rose (2007) investigated the influence of the presentation of neutral and negative pictures which preceded picture/sound pairs that were to be learned by the participants. The results revealed that the negative pictures strengthened the link between pictures and sounds that made up the pairs.

Other studies showed that actions performed by the encoder also enhance the integration mechanism and that motor responses would even be necessary for integration to occur (Brouillet et al., 2014; Camus, Brouillet, & Brunel, 2016). The literature shows reliable effects of action on memory (action effects, Hommel, 1996, 2013; enactment effect, e.g. Cohen, 1989; Engelkamp, 1998; Hornstein & Mulligan, 2004; Nyberg & Nilsson, 1995) which were demonstrated using various retrieval tests (recognition, free or cued recall). Interestingly, Ouwehand, Gog, & Paas (2016) compared the effects of pointing, naming and simply observing at encoding on subsequent memory for pictures and their locations and showed that an action as simple as pointing improved memory performance. In a recent study, Macri, Boisson, and Versace (Manuscript submitted for publication) investigated the effect of causality of action on the integration mechanism. The authors showed, using a paradigm similar to Naveh-Benjamin's (2000), that actions performed by the participants (clicks with the computer mouse) enhanced memory for the item and memory for the locations of the items. In agreement with the integration interpretation, the results also demonstrated that the effect of action was even stronger for the recall of the item-location associations. They concluded that action, by causing

the stimuli to appear, specifically induced the establishment of relations between the different features of an event, i.e. the integration mechanism.

In the current study, we tested the hypothesis that the associative memory deficit seen in older adults could be explained by an age-related weakening of the integration mechanism. Thus, the effect of action observed in young adults should help older adults remember better as it compensates for their poorer memory integration. If the effect of action can be replicated in older adults, this would give further experimental evidence that targeting the integration mechanism is the key to alleviate the memory deficit caused by aging. To test this hypothesis, we replicated the experiment designed by Macri, Boisson, and Versace (Manuscript submitted for publication) in which participants were presented with series of 6 drawings that appeared sequentially in a 16-square grid, with the instruction to memorize both the names and the locations of the drawings. After each series, three types of recall could be asked – oral recall of the 6 drawings names (independently of their position), recall of the 6 filled positions out of the 16, and finally a recall consisting in associating each of the 6 drawings to the location in which they appeared at encoding. This paradigm has the unique asset of testing item recall, context recall, and also the recall of the association between an item and its location. We created three action conditions. The first one (NoClick condition) required no motor action on the part of the participants during the presentation of the drawings. The second action condition (BottomClick condition) required the participants to trigger the display of each drawing to be remembered by a mouse click on a rectangle located at the bottom of the computer screen. In this case, the appearance of the drawing was the consequence of the participant's action but the movement was not oriented towards the spatial location of the drawing. In the third and last condition (SquareClick condition), the participants elicited the display of each drawing to be remembered by a mouse click on the square where the drawing was to appear allowing for greater congruency between the movement and the spatial location of the drawing.

In line with the ADH, if older people's memory deficit is caused by the difficulty to associate the different features of an event (weakening of the integration mechanism), then a synchronized action which is thought to boost integration should enhance the encoding of the association between the items and their locations within a memory trace and thus improve recall performance.

Our hypotheses were as follows: a) the oral recall of the item should benefit from the 2 forms of actions because the item is the direct consequence of the action in both cases; b) the recall of the spatial location should only benefit from the action congruent with the location of

the items during their presentation; finally c) the recall of the association between the items and their locations should be improved by both motor conditions, but with performance in the condition that focuses action on the spatial locations of the items (SquareClick) being better than in the condition in which it does not (BottomClick).

7.2. Method

7.2.1. Participants

Among sixteen volunteers, fifteen healthy right-handed elderly (10 women, 5 men; $M = 70.07$ years, $SD = 4.32$) were selected to take part in the experiment. Volunteers were all recruited in Ottawa (Canada) and responded to a community add posted in a local newspaper. Health information was gathered from all volunteers over the phone. People willing to participate but presenting a medical history and or taking medication with known sensory or neurological effects were excluded. All participants who came to the laboratory gave an informed written consent. They all had normal or corrected-to-normal vision (20/20 on a Snellen eye chart). Participants completed the Montreal Cognitive Assessment (MoCA, version 7.1, original version/). The data of one participant who scored under the cognitive threshold set for the MoCA (26/30) were removed from the analysis.

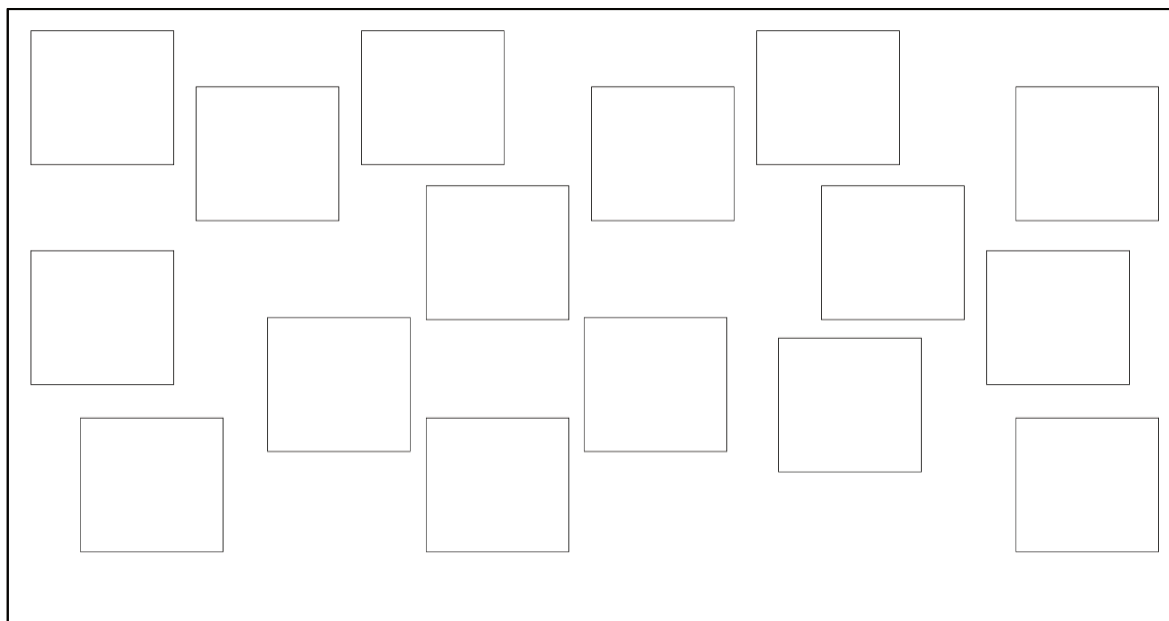


Figure 9 - Irregular 16-square grid used to present the drawings and during Location recall and Item-Location association recall

7.2.2. Stimuli and material

During the task, 39 series of 6 drawings appeared in a 16-square layout displayed on the computer screen (cf. Figure 9). The drawings were taken from the 260-drawing (Snodgrass & Vanderwart, 1980) database. Six drawings were selected for the training phase and 216 for the test phase (see Annex A). The drawings were resized to 200x200 pixels to be presented in the 16-square layout. The drawings vary in term of familiarity and complexity (see Tardif, 2014). Based on Tardif's calculations, using the median value on each factor, the drawings were distributed in such a way that each series of 6 drawings included as many familiar as unfamiliar and as many complex as simple drawings.

Each of the participants was tested in the same room on a DELL computer (Windows Vista) equipped with a 19" monitor (1600 x 900-pixels). The experimental task was designed and administered using OpenSesame (2.8.3 version; Legacy backend: Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2011).

7.2.3. Procedure and design

Upon arrival at the cognitive aging lab at the University of Ottawa, participants were informed of the general purpose and procedure of the experiment and were asked to read and sign the consent form. They first completed the MoCA and then executed the memory task. Each participant was tested individually and the experiment lasted approximately 45 minutes. During the memory task, three series of 6 drawings, each one associated with one of the types of recall used in the experiment, were used for training purposes. After the training phase, 36 series of 6 drawings were used as testing material. The drawings were displayed sequentially for 2000 ms separated by a 500 ms interval. Their locations were randomized with the constraint that, in the same series, two drawings could not occur in the same location. To assess the effect of the nature of the action on recall performances, 3 types of instructions were used. Each type of instruction always applied to a whole series of drawings in order to reduce confusion. In the first condition (SquareClick condition), a red square (40x40 pixels) appeared in one of the 16 squares on the screen and the participants had to click on the red square as soon as it appeared to unveil a drawing. The starting position of the mouse was constantly set to the center of the screen. The red square remained on the screen until the participants had clicked on it and there was no delay between the red square and the drawing. The drawing was displayed for 2000 ms and followed by a 500 ms interval preceding a following red square displayed at another

location. The position of the mouse was reset to the center of the screen after each drawing. The second condition (BottomClick condition) was almost the same as the SquareClick condition, the difference was that the participants had to click on a red rectangle (400x100 pixels) located at the bottom of the screen to trigger the appearance of a drawing in one of the 16 squares on the screen. This rectangle was displayed at the same time as the red square displayed in one of the 16 locations in the grid. The rectangle disappeared when the participants clicked on it. A drawing was displayed for 2000 ms once again followed by a 500s interval. In that condition, the position of the cursor was not reset to the center of the screen after each drawing so that it would remain close to the bottom of the screen to limit hand movement. In these two conditions, a click was necessary to reveal every drawing in the series. In the third condition (NoClick condition), no action was needed and the drawings appeared automatically. Just as in the SquareClick condition and in the BottomClick condition, a red square also appeared for 500 ms in the squares in which the drawings were shown, and disappeared just before the drawing was revealed without any delay between them. The display of the drawing also lasted 2000 ms followed by a 500 ms ITI interval. In that last condition, the mouse cursor was never shown. The red square seen in all conditions was not instrumental in order to follow the instructions in the BottomClick and NoClick conditions but prevented potential differences in attention engagement between the three conditions.

After each series of 6 drawings, on-screen instructions asked the participants to perform one of three possible recalls: item recall, location recall, association recall. For item recall, participants had to tell the experimenter the names of the items depicted in the 6 drawings they just saw. For location recall, an empty 16-square grid was presented and the participants had to click on the 6 squares in which the drawings were located. For association recall, the drawings presented in the series were displayed at the bottom of the screen and the participant was instructed to drag them in the squares in which they were located. The order of the different types of recall was randomized and the same order was used for every participant. Each encoding condition was paired 4 times with each type of recall. The different conditions (type of instruction and type of recall) were randomized with the constraint that no condition could be repeated more than twice in a row. The randomized order was the same for every participant. Whether they were right or left-handed, all the participants chose to manipulate the mouse with their right hand.

7.3. Results

Descriptive statistics for all encoding/retrieval combinations can be found in Table 4. Separate analyses of variance were conducted on the average percentages of correct response for each type of recall, with encoding conditions as within subject factor. As the ANOVAs include repeated measures, generalized eta squared effect size statistic is reported for each significant results (see Bakeman, 2005). Post-hoc comparisons were computed using Tukey's HSD test.

Item recall

When the participants were asked to orally recall the names of the drawings, the analysis revealed a significant effect of action ($F(2, 28) = 7.04, p < .05, \eta_p^2 = .13$). The recall rates were significantly higher in the SquareClick condition (65%) than in the BottomClick (58%), $p < .05$, or NoClick condition (53%), $p < .001$. There was no significant difference between the BottomClick condition and the NoClick condition, $p = .11$.

Location recall

For the recall of the location, the effect of action was deemed not significant, $F(2, 28) = 2.05, p = .15$.

Table 4 - Mean percentages and standard errors for correct responses

	Item recall		Location recall		Association recall	
	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE
SquareClick	65	3,0	67	3,0	52	4,0
BottomClick	58	4,0	60	3,0	32	5,0
NoClick	53	3,0	62	2,0	29	5,0

Note - CA, Correct answers; SE, Standard Errors

Association recall

The analysis revealed a main effect of action on item-location recall, ($F(2, 28) = 11.47, p < .001, \eta^2 = .25$). The recall rate in the SquareClick condition (52%) was significantly higher than in the BottomClick condition (32%), $p < .01$, and the NoClick condition (28%), $p < .001$. Recall rate in the BottomClick condition was not significantly different than in the NoClick condition, $p = .27$.

Additional analyses

In order to compare the effect of action between the different recall conditions, the NoClick recall rate was subtracted from the SquareClick and BottomClick rates for each type of recall. The difference then provided a measure of the effects of action depending on the type of recall. A repeated-measure Type of recall x Action condition ANOVA was applied.

The analysis revealed a main effect of Action, $F(1, 14) = 13.11, p < .01, \eta^2 = .48$, a marginally significant effect of Recall, $F(2, 28) = 2.98, p = .06, \eta^2 = .17$, and a significant action*recall interaction, $F(2, 28) = 3.70, p < .05, \eta^2 = .20$. As illustrated in the results depicted

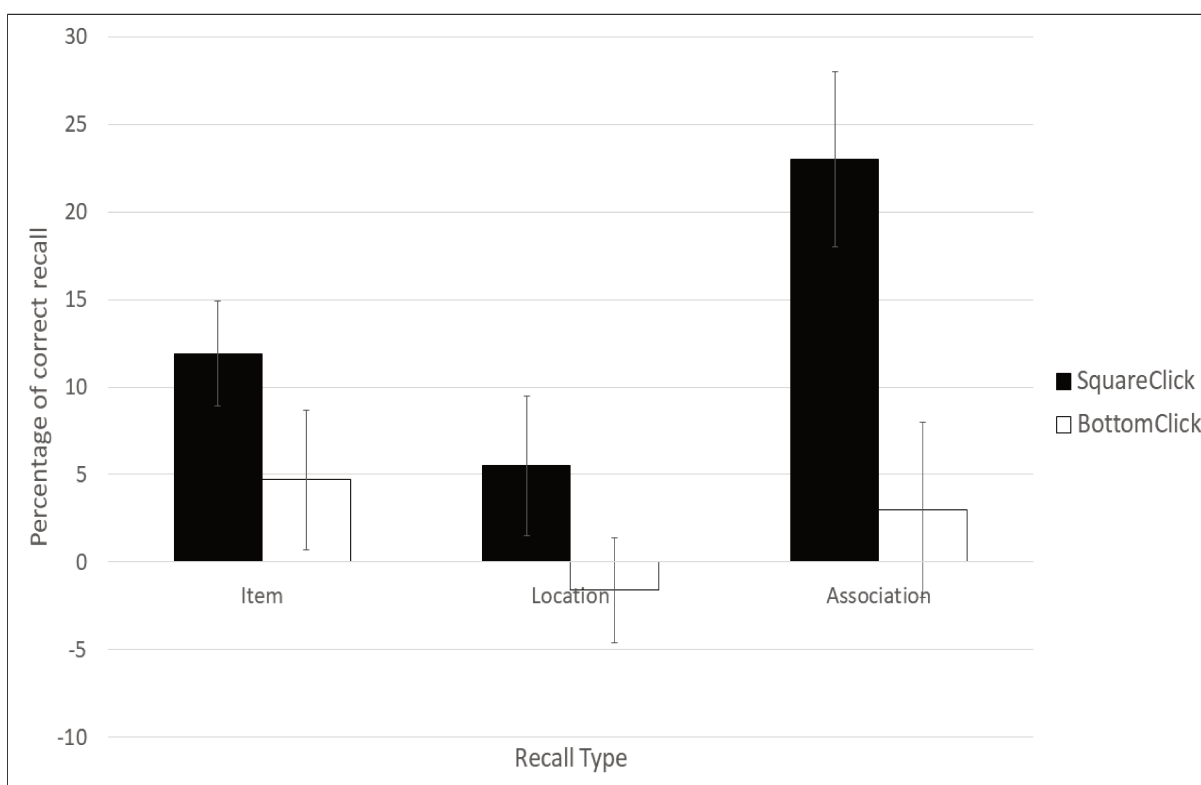


Figure 10 - Differences between the recall rates in the conditions requiring an action (SquareClick and BottomClick) and the control condition (NoClick) depending on the type of recall. Error bars represent standard errors.

in Figure 10, the interaction can be interpreted by the difference between SquareClick and BottomClick being larger for the recall of the association (20%) than for the recall of the item (7%) or the recall of the location (7%).

7.4. Discussion

Our results clearly indicate that, in the two conditions where the participants behaviorally engaged in the display of the drawings, recall of the associations between drawings and locations improved although this action benefit was more important when the participants clicked on the location where the items were displayed. As expected a similar result was observed on the recall of the items. Surprisingly, the effect of action on memory for items location was only marginally significant.

The pattern of results is globally similar to the results observed by Macri, Boisson, and Versace (Manuscript submitted for publication), and offers strong support to the ADH hypothesis. The findings of the current study are also in agreement with the hypothesized integration mechanism as a crucial mechanism for memory efficiency. The current manipulation shows that in a situation where the processing of an event is causally related to an action generated by the encoder, the memory of the features of the event is significantly bolstered.

In the study from Macri, Boisson, and Versace (Manuscript submitted for publication), the effects of action on memory was demonstrated in younger adults. In their experiment, both action conditions improved item memory and association memory, however, the SquareClick condition also led to improved recall of the location, the specificity of that action reinforcing the integration of the drawing to its location. Here a very highly similar pattern of results is seen in older adults. Indeed, the results showed that the impact of the SquareClick condition was greater for the recall of the association between the item and its location on the screen. These findings support the interpretation that action improves memory by targeting preferentially the integration mechanism. Older people are expected to score lower in associative memory test than in an item or position memory tests (Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin et al., 2004). Several authors proposed that integration of the item and integration of the item to its context (here association) rely on dissociated processes (e.g. Johnson, Raye, Schacter, & Scarry, 2000; Kesner, Lee, & Gilbert, 2004; Mather, 2007; Miyashita, 2004). The type of action used in the present experiment – an action that engages the individual towards the event and that holds a causal role towards that event – resulted in better item and association memory. This

action bolstered the integration of all the elements of the trace. The causal action by being oriented towards the location of the item increased the binding the location to the item. It also helps encoding the item itself within the trace. This leads to the interpretation that action has an impact on both item integration and item-context integration mechanisms.

In the present study, contrary to what was observed in Macri, Boisson, and Versace's experiment with younger adults (submitted), the action did not significantly improve location memory for older adults, although its effect were approaching significance. This might be due to the smaller effect size of that manipulation over memory for location in combination with the limited number of participants in our sample.

In conclusion, the improvement of integration thanks to action had, to the extent of our knowledge, never been reported in the literature on older adults' memory performance. The present study which uses motor action is in line with previous findings showing that integration can be enhanced in older adults using emotion (Macri, Pavard, & Versace, Manuscript submitted for publication; Nashiro & Mather, 2010, 2011). All the above strengthens the conclusion that older people's associative memory deficit can be compensated by congruent actions towards the events to be memorized. Thus, congruent behavior responses become a serious candidate to consider in stimulation and remediation technics focusing on memory applicable to older adults.

References

- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37(3), 379–384.
- Bastin, C., Diana, R. A., Simon, J., Collette, F., Yonelinas, A. P., & Salmon, E. (2013). Associative memory in aging: The effect of unitization on source memory. *Psychology and Aging*, 28(1), 275–283. <https://doi.org/10.1037/a0031566>
- Bender, A. R., Naveh-Benjamin, M., & Raz, N. (2010). Associative deficit in recognition memory in a lifespan sample of healthy adults. *Psychology and Aging*, 25(4), 940.
- Brouillet, D., Vagnot, C., Milhau, A., Brunel, L., Briglia, J., Versace, R., & Rousset, S. (2014). Sensory–motor properties of past actions bias memory in a recognition task. *Psychological Research*, 79(4), 678–686. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0600-6>
- Camus, T., Brouillet, D., & Brunel, L. (2016). Assessing the functional role of motor response during the integration process.
- Chalfonte, B. L., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory & Cognition*, 24(4), 403–416. <https://doi.org/10.3758/BF03200930>
- Cohen, R. L. (1989). Memory for action events: The power of enactment. *Educational Psychology Review*, 1(1), 57–80. <https://doi.org/10.1007/BF01326550>
- Craik, F. I., & Jennings, J. M. (1992). *Human memory*.
- Engelkamp, J. (1998). *Memory for actions (Vol. vii)*. Hove, England: Psychology Press/Taylor & Francis (UK).
- Hornstein, S. L., & Mulligan, N. W. (2004). Memory for actions: Enactment and source memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 367–372. <https://doi.org/10.3758/BF03196584>
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Schacter, D. L., & Scarry, E. (2000). Cognitive and brain mechanisms of false memories and beliefs. *Memory, Brain, and Belief*, 35–86.
- Kesner, R. P., Lee, I., & Gilbert, P. (2004). A behavioral assessment of hippocampal function based on a subregional analysis. *Reviews in the Neurosciences*, 15(5), 333–352.
- Light, L. L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 333–376.
- Macri, A., Boisson, A., & Versace, R. (Manuscript submitted for publication). How does action improve memory? An integrated answer.
- Macri, A., Pavard, A., & Versace, R. (Manuscript submitted for publication). The Beneficial Effect of Contextual Emotion on Memory: The Role of Integration.

- Mather, M. (2007). Emotional Arousal and Memory Binding: An Object-Based Framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Miyashita, Y. (2004). Cognitive memory: cellular and network machineries and their top-down control. *Science*, 306(5695), 435–440.
- Nashiro, K., & Mather, M. (2010). How Arousal Affects Younger and Older Adults' Memory Binding. *Experimental Aging Research*, 37(1), 108–128. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2011.536746>
- Nashiro, K., & Mather, M. (2011). The effect of emotional arousal on memory binding in normal aging and Alzheimer's disease. *The American Journal of Psychology*, 124(3), 301.
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1170.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., & Shulman, S. (2004). Older adults' associative deficit in episodic memory: Assessing the role of decline in attentional resources. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1067–1073.
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003). Adult age differences in episodic memory: further support for an associative-deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 826.
- Nyberg, L., & Nilsson, L.-G. (1995). The role of enactment in implicit and explicit memory. *Psychological Research*, 57(3–4), 215–219. <https://doi.org/10.1007/BF00431282>
- Ouwehand, K., Gog, T. van, & Paas, F. (2016). Effects of pointing compared with naming and observing during encoding on item and source memory in young and older adults. *Memory*, 24(9), 1243–1255. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1094492>
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 6(2), 174–215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.2.174>

- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The Role of Emotion in Multimodal Integration. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (21, Vol. 1, 2007).
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>

Condensé de l'article

Introduction – Forte des résultats obtenus dans l'étude sur les effets de l'action sur l'intégration présentée dans le chapitre 3, cette étude avait pour objectif d'investiguer si l'effet bénéfique de l'aspect causal d'une action pouvait réduire le déficit associatif observé chez les personnes âgées (Naveh-Benjamin, 2000), déficit s'exprimant notamment par une moins bonne intégration d'une information à ses propriétés contextuelles. Pour cela, nous avons employé le même paradigme en manipulant différentes actions déclenchant l'apparition des stimuli et observé leurs effets sur l'intégration des propriétés d'un item, l'intégration des propriétés contextuelles et l'intégration item-contexte chez des participants âgés.

Méthode - Des séries de 6 dessins étaient présentées au sein d'une matrice irrégulière de 16 cases. Les dessins étaient affichés séquentiellement dans 6 des cases de la matrice. Dans une première condition, un carré rouge apparaissait dans une des 16 cases et le participant devait cliquer dans cette case afin d'y faire apparaître un dessin (Condition SquareClick). Le dessin restait affiché durant 2000ms puis disparaissait et un nouveau carré rouge apparaissait dans une autre case de la matrice. Dans une seconde condition, les participants déclenchaient l'apparition de chaque dessin, non pas en cliquant dans une case de la matrice, mais en cliquant sur un rectangle rouge en bas de l'écran (Condition BottomClick). Enfin, une troisième condition servait de contrôle. Les dessins apparaissaient automatiquement dans la matrice sans qu'aucune action ne soit demandée de la part des participants. Une fois les 6 dessins d'une série passés, les participants étaient invités à effectuer l'un des 3 rappels suivant : a) le rappel oral du nom de ce que représentaient les dessins (item) ; b) le rappel des positions occupées par les dessins dans la matrice en cliquant à l'aide de la souris d'ordinateur dans les cases d'une matrice vierge qui apparaissait à l'écran; et enfin c) le rappel de l'association entre les dessins et leurs positions en cliquant sur les dessins et en les déposant dans les cases correspondantes à l'aide de la souris.

Résultats – Les résultats montrent que seule la condition SquareClick a permis d'améliorer les capacités d'intégration des participants. Les effets de cette condition s'observent à la fois lors du rappel de l'item et du rappel de l'association mais pas lors du rappel des positions. L'effet de cette condition par rapport à la condition BottomClick est plus marqué pour le rappel de l'association que pour le rappel de l'item.

Conclusion – Cette étude montre que l'action peut être envisagée comme moyen d'améliorer les capacités d'intégration des personnes âgées et qu'elle permet de pallier le déficit associatif rencontré dans cette population.

Chapitre 5

8. The Beneficial Effect of Contextual Emotion on Memory: The Role of Integration

Anthony Macri¹, Amélie Pavard^{1,2} & Rémy Versace¹

¹Laboratoire EMC, Université Lumière Lyon 2 (France)

²Dispositif de Soins et de Réadaptation Psycho-Sociale, Centre
Psychothérapique de l'Ain (France)

Article accepté pour publication dans *Cognition & Emotion* - 2017

Abstract

This study investigates the effects of emotion on the integration mechanism which binds together the components of an event and the relations between these components and encodes them within a memory trace (Versace et al., 2014). Based on the literature, the authors argue that, in a memory task, contextual emotion could strengthen the integration mechanism and, more specifically, the relations between a target item and its contextual features. To test this hypothesis, the authors used two odorants (neutral and negative) to compare the effects of a negative context with those of a neutral one on three different types of recall: item recall (memory for pictures objects), source recall (spatial position of the pictures in a matrix) and recall of the association between an item and its location. The results showed that, in the negative odor context, association recall and source recall - but not item recall - were better than in the neutral odor context thus confirming the effect of emotion on integration. The results lead to the hypothesis that the effects of emotion on memory are linked to the way emotion is introduced into the experimental settings: via the items to be memorized or via the context.

Key words: Emotion, Memory, Integration, Act-in.

8.1. Introduction

Many studies investigated the effect of emotion on memory performance (EEM). However, depending on the methodology used, different results have been observed. To better understand the origin of the effects of emotion, it seems necessary to distinguish studies which introduce emotion via the stimuli to be memorized and those in which emotion is a property of the context. A second distinction is the one between the three different kinds of memory that are evaluated most often: item-memory, source-memory (memory for peripheral information) and memory for the association between item and source.

The literature so far has focused on emotion introduced by the stimuli central to the task. Typically, participants are asked to remember stimuli that are either neutral or emotional. The literature agrees on the fact that emotional stimuli elicit better item-memory performance than neutral ones (Adelman & Estes, 2013; Kensinger & Schacter, 2006). Concerning source memory for emotional items, studies report either enhanced memory (D'argembeau & Van der Linden, 2004; Mather & Nesmith, 2008), no effect (Touryan et al., 2007) or worse memory for contextual details (Cook, Hicks, & Marsh, 2007). As for association memory, findings show that it is clearly impaired when an emotional item is part of the association to be remembered (Rimmele, Davachi, Petrov, Dougal, & Phelps, 2011; Touryan et al., 2007). Mather (2007) unified the findings on the EEM with an object-based framework which states that "emotionally arousing objects attract attention that enhances binding of their constituent features. In contrast, the emotional arousal associated with one object either impairs or has no effect on the associations between that object and other distinct objects or background contextual information."

It is worth keeping in mind that the definition of source information is a blurry one. Source information can be the font color in which words are written (D'argembeau & Van der Linden, 2004; Doerksen & Shimamura, 2001), the spatial locations of the items (D'argembeau & Van der Linden, 2004), the task performed (Kensinger & Schacter, 2006a) or the modality in which stimuli were presented (i.e. visual vs auditory) (Cook et al., 2007). In the present study, following Johnson, Hashtroudi, and Lindsay (1993), we considered spatial location as contextual/source information.

With regard to research that investigated the effects of emotion introduced as contextual information, the best-known is undoubtedly that of Bower (1981). Bower called "mood-state dependent retrieval" the more effective retrieval of information when the emotional state at the

time of retrieval is similar to the emotional state at the time of memorization (e.g., Eich, Macaulay, & Ryan, 1994). The phenomenon described by Bower is very similar to context effects commonly observed in memory research (see Godden & Baddeley, 1975). When performed in a similar context as encoding, retrieval is enhanced as compared to when performed in a different context than encoding. The explanation of these effects is not specific to the emotion.

Studies introducing emotions as contextual information also investigated the influence of this type of introduction on item, source and association memory. Wang (2015) asked participants to learn lists of words (item-memory) read by a man or woman (source-memory). After the learning phase, the participants watched a neutral or a negative video. Then, they had to recall the words and the gender of the person who had said them. The results showed a beneficial effect of the negative emotion on item-memory but no effect on source-memory. The authors explained the effects on item-memory in terms of amygdala-dependent mechanisms but did not give any satisfactory explanation for the lack of effect on source-memory. Moreover, emotion was introduced after the presentation of the stimuli and was not really a contextual/source feature as it was not presented simultaneously with the target stimuli. To our knowledge, the literature on that kind of emotional introduction is not vast enough to identify a clear pattern concerning item, source and association memory. One of the objectives of the present study was therefore to investigate further the influence of emotion as a contextual information on item, source and association memory.

Surprisingly, the studies on the EEM conducted to date have only very rarely focused on the mechanisms thought to play a significant role in memory efficiency. The literature on episodic memory, shows that memory efficiency is highly dependent on the link between the different features making up a memory trace (see Versace, Nevers, & Padovan, 2002). The strength of this link depends on the efficiency of the integration mechanism, a mechanism central in Act-In, a memory model proposed by Versace and collaborators (Versace et al., 2014). Act-In assumes that the re-emergence of specific traces in memory depends on the level of integration of the features within the trace. A memory trace reflects all the sensory properties of past experiences. The information processed during the event is stored in the brain areas involved in the processing of that information. For example, visual processing leaves a trace in the visual cortex. Thus, the visual properties and all the other properties extracted from the event make up a trace. The features of the trace are all the components of the experience encoded by the trace; that is to say they include both the target elements and

contextual information. In discriminant activities (see Versace et al., 2014; Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009) where the emergence of episodic knowledge is required, memory efficiency is defined by the probability of the present situation to reactivate the traces stored in memory which are relevant for the present situation. The likelihood that a trace can be specifically reactivated depends on the level of integration of the components of the trace.

Among the factors likely to strengthen the integration of the various elements in an experience, Versace et al. (2014) mentioned emotion. However, only a few behavioral studies to date have specifically tested the role of emotion in integration. Versace and Rose (2007) conducted an experiment in which the participants, in a learning phase, judged the degree of association between pictures and sounds presented simultaneously with them. Each picture/sound pair was preceded by a neutrally or negatively-valenced picture. In the test phase, the same pictures were presented, either associated with the same or with a different sound from that used in the first phase. The participants had to indicate whether the picture and the sound were congruent or not. The results revealed that when an old picture was presented with the same sound as in the encoding phase, reaction times were shorter in the negative than in the neutral encoding condition, showing that the encoding condition affected the strength of the link between the picture and the sound. Earles, Kersten, Vernon and Starkings (2016) studied the impact of emotion on item and associative memory. Participants watched individuals perform positive neutral or negative actions and their memory for the actions and the person who performed them was tested in a recognition task. Memory for the action was enhanced by emotion but emotion did not improve memory for the person performing the action. As emotion came from the action performed it is consistent that it did not improve memory for the person that performed as that person is considered as source information (see Wang, 2015). Bisby and Burgess (2014) conducted a series of experiments. The first experiment was consistent with Mather's (2007) object-based framework. In the second experiment, neutral or negative pictures were presented with four different background contexts (landscapes), two out of the four contexts were associated with the threat of a mild electric shock and were considered as negative contexts. Memory for context information was impaired by the negative backgrounds compared to the neutral backgrounds. The interpretations of the results of the second experiment rise two objections a) it is only after categorizing an item as "old" that participants are asked to recognize the background associated with the item which does not give any information on the impact of negative information on memory for contextual information alone ; and b) the negative background is part of the visual scene along with the central item, this background can then pull

attention from the item and explain why memory for the association is impaired and with no indication on memory for the context alone it is difficult to argue against that interpretation.

The present study was designed to confirm the role of emotion on the integration mechanism, while trying to differentiate between the integration of the components of target items (item memory) and the integration of target items with their contextual features (source memory). Emotion was introduced by the context, and was induced at the same time as the items were presented. Odorants were used (see Ehrlichman & Bastone, 1992; Royet et al., 2000) to introduce a context that was completely separated from the item or the contextual information that would be the object of the memory task in order to avoid the objection risen after Bisby and Burgess's (2014) study. Since the emotion was more closely related to the context and was totally independent of the target information, we expected that it would facilitate the memorization of contextual information and the integration of contextual information and target information.

To test these hypotheses, we designed an experiment inspired by Tardif (2014) that had the advantage of testing item recall, source recall and recall of the association between an item and its position.

8.2. Method

8.2.1. Participants

Twenty-four non-smoking students (12 women and 12 men; $M = 20.87$ years, $SD = 1.78$) at the University of Lyon 2 volunteered to take part in the experiment. All of them gave their written consent. They all had normal or corrected-to-normal vision and didn't present any neurological or psychiatric disorder or any olfactory disorder.

8.2.2. Stimuli and material

A pre-test was conducted in order to select the stimuli. A total of 360 pictures (551x551 pixels)² were rated for valence (pleasant/unpleasant), and arousal (high arousal/low arousal) by 20 students (10 women and 10 men; $M = 22.6$ years, $SD = 3.10$) on a 7-point Likert-type scale.

². Sava, A., & Chainay, H. (in prep). In this study, 30 participants (24 women and 6 men) from 18 to 30 years old ($M = 22.47$; $SD = 3.03$) were asked to denominate 987 pictures, to rate them in terms of arousal and valence, and to classify them in natural or manufactured objects.

Finally, 192 neutral pictures with a low level of arousal were selected (equal number of manufactured and natural objects) (see Annex B). All the pictures were resized to 200x200 pixels to be presented in the square grid during the experiment. The emotional context was performed using two flasks of odorous molecules (caraway seed; Carvone-d; 16724; 1.96% for the neutral odorant; and alcohol; 1-Decanol; 8174; 50.91% for the negative odorant). These were selected after a pre-test phase³ involving 10 participants who characterized them in terms of their emotional valence (pleasant odor/unpleasant odor) on a 9-point Likert scale (1 = very unpleasant; 9 = very pleasant). Odor including Decanol (M = 1.80; SD = 0.79) was judged as significantly more unpleasant than the odor including Carvone-d (M = 5.10; SD = 0.99), $F(1,9) = 97.04, p < .001$. The experiment was conducted on a Macintosh iMac 27". OpenSesame software (Mathôt et al., 2011) was used to set up and run the experiment.

8.2.3. Procedure and design

Each participant was tested individually for 30 minutes. Twenty-four series of eight pictures were presented randomly in a 16-square grid arranged in a similar way to Corsi's block layout. Each picture remained on the screen for 2000 ms and the inter-stimuli interval was 500 ms. The participants were instructed to remember both the pictures and their locations. After each series

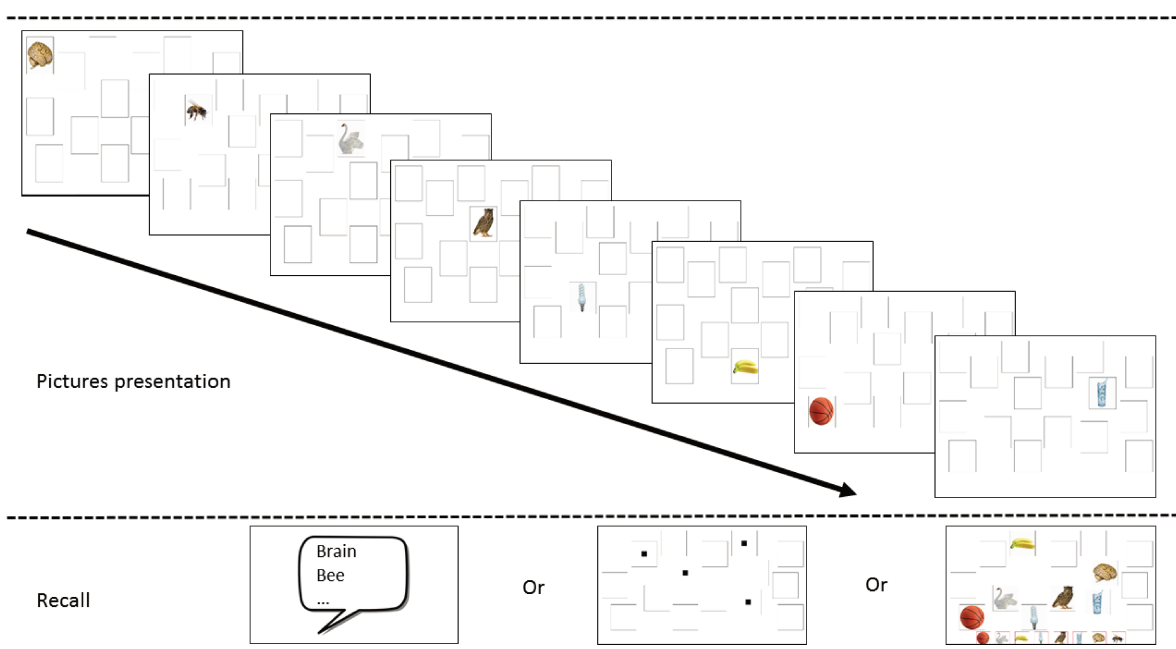


Figure 11 - Representation of an experimental trial. Eight pictures are shown sequentially in a 16-square grid and followed by one of three types of recall: Item recall, Source recall, or Association recall.

³. The pre-test phase was conducted by Adrien Sauli, student at the University of Lyon 2.

of eight pictures (see Fig. 11), the subjects either had to say aloud the names of the pictures independently of their position (“Item recall”), or to click on the eight squares (out of the 16) where the pictures had appeared (“Source recall”), or to drag the eight pictures displayed again at the bottom of the screen to the squares in which they had been displayed (“Association recall”). Only one type of recall was asked after each series of pictures. Twenty-four series were presented, i.e. eight series associated with each of the three kinds of recall. For each type of recall, half of the eight series were associated with a neutral odor and the other half with a negative odor. The pictures in each series were presented in a random order for each participant. The same type of recall could not be repeated more than twice in succession. Half of the participants performed the first 12 series with the negative odor and the last 12 series with the neutral one. This order was reversed for the other half. After they inhaled the odorant flask, the participants placed their heads on a chinrest and the flask containing the odor was placed under their noses so that they could inhale the odorant while performing the whole task. After completion of the first 12 series, the odorant flask was removed and the participants had to rate the odor in terms of valence on a 7-point Likert scale (1 = neutral; 7 = very unpleasant). A few minutes later, the participants performed the last 12 series following the same procedure but with the second odorant flask. For each series, the odor was presented during the presentation of the pictures as well as during the recall phase. Each picture was associated with each odor and each type of recall across participants. The participants were familiarized with the task by means of a training phase in which the three types of recall were required.

8.3. Results

Results are presented in Table 5. The negative odor was rated as more unpleasant ($M = 5.58$; $SD = 1.14$) than the neutral one ($M = 2.12$; $SD = 1.11$), ($t(1, 46) = 10.63$; $p < .001$). For each type of recall, analyses of variance were performed on percentages of correct recall with emotional context as within-subjects factor.

Table 5 - Mean percentages and standard errors for correct responses

	Item recall		Source recall		Association recall	
	<i>CA (%)</i>	<i>SE</i>	<i>CA (%)</i>	<i>SE</i>	<i>CA (%)</i>	<i>SE</i>
Neutral context	59	3,4	44	3,2	37	3,1
Negative context	61	3,3	49	2,3	53	2,1

Note - CA, Correct answers; SE, Standard Error

Item recall

No significant difference in recall performance was revealed between pictures presented under the negative context (61%) and pictures presented under the neutral one (59%) ($F < 1$).

Source recall

Recall rate was higher for pictures presented under the negative context (49%) than for pictures presented during the neutral context (44%), [$F(1,23) = 6.43$; $p < .05$; $\eta^2 = .08$].

Association recall

Recall of the associations of pictures and locations was better when pictures were presented under the negative context (53%) than the neutral one (37%) [$F(1,23) = 39.53$; $p < .001$; $\eta^2 = .26$].

8.4. Discussion

The main results of this study are: a) the recall of the association between the pictures and their locations was better when the participants were exposed to a negative odorant than when exposed to a neutral one; b) a similar effect of emotions was observed on the recall of the location of the pictures; c) no effect of emotion occurred for the recall of the items.

With regard to the effect of emotion on the association between the pictures and their locations, this confirms our hypothesis that, compared to a neutral context, an emotional context can facilitate the integration of target items with their contextual features. As the Act-In model states, the more integrated the features are, the more likely it is that the reactivation in memory of one of the elements would trigger the reactivation of elements that are strongly linked to it. This result also confirms that the features that are integrated in the trace include both the target elements and contextual information.

If contextual emotion favours the encoding of the trace, it may also explain why the recall of items alone did not benefit from encoding in the negative emotion condition. However, reports in the literature suggest that when emotion is introduced by means of the target items, it has a beneficial effect that more specifically affects the encoding and retrieval of these items.

The absence of an effect of emotion on the recall of the items alone might seem to contradict the observation of an effect of emotion on the recall of the locations. However, it is necessary to point out two differences between the recall of the items and the recall of the positions in our experiment: a) the position constitutes contextual information relative to the items and is not a property of the stimuli, and b) unlike the recall of the items, “Source recall” was more a recognition task than a recall task given that the grid was displayed during recall. Consequently, the simple fact that the negative emotion facilitated the encoding of the associations between the items and their positions can explain why the 8 positions (out of 16) in which an item was presented were identified so frequently.

Our hypothesis that the EEM operates via the integration mechanism is compatible with an explanation of emotional effects in terms of attentional mechanisms or arousal enhancement. The literature on attention has shown the importance of attentional mechanisms in integration (for a discussion, see Versace et al., 2014). As far as memory for the location of pictures is concerned, Rimmele, Davachi, and Phelps (2012) demonstrated memory for spatial location of negative pictures to be better than memory for neutral pictures. However, Mather and Neshmuth (2008) showed that participants were more likely to remember the locations of emotionally arousing pictures than the locations of non-arousing pictures. Because this effect occurred for both positive and negative arousing pictures, the author suggested arousal – and not valence – to be the critical factor. Moreover, Mather and Neshmuth (2008, p.13) underline the key role played by the amygdala in supporting attentional advantages for emotional stimuli. However, in both studies, emotion came from the stimuli whereas in the present study emotion was a contextual feature. From our results rises the hypothesis that the attentional advantages

supported by the amygdala do not only occur when the emotion comes from the stimuli but also when emotion is part of the context.

Possible limits to the present study should be addressed. First, as the odorant is present both at encoding and retrieval, one might think the mood congruency effect (Bower, 1981) could play a role, with negative emotion being a more salient context or memory cue that bolsters retrieval. However, two elements go against this interpretation. Firstly, each odorant is presented both at encoding and retrieval. So theoretically, in both conditions, the participant's mood is the same at encoding and retrieval. Thus, there is no reason to think that the mood congruency effect would apply more in one condition than in the other. Secondly, regarding the fact that the negative emotion might be a more salient context. This does not weight against the integration interpretation. Even if the negative emotion is a more salient context, it improved only Source and Association recalls - and not item recall - showing that only item-context integration was enhanced by the contextual emotion. The second limit revolves around the three retrieval tasks. We called them item, source and association recall but only the first one consist of a true recall task when the last two are more recognition tasks. Because of the difference, retrieval type could not be used as a factor in the statistical analyses which obscures a clear comparison between the tasks. This can be fixed using only recognition tasks.

To conclude, this study shows that the explanation, at the memory level, of the EEM is not centered on attention or arousal, but on integration. Emotion favors the encoding of the trace. Moreover, it seems important, when studying emotions, to differentiate the integration of the components of target items (item memory) from the integration of target items together with their contextual features (source memory) and to differentiate emotion coming from the stimuli from coming from the context. We have shown that when emotion is introduced by means of the contextual information and not by the target stimuli to be memorized, it may have specific effects that relate more to contextual components than they do to target items.

References

- Adelman, J. S., & Estes, Z. (2013). Emotion and memory: A recognition advantage for positive and negative words independent of arousal. *Cognition*, 129(3), 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.014>
- Bisby, J. A., & Burgess, N. (2014). Negative affect impairs associative memory but not item memory. *Learning & Memory*, 21(1), 21–27.
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129–148. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.36.2.129>
- Cook, G. I., Hicks, J. L., & Marsh, R. L. (2007). Source monitoring is not always enhanced for valenced material. *Memory & Cognition*, 35(2), 222–230.
- D'argembeau, A., & Van der Linden, M. (2004). Influence of affective meaning on memory for contextual information. *Emotion*, 4(2), 173.
- Doerksen, S., & Shimamura, A. P. (2001). Source memory enhancement for emotional words. *Emotion*, 1(1), 5.
- Earles, J. L., Kersten, A. W., Vernon, L. L., & Starkings, R. (2016). Memory for positive, negative and neutral events in younger and older adults: Does emotion influence binding in event memory? *Cognition and Emotion*, 30(2), 378–388.
- Ehrlichman, H., & Bastone, L. (1992). Olfaction and emotion. In *Science of olfaction* (pp. 410–438). Springer.
- Eich, E., Macaulay, D., & Ryan, L. (1994). Mood dependent memory for events of the personal past. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 201.
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of Psychology*, 66(3), 325–331.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3–28. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
- Kensinger, E. A. (2009). What factors need to be considered to understand emotional memories? *Emotion Review*, 1(2), 120–121.
- Kensinger, E. A., Garoff-Eaton, R. J., & Schacter, D. L. (2007). How Negative Emotion Enhances the Visual Specificity of a Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1872–1887. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.11.1872>
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006a). Amygdala activity is associated with the successful encoding of item, but not source, information for positive and negative stimuli. *Journal of Neuroscience*, 26(9), 2564–2570.

- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006b). When the Red Sox shocked the Yankees: Comparing negative and positive memories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 757–763.
- Mather, M. (2007). Emotional Arousal and Memory Binding: An Object-Based Framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Mather, M., & Nesmith, K. (2008). Arousal-enhanced location memory for pictures. *Journal of Memory and Language*, 58(2), 449–464.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Rimmele, U., Davachi, L., Petrov, R., Dougal, S., & Phelps, E. A. (2011). Emotion enhances the subjective feeling of remembering, despite lower accuracy for contextual details. *Emotion*, 11(3), 553.
- Rimmele, U., Davachi, L., & Phelps, E. A. (2012). Memory for time and place contributes to enhanced confidence in memories for emotional events. *Emotion*, 12(4), 834.
- Royet, J.-P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O., & Gervais, R. (2000). Emotional responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience*, 20(20), 7752–7759.
- Tardif, S. (2014). *Processus associatifs en mémoire épisodique dans le vieillissement normal et dans le trouble cognitif léger de type amnésique*. University of Laval.
- Touryan, S. R., Marian, D. E., & Shimamura, A. P. (2007). Effect of negative emotional pictures on associative memory for peripheral information. *Memory*, 15(2), 154–166. <https://doi.org/10.1080/09658210601151310>
- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Groupe de Boeck.
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The Role of Emotion in Multimodal Integration. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (21, Vol. 1, 2007).
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>

Wang, B. (2015). Negative emotion elicited in high school students enhances consolidation of item memory, but not source memory. *Consciousness and Cognition*, 33, 185–195.

Condensé de l'article

Introduction – Cette étude partait des propositions de Mather (2007) selon lesquelles les effets bénéfiques sur l'intégration d'une émotion issue des stimuli centraux lors d'une tâche étaient restreints à l'intégration des propriétés de ces stimuli et émettait l'hypothèse selon laquelle l'intégration des propriétés contextuelles d'un événement pourrait être favorisée par la présence d'une émotion véhiculée par le contexte. Pour tester cette hypothèse, nous avons de nouveau employé un paradigme nous permettant d'évaluer les capacités d'intégration des propriétés des items, d'intégration des propriétés contextuelles et d'intégration item-contexte tout introduisant une valence émotionnelle négative par le biais d'une odeur.

Méthode – Des séries de 8 images neutres étaient présentées dans une matrice de 16 cases. Les images étaient affichées séquentiellement et chaque image restait à l'écran durant 2000ms avant de disparaître et que l'image suivante apparaisse dans une autre case de la matrice. Après chaque série d'image les participants rappelaient soit a) les images qu'ils avaient vues en énonçant à voix haute le nom des objets dépeints par les images (Rappel item), soit b) les positions occupées par les images lors de la présentation de la série en cliquant à l'aide la souris d'ordinateur sur les cases correspondantes dans une matrice vierge, soit c) l'association entre les images et leurs positions en cliquant sur les images – affichées de nouveau en bas de l'écran – et en les déposant dans les cases correspondantes d'une matrice vierge. Deux valences émotionnelles s'opposaient: une neutre et une négative. Ces valences étaient amenées par des odeurs contenues dans fioles positionnées sous le nez des participants alors qu'ils réalisaient l'expérience. La première moitié des essais expérimentaux (8 images + rappel) était effectuée en présence de l'odeur neutre et la seconde moitié en présence de l'odeur négative. Cet ordre était bien entendu contrebalancé entre les participants.

Résultats – Les résultats ont montré que l'odeur négative améliorait le rappel des associations entre images et positions ainsi que le rappel des positions seules mais aucun effet de l'odeur n'a été observé dans le rappel de l'item.

Conclusion – Cette étude montre que la façon dont une émotion est introduite lors des paradigmes expérimentaux influence grandement les effets obtenus sur les performances en mémoire. Une valence négative contextuelle influence ainsi de façon bénéfique l'intégration des informations contextuelles à l'item central. Ces résultats sont encourageants et laissent penser qu'une émotion contextuelle pourrait réduire le déficit associatif rencontré chez les personnes âgées (Naveh-Benjamin, 2000).

Chapitre 6

9. Memory integration of perceptually absent features through emotions in young and older adults

Anthony Macri¹, Sylvain Gagnon² & Rémy Versace¹

¹Laboratoire EMC, Université Lumière Lyon 2 (France)

²School of Psychology, University of Ottawa, Ottawa, Canada

Article soumis dans le *Canadian Journal of Experimental Psychology* -
2017

Abstract

Research on episodic memory reports the existence of two types of binding: the binding of the different features of a central item (item integration) and the binding of the central item to its contextual features (item-context integration). Older adults show lower memory performance when compared to young adults especially in task soliciting item-context integration, whereas item-integration seems relatively preserved. The aim of the present study was a) to assess item integration of perceptually absent features and their impact on memory performance and b) to evaluate the possible impact of aging on this type of integration. Memory for the central items processed by the participants during the task they performed was assessed along with memory for the location of the items (independently from the items) and memory for the associations between items and locations. The results show that item-integration of perceptually absent features is improved by emotional processing and that this effect is preserved with old age.

Keywords: Memory, Binding, Emotion, Aging.

9.1. Introduction

Research has shown that the efficiency of episodic memory is highly dependent on the binding of the different features that make up an event within its memory trace (Tulving, 1984; Versace et al., 2002; B. W. Whittlesea, 1987). Two types of binding have been postulated. On the one hand, there is the binding of the different features (shape, color, etc...) of a central item (item integration) and on the other the binding of the central item to its contextual features, for example its location, the task that is performed on it, the mode of presentation of the item (visual vs. auditory), etc... (item-context integration) (e.g. Cook, Hicks, & Marsh, 2007; D'argembeau & Van der Linden, 2004; Doerksen & Shimamura, 2001; Kensinger, Garoff-Eaton, & Schacter, 2007). The literature suggests that these two types of integration rely on dissociated processes (for reviews, see Johnson, Raye, Schacter, & Scarry, 2000; Kesner, Lee, & Gilbert, 2004; Mather, 2007; Miyashita, 2004).

Interestingly, the arguments in favor of this dissociation are mainly found in works on memory and aging. Memory declines with age (e.g., Craik & Jennings, 1992) and episodic memory seems to be especially vulnerable (e.g., Light, 1991). Several authors have argued that the decline in episodic memory is caused by a deficiency in item-context integration (Chalfonte & Johnson, 1996; Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin, Guez, Kilb, & Reedy, 2004). This deficiency translates into poorer memory performance in associative memory tasks in which memory for the association between a central item and a contextual peripheral information is impaired whereas memory for the central item is preserved. Even though strong empirical data came to support these theories over the years, it focused on the binding of information to contextual elements and did not address in detail the binding of the features of an item. Indeed, when taking a closer look to the literature, most research examined perceptually present features (see Mather, 2007) and features reactivated in memory by the present situation are overlooked. Thus, one of the objectives of this study will be to investigate the impact of perceptually absent features on recall performance in regards to the integration in memory of such features. According to Versace et al., (2014), the features of past experiences reactivated in memory are essential so that the individual can use these experiences and behave adaptively towards the current situation. Moreover, when they are reactivated by the current situation their impact on cognitive processes is very similar to that of perceptually concrete features and influence memory efficiency (e.g. Rey, Vallet, Riou, Lesourd, & Versace, 2015; Rey, Riou, Muller, Dabic, & Versace, 2015). Versace et al. (2014) argue that the re-emergence of specific traces in memory depends on the level of integration of the different features within

the trace. The more integrated the features are, the more likely it is that the trace will be dissociated from other traces and therefore be retrievable. The different features of an event, or of an item generates neuronal activation in the cerebral areas responsible for their processing and are integrated and linked to one another within the trace.

Versace et al., (2014) also propose that the influence of several factors known to impact memory efficiency may target the integration mechanism. Versace, Labeye, Badard, and Rose (2009) insist on the intricate relations between memory and emotions based on the involvement of cerebral structures in both memory and emotional processes such as the prefrontal cortex and the amygdala. One can then assume that emotional processing could improve the integration of the different features of an event. With this objective in mind, Versace & Rose (2007) conducted an experiment in which the participants had to judge the degree of association between pictures of objects or animals and sounds presented simultaneously with them in the learning phase. A picture with a negative or a neutral valence preceded each picture/sound pair. In the test phase, the same object or animal pictures were presented, either associated with the same sound as in the first phase or associated with a novel sound. The participants had to indicate whether the picture and the sound were congruent or not. The results revealed that when an old picture was presented with the same sound as in the encoding phase, reaction times were shorter in the negative than in the neutral encoding condition, showing that the encoding condition influenced the strength of the association between the picture and the sound. However, Versace and Rose (2007) used a task requiring the judgment of the congruency between an image and a sound rather than a memory task in the strict sense. These results are interesting and show that emotions do have an impact on integration. However, this remains to be investigated in older adults within a memory context.

Concerning the impact of emotion on memory in older adults several reports can be found in the literature (Mather & Ponzio, 2015; Waring & Kensinger, 2009). Most studies examining emotion and memory used experiments in which emotion was conveyed by the stimuli central to the task. Typically, participants are asked to remember stimuli that are either neutral or emotional. Then three types of memory are usually tested. First, memory for the item itself either through recall or recognition. Second, memory for the contextual information independently from memory for the item. Contextual information, sometimes called source information, ranges from the location of the stimuli, or the task the participants had to perform on them, to the modality in which the stimuli were presented (auditory, visual, etc...). Third, memory for the association between the items and the contextual information that was

associated to them. The literature agrees on the fact that emotional stimuli elicit better memory performance than neutral ones (e.g. Adelman & Estes, 2013; Kensinger & Schacter, 2006). The reports about memory for contextual information are mixed. Some studies show a beneficial effect of emotional stimuli on memory for contextual information (e.g. D'argembeau & Van der Linden, 2004; Mather & Nesmith, 2008; Rimmele, Davachi, & Phelps, 2012), while some report no effect (e.g. Touryan et al., 2007) or even a detrimental effect (e.g. Cook, Hicks, & Marsh, 2007; Kensinger, Garoff-Eaton, & Schacter, 2007). In regards to memory for associations, findings show that it is clearly impaired when an emotional stimulus is part of the association (e.g. Kensinger et al., 2007; Mather, 2007). Mather (2007) unified the findings about emotional processing and memory within an object-based framework. When the emotion is part of the stimuli central to the memory task these "emotionally arousing objects attract attention that enhances binding of their constituent features. In contrast, the emotional arousal associated with one object either impairs or has no effect on the associations between that object and other distinct objects or background contextual information." Another framework (e.g. Kensinger, 2009a, 2009b) hypothesizes that rather than arousal (i.e. the level of physiological activation triggered by an emotion) it is the negative valence that enhances binding of internal features of an item. However, this negative valence has no influence on the processing of external (peripheral) features of the item.

The aim of the present study is threefold. First, we wanted to assess the impact of negative valence introduced by the stimuli on recall of the item, of the contextual information and of the association between the two in young and older adults to replicate the findings showing that emotional processing introduced by the stimuli benefit only to memory for those stimuli and not to source or association memory. Then, we wanted to examine if that emotional processing improved item-integration of perceptually absent features reactivated by the item at encoding by evaluating the effect of this type of feature on recall performance. Finally, we wished to investigate whether item-integration of perceptually absent features was impaired or not with aging.

In order to test the above hypotheses,, we used an experimental design inspired by Naveh-Benjamin (2000) and Tardif (2014) in which series of 8 pictures that appeared sequentially in a 16-square grid were presented to participants. They were asked to memorize both the pictures and their locations on the grid. Half of the series of pictures were made up of negatively valenced pictures whereas the other half was made up of neutrally valenced pictures. In each trial, half of the pictures were highly associated to a sound (AS items) and the other half

was not associated to a sound (NAS items). This auditory feature represented the perceptually absent features. After each series of 8 pictures, the participants could be asked to perform one of three types of recall – oral recall of the names of the 8 pictures (independently of their position), recall of the 8 positions (out of 16) in which the pictures were presented, and, finally, a recall consisting in associating each of the 8 pictures with the position at which they were shown.

Following the prediction from the literature, recall performance was expected to be higher for younger adults than for older adults. This main effect of age was anticipated in each type of recall but should be stronger in association recall. If item integration is impaired in old age, recall rate for AS items should be higher than for NAS items only in young but not in older adults. Finally, if negative valence enhances item integration, negative AS items should be better recalled than negative NAS items. As for source recall, both young and older adults should recall the locations of negative pictures better than the locations of neutral ones.

9.2. Method

9.2.1. Participants

Twenty-four students (18 women; 6 men – 22 right-handed; 2 left-handed) at the University of Ottawa made up the young adults group (Age: $M = 19.08$; $SD = 1.06$). The students were recruited via an online uOttawa research platform and were awarded course credits for their participation. Among 22 older volunteers, 18 were selected (9 women; 9 men – 16 right-handed; 2 left-handed; Age: $M = 69.72$; $SD = 4.57$). Older volunteers were all recruited in Ottawa (Canada) through community ad placed in a local newspaper. Health information was gathered from all older volunteers during a phone interview. People willing to participate but presenting a medical history and or taking medication with known sensory or neurological effects were excluded. All young and older participants who were tested in the laboratory gave an informed written consent. All had normal or corrected-to-normal vision (20/20 on a Snellen eye chart). Older participants performed the Montreal Cognitive Assessment (MoCA, version 7.1, original version). Four out of the 22 older volunteers were removed from the analysis for scoring under the set threshold (26/30) on the MoCA.

9.2.2. Stimuli and material

A pre-test was conducted in order to select the stimuli. Twenty students from the University of Lyon (France) (10 women and 10 men; $M = 22.6$ years, $SD = 3.10$) rated 360 pictures⁴ (551x551 pixels) for valence (unpleasant/neutral), arousal (low/high) and auditory property (weakly/highly associated to a sound) on 7-point Likert-type scales. Finally, 48 neutrally valenced ($M = 4.47$, $SD = 0.45$) and 48 negatively valenced pictures ($M = 1.36$, $SD = 0.80$) were selected (see Annex B and C). The negative pictures were rated significantly more unpleasant than the neutral ones on the Likert-type scale, $p < .001$. The negative pictures were rated as more arousing ($M = 3.04$, $SD = 0.49$) than the neutral pictures ($M = 0.76$, $SD = 0.54$), $p < .001$. Among the 96 pictures selected, 48 were rated as less associated with a sound ($M = 0.65$, $SD = 0.18$) than the 48 others ($M = 2.58$, $SD = 0.85$), $p < .001$. All the pictures were resized to 200x200 pixels to fit within the square of the grid in which they would be presented during the experiment.

All participants were tested in the same room at the Cognitive Aging Lab of the University of Ottawa on a DELL computer (Windows Vista) with a 19" screen, with a 1600 x

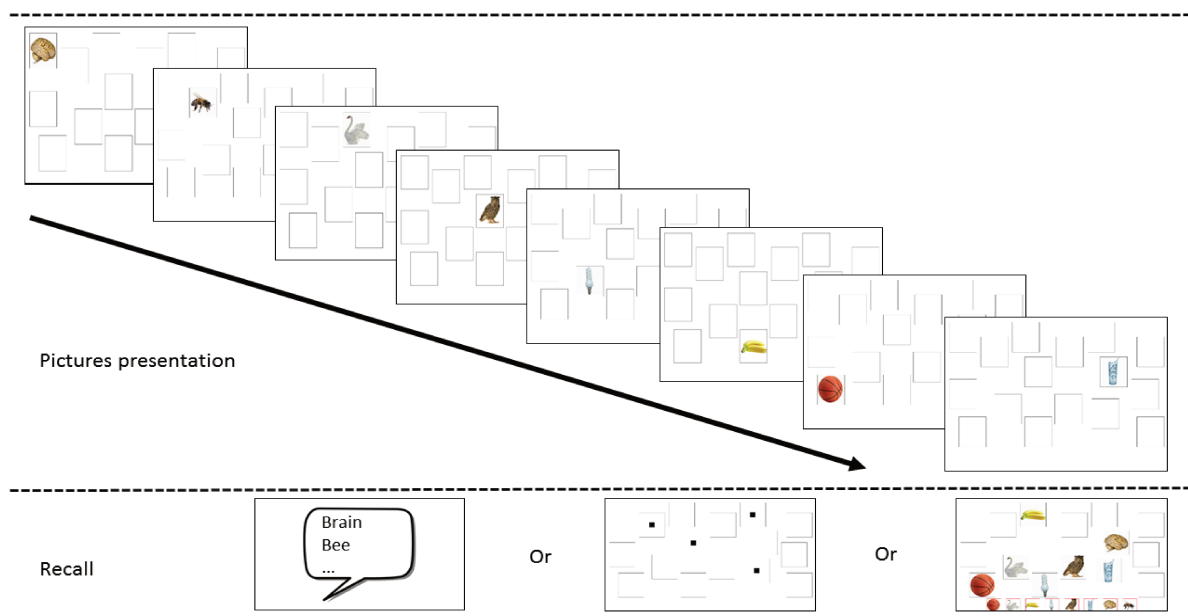


Figure 12 - Representation of an experimental trial. Eight pictures are shown sequentially in a 16-square grid and followed by one of three types of recall: Item recall, Source recall, or Association recall

⁴ Sava, A., & Chainay, H. (in prep). In this study, 30 participants (24 women and 6 men) from 18 to 30 years old ($M = 22.47$; $SD = 3.03$) were asked to denominate 987 pictures, to rate them in terms of arousal and valence, and to classify them in natural or manufactured objects.

900-pixel resolution. The experiment was designed and administered using OpenSesame (2.8.3 version; Legacy backend) (Mathôt et al., 2011).

9.2.3. Procedure and design

Upon arrival, participants were informed of the general procedure of the experiment and gave their consent. Older adults performed the MoCA and then moved on to the memory task. Each participant was tested individually during approximately 45 minutes. Twenty-four series of eight pictures were presented randomly in a 16-square grid arranged in a similar way to Corsi's block layout (Corsi & Michael, 1972). Each picture remained on the screen for 2000 ms and the inter-stimuli interval was 500 ms. The participants were instructed to remember both the pictures and their locations. After each series of eight pictures (see Fig.12), the subjects had to say aloud the names of the pictures independently of their position ("Item recall"), or to click on the eight squares (out of the 16) where the pictures had appeared ("Location recall"), or to drag the eight pictures, displayed again at the bottom of the screen, to the squares in which they had been displayed ("Association recall"). Twenty-four trials of eight pictures were presented, i.e. eight trials for each of the three kinds of recall. Half of the trials were made up of neutral pictures, whereas for the other half only negative pictures were studied. In each trial, 4 pictures were pictures rated as weakly associated to a sound and the other 4 as highly associated to a sound. The pictures in each trial were presented in a random order for each participant. The same type of recall could not be repeated more than twice in succession. Each picture was associated with each type of recall across participants. The participants were familiarized with the task by means of a training phase in which the three types of recall were required.

9.3. Results

Descriptive statistics for all encoding/retrieval combinations can be found in Table 6. Separate analyses of variance were conducted on the average percentages of correct response for each type of recall, with encoding conditions as within subject factor. As the ANOVAs included repeated measures, generalized eta squared effect size statistic was reported for each significant results (see Bakeman, 2005). Post-hoc comparisons were computed using Tukey's HSD test

Table 6 - Mean percentages and standard errors for correct responses

		Item-recall				Source-recall				Association-recall			
		Young		Elderly		Young		Elderly		Young		Elderly	
Pictures		CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE	CA (%)	SE
Neutral	AS	53	3,2	50	2,9	54	3,3	63	3,6	47	2,9	40	2,1
	NAS	55	3	49	4,2	51	3,2	58	2,7	46	4	38	1,9
Negative	AS	75	3,5	72	3	70	3,4	67	3,8	50	3,4	40	2,5
	NAS	60	3,1	55	2,6	63	2,8	70	3	51	3,6	45	2,7

Note 1- CA, Correct Answers; SE, Standard Errors

Item recall

The analyses performed on correct responses revealed a significant effect of the valence, $F(1, 40) = 36.97, p < .001, \eta^2 = .48$, with more correct responses for negative (65%) than for neutral items (51%). Data demonstrated that AS items were better recalled (62%) than NAS items (54%), $F(1, 40) = 16.34, p < .001, \eta^2 = .28$. The valence*sonority interaction was significant, $F(1, 40) = 9.71, p < .01, \eta^2 = .19$. Irrespective of the age of the participants, negative AS items were better remembered than the neutral AS ones. No main effect of age was observed $F(1, 40) = 2.35, p = .13$.

Location recall

The analyses performed on correct answers revealed a main effect of the valence, $F(1, 40) = 20.16, p < .001$. Negative items induced better recall of their locations (56%) than neutral items did (67%). There was no other main effect or interaction.

Association recall

The analysis revealed a main effect of age, $F(1, 40) = 12.30$, $p < .01$, $\eta^2 = .23$. Young adults recalled more correct associations (57%) than the older adults (49%).

9.4. Discussion

Our first prediction concerned the main effect of age. Older participants were expected to score significantly lower than younger participants in all three types of recall. Our results showed that the main effect of age could only be observed for the recall of the associations. Older adults did recall fewer correct associations than younger adults. This is in line with the interpretation proposed by the ADH (Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin et al., 2004) which ties the episodic deficit observed in older adults to the difficulty for them to integrate the different contextual elements of an event within a cohesive memory trace. The second prediction was that item integration, and especially integration of perceptually absent features such as a sound associated in memory, might be impaired with age. If this was the case, better recall for items that are associated to a sound in memory (AS items) compared to items that are not (NAS items) should only be observed in younger and not older adults. The results do not confirm that prediction as no Age * Sonority interaction was observed in the recall of the items. The third prediction was that emotion coming from stimuli should enhance integration of perceptually absent features reactivated in memory such as an associated sound. This prediction was confirmed as a Valence * Sonority interaction was revealed by the analysis on item recall. This effect was present both in young and older adults as, irrespective of the age of the participants, negative items associated to a sound in memory were better recalled than neutral ones. As for the fourth prediction, both young and older adults did recall locations of negative items better than locations of neutral ones.

The present study confirms that associative memory is impaired with age. Nevertheless, integration of perceptually absent features that are reactivated in memory when experiencing an event was never tested before. The results show that this type of integration is preserved in older adults giving even more weight to the interpretation that integration of item features whether they are perceptually present or absent is preserved whereas integration of item-context information is deficient. This study also shows that the effect of emotion on memory is still present in older adults and that emotion coming from a stimulus improves integration of the features of the item even if these features are only reactivated in memory and not perceptually

present during an event. These findings are consistent with the object-based framework (Mather, 2007) in the sense that features of emotionally arousing stimuli are better integrated than features of non-arousing stimuli. However, the interpretation in terms of attentional processes alone cannot explain the integration of perceptually absent features. Even if attention is attracted towards the emotionally arousing stimuli as stated by Mather, integration of perceptually absent features reactivated in memory requires a memory mechanism. Here, we propose that this relies on the integration mechanism and occurs upon the formation of the memory trace. The elements of the trace are linked to each other, a link that is made stronger by the emotional processing induced by the stimuli.

The performance in source recall where participants had to recall the spatial positions of pictures showed that the negative pictures induced better recall of their position in comparison to neutral pictures. The negative pictures used in the present experiment were rated as more arousing than the neutral pictures. Even though valence and arousal are confounding factors, this tends to confirm Mather and Nesmith's interpretation (2008) that arousal helps remembering location. However, the authors argue that the effect of high arousal on location memory is based on attention and reject an interpretation in terms of memory binding. The argument in favor of this rejection is that arousal enhancement occurs only for the arousing picture and do not carry over to adjacent pictures. In Mather and Nesmith's experiment, arousal comes from a stimulus and the impact on location memory is restricted to that stimulus. We think that this is not enough to rule out the implication of memory binding. We argue that the way arousal or valence is introduced is very important in explaining how these factors impact the performance. Integration does not occur only between the different elements of an event, it also occurs between the constituent features of a single element or item. The results of the present experiment show that the emotional processing induced by the stimuli improved integration of within-item features but did not impact binding of the item to its spatial position. Nevertheless, positions of emotionally arousing items were better recalled. This could be interpreted by the fact that the negative arousal was associated with the location itself independently from the item that induced the emotional arousing.

The results regarding location recall seem to contradict findings by Chalfonte and Johnson (1996) which showed that older adults report poorer spatial memory performance than younger adults as no effect of age was observed for this type of recall in our study. Moreover, the effect of valence on location recall gives rise to two interpretations. First, as Mather's object-based framework (2007) states that the effects of emotion coming from a stimulus is restricted

to the integration of the internal features of that stimulus, our results would suggest that spatial position is an internal feature of the item, thus contradicting Johnson, Hashtroudi, and Lindsay's definition (1993). The second interpretation would be that spatial location remains a contextual feature and the link between the item and its spatial location is indeed strengthened by the emotion coming from the stimulus but that this link is not strong enough to influence conscious and planned activities such as recall. To assert the power of this interpretation, further studies should investigate the influence of emotion coming from the stimulus in implicit memory tasks such as priming paradigms.

One possible limit to the present experiment should be mentioned. The three types of recall differed so much from one another that they had to be analyzed separately. This weakens the power of the interpretations drawn from the comparisons of the different effects of age, sonority and valence between the different recalls. This could be fixed by using only recognition tasks.

To conclude, the literature shows item integration is preserved with old age (see Naveh-Benjamin, 2000; Naveh-Benjamin et al., 2004) and enhanced by the emotional aspect of the item to be remembered (e.g. D'argembeau & Van der Linden, 2004; Mather, 2007). However, the preservation and enhancement of binding was only assessed for perceptually present features such as the color of the items. This study demonstrates that integration also occurs for perceptually absent features (here the auditory aspect of an item), that it is preserved with old age, and that it is enhanced by the negative emotional aspect of the stimuli to be remembered.

The results of the present study support the interpretation that item integration and item-context integration rely on dissociated processes (for reviews, see Johnson, Raye, Schacter, & Scarry, 2000; Kesner, Lee, & Gilbert, 2004; Mather, 2007; Miyashita, 2004). The fact that the emotional enhancement of integration by a negatively arousing item is restricted to item memory also bolsters the hypothesis that the effect of emotion on memory is highly dependent of the way emotion is introduced in the experimental design (see Macri, Pavard & Versace, Manuscript submitted for publication). Emotional stimuli would affect processes responsible for the binding of item features and emotion as a contextual element would affect processes responsible for the binding of information to context elements.

References

- Adelman, J. S., & Estes, Z. (2013). Emotion and memory: A recognition advantage for positive and negative words independent of arousal. *Cognition*, 129(3), 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.014>
- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37(3), 379–384.
- Chalfonte, B. I., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory & Cognition*, 24(4), 403–416. <https://doi.org/10.3758/BF03200930>
- Cook, G. I., Hicks, J. L., & Marsh, R. L. (2007). Source monitoring is not always enhanced for valenced material. *Memory & Cognition*, 35(2), 222–230.
- Corsi, P. M., & Michael, P. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain (Vol. 34). McGill University Montreal.
- Craik, F. I., & Jennings, J. M. (1992). Human memory.
- D'argembeau, A., & Van der Linden, M. (2004). Influence of affective meaning on memory for contextual information. *Emotion*, 4(2), 173.
- Doerksen, S., & Shimamura, A. P. (2001). Source memory enhancement for emotional words. *Emotion*, 1(1), 5.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3–28. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Schacter, D. L., & Scarry, E. (2000). Cognitive and brain mechanisms of false memories and beliefs. *Memory, Brain, and Belief*, 35–86.
- Kensinger, E. A. (2009a). Remembering the details: Effects of emotion. *Emotion Review*, 1(2), 99–113.
- Kensinger, E. A. (2009b). What factors need to be considered to understand emotional memories? *Emotion Review*, 1(2), 120–121.
- Kensinger, E. A., Garoff-Eaton, R. J., & Schacter, D. L. (2007). How Negative Emotion Enhances the Visual Specificity of a Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1872–1887. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.11.1872>
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006). When the Red Sox shocked the Yankees: Comparing negative and positive memories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 757–763.
- Kesner, R. P., Lee, I., & Gilbert, P. (2004). A behavioral assessment of hippocampal function based on a subregional analysis. *Reviews in the Neurosciences*, 15(5), 333–352.

- Light, L. L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 333–376.
- Macri, A., Pavard, A., & Versace, R. (Manuscript submitted for publication). The Beneficial Effect of Contextual Emotion on Memory: The Role of Integration.
- Mather, M. (2007). Emotional Arousal and Memory Binding: An Object-Based Framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Mather, M., & Nesmith, K. (2008). Arousal-enhanced location memory for pictures. *Journal of Memory and Language*, 58(2), 449–464.
- Mather, M., & Ponzio, A. (2015). Emotion and aging. *Handbook of Emotions*. Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Miyashita, Y. (2004). Cognitive memory: cellular and network machineries and their top-down control. *Science*, 306(5695), 435–440.
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1170.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Kilb, A., & Reedy, S. (2004). The Associative Memory Deficit of Older Adults: Further Support Using Face-Name Associations. *Psychology and Aging*, 19(3), 541–546. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.541>
- Rey, A. E., Riou, B., Muller, D., Dabic, S., & Versace, R. (2015). “The mask who wasn’t there”: visual masking effect with the perceptual absence of the mask. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(2), 567–573. <https://doi.org/10.1037/xlm0000051>
- Rey, A. E., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., & Versace, R. (2015). Memory plays tricks on me: Perceptual bias induced by memory reactivated size in Ebbinghaus illusion. *Acta Psychologica*, 161, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.08.011>
- Rimmele, U., Davachi, L., & Phelps, E. A. (2012). Memory for time and place contributes to enhanced confidence in memories for emotional events. *Emotion*, 12(4), 834.
- Tardif, S. (2014). Processus associatifs en mémoire épisodique dans le vieillissement normal et dans le trouble cognitif léger de type amnésique. University of Laval.

- Touryan, S. R., Marian, D. E., & Shimamura, A. P. (2007). Effect of negative emotional pictures on associative memory for peripheral information. *Memory*, 15(2), 154–166. <https://doi.org/10.1080/09658210601151310>
- Tulving, E. (1984). *Precis of elements of episodic memory*. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02), 223–238.
- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Groupe de Boeck.
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The Role of Emotion in Multimodal Integration. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (21, Vol. 1, 2007).
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Waring, J. D., & Kensinger, E. A. (2009). Effects of emotional valence and arousal upon memory trade-offs with aging. *Psychology and Aging*, 24(2), 412.
- Whittlesea, B. W. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(1), 3.

Condensé de l'article

Introduction – L'hypothèse du déficit associatif (Naveh-Benjamin, 2000) stipule que les déficits mnésiques observés chez les personnes sont dus à une difficulté à former des associations en mémoire entre les différentes propriétés d'un événement. Toutefois, cette hypothèse ne porte que sur les propriétés perceptivement présentes lors d'un événement. Il découle néanmoins des travaux de Versace et al., (2014, 2009, 2002) que les propriétés perceptivement absentes lors d'un événement mais réactivées en mémoire sont également intégrées au sein de la trace de l'événement nouvellement formée et peuvent jouer un rôle dans l'efficacité de la mémoire. Ainsi, cette étude a tenté d'évaluer si l'intégration de ces propriétés était ou non dégradée chez les personnes âgées et si l'émotion véhiculée par un item pouvait influencer positivement cette forme d'intégration. Nous avons par conséquent employé un paradigme nous permettant d'évaluer différents niveaux d'intégration, utilisé des images neutres et négatives afin de manipuler la valence véhiculée par les items et comparé les performances d'adultes jeunes et âgés.

Méthode – Des séries de 8 images étaient présentées dans une matrice irrégulière de 16 cases. Chaque image était affichée pour une durée de 2000ms. Après chaque série d'image les participants rappelaient soit a) les images qu'ils avaient vues en énonçant à voix haute le nom des objets dépeints par les images (Rappel item), soit b) les positions occupées par les images lors de la présentation de la série en cliquant à l'aide la souris d'ordinateur sur les cases correspondantes dans une matrice vierge, soit c) l'association entre les images et leurs positions en cliquant sur les images – affichées de nouveau en bas de l'écran – et en les déposant dans les cases correspondantes d'une matrice vierge. Dans la moitié des essais expérimentaux (8 images + rappel), les images présentées étaient émotionnellement négative et dans l'autre moitié les images étaient neutres. La moitié des images négatives et neutres était des images fortement associées à un son en mémoire (une abeille) et l'autre moitié était des images non-associées à un son (une table).

Résultats – Les résultats obtenus montrent que, lors du rappel de l'item, les images fortement associées à un son sont mieux rappelées que les autres. Les images négatives sont également mieux rappelées que les neutres. On observe aussi une interaction entre les facteurs sonorité et valence révélant que les images fortement associées à un son sont mieux rappelées si elles sont également négatives. Ces effets sont les mêmes chez les adultes jeunes et âgés. Un effet d'âge a été rapporté lors du rappel des associations.

Conclusion – Cette étude montre que l'intégration des propriétés perceptivement absentes lors d'un événement semble préservée chez les personnes âgées. Cette forme d'intégration est également sensible aux effets bénéfiques d'une valence émotionnelle négative véhiculée par les items à retenir.

Troisième Partie

Discussion générale

Chapitre 7

10. Synthèse des résultats expérimentaux

L'objectif de ce travail de thèse était d'identifier des facteurs permettant d'améliorer l'efficacité de la mémoire dans des activités discriminantes tout en clarifiant les effets de ces facteurs chez des adultes jeunes et dans le vieillissement normal. Les travaux réalisés se placent dans une approche incarnée et située de la mémoire dans laquelle la mémoire sert l'adaptation de l'individu aux situations qu'il rencontre. Les connaissances sont issues des expériences sensori-motrices vécues et émergent par couplage entre la situation rencontrée et les traces des situations passées conservées en mémoire. Le modèle fonctionnel de mémoire à traces multiples Act-in décrit des mécanismes d'activation et d'intégration des propriétés sensori-motrices. Au moment de l'émergence des connaissances, une mémoire efficace se caractérisera par sa capacité à réactiver des traces similaires à celle de la situation rencontrée et pertinentes sur le moment. Cette réactivation va dépendre du niveau d'intégration des propriétés qui forment une trace. Plus ces propriétés sont fortement liées les unes aux autres, plus l'émergence de la trace d'un événement passé sera facilitée. La force de ce lien est définie par le mécanisme d'intégration intra-trace. L'efficacité de la mémoire repose donc fortement sur ce mécanisme. Cette assertion semble supportée par des travaux menés sur le vieillissement normal de la mémoire et faisant l'hypothèse d'un déficit associatif. A travers un paradigme permettant d'évaluer les différents aspects de l'intégration, à savoir l'intégration des propriétés d'un item central lors d'une tâche, l'intégration des propriétés contextuelles et l'intégration de l'item à son contexte, les études réalisées dans cette thèse ont investigué la manière dont ces différents aspects étaient influencés par des facteurs documentés dans la littérature comme pouvant améliorer les performances mnésiques (i.e. l'action et l'émotion). Ces travaux ont été réalisés chez l'adulte jeune et chez l'adulte âgé afin d'observer si l'amélioration de l'intégration par ces facteurs pouvait pallier le déficit associatif. Les résultats observés sont discutés vis-à-vis de ce déficit mais également vis-à-vis des théories issues de la littérature et tentant d'expliquer les effets de l'action et de l'émotion sur la mémoire.

La suite de cette partie a pour but de revenir sur les résultats obtenus en rapport avec les hypothèses générales tout en évoquant les problématiques qu'ils soulèvent.

10.1. Action et intégration

Les travaux rapportés dans les chapitres 3 et 4 avaient pour objectif d'étudier les effets de l'action sur l'intégration. Dans l'étude du chapitre 3, des dessins étaient affichés séquentiellement dans une matrice de 16 cases. Dans deux conditions expérimentales, l'apparition des dessins était déclenchée par les participants eux-mêmes à l'aide d'un clic de souris d'ordinateur. Le clic devait, dans la première condition, être effectué sur la case dans laquelle le dessin à retenir allait apparaître. Dans la seconde condition, le clic devait être effectué sur une case située en dessous de la matrice. Dans cette seconde condition, l'action réalisée était par conséquent détachée de l'apparition du dessin dans une des cases de la matrice. Une troisième condition expérimentale servait de condition contrôle dans laquelle aucune action n'était demandée de la part des participants. Contrairement à l'étude de Camus et al. (2016) où l'action était une réponse aux stimuli, ici l'action déclenchait leur apparition.

Les résultats de cette première expérience ont montré que les deux conditions d'action amélioraient le rappel de l'item seul et le rappel de l'association entre l'item et sa position par rapport à la condition contrôle. Le rappel de la position spatiale seule n'était amélioré que par le clic dans la case dans laquelle le dessin apparaissait. Des analyses supplémentaires ont révélé que l'effet de l'action était plus marqué lors du rappel de l'association et que cet effet était porté par l'action congruente avec la position spatiale des items. Ces résultats ont renforcé l'hypothèse de l'importance de la causalité de l'action. Une seconde expérience a été réalisée afin d'investiguer cet aspect.

Dans la seconde expérience, le paradigme utilisé restait le même à l'exception près du moment d'occurrence des actions demandées. En effet, les actions ne déclenchaient plus l'apparition des dessins. Que ce soit dans la condition où l'action était orientée vers la position des items ou dans la condition dans laquelle l'action était orientée vers une case prévue à cet effet en bas de l'écran, l'action survenait après l'apparition des dessins. L'aspect causal de l'action était perdu. Même si l'action survenait après l'apparition des dessins, elle ne causait pas pour autant leur disparition. Les résultats obtenus dans la première expérience n'ont pas été répliqués, ce qui constitue un argument de poids en faveur de l'hypothèse de l'importance de la causalité de l'action sur l'intégration des différentes propriétés d'un événement.

Les résultats de cette première étude s'incorporent tout à fait dans la littérature montrant les effets de l'action sur la mémoire (Cohen, 1981, 1989; Engelkamp & Zimmer, 1989; Kormi-Nouri, 1995; Kormi-Nouri, Nyberg & Nilsson, 1994; Nyberg & Nilsson, 1995). L'originalité

de cette étude est de mettre en évidence l'effet bénéfique d'une action non-communicative aussi basique qu'un clic de souris sur les performances mnésiques, tout en donnant une explication théorique de cet effet par le biais du mécanisme d'intégration et en mettant l'emphase non pas sur l'action elle-même mais sur ses conséquences. Ces résultats représentent également une preuve supplémentaire pour les théories insistant sur l'importance de la perception des conséquences sur l'intégration des propriétés d'un événement. Dans la lignée de Kunde (2001), l'avantage d'une action orientée vers les stimuli par rapport à une action éloignée pourrait s'expliquer par une plus forte compatibilité Réponse-Effet dans la première condition que dans la seconde. L'effet de l'action se déroule à la même position que l'action elle-même. Ainsi les propriétés motrices et perceptives sont mieux intégrées. Les données obtenues supportent également l'hypothèse formulée par Camus, Brouillet, et Brunel (2016) selon laquelle l'action serait un des critères nécessaires de l'intégration. En effet, l'absence d'influence de l'action sur l'intégration des propriétés de l'item et sur l'intégration item-contexte dans la seconde expérience montre la nécessité de l'action. Toutefois, les résultats nous permettent d'aller plus loin en montrant que c'est bien l'aspect causal qui importe plus qu'un geste moteur seul.

L'étude rapportée dans le chapitre 4 reprenait le même paradigme que l'expérience 1 du chapitre 3 et évaluait l'effet de l'action par rapport au déficit associatif observé chez des personnes âgées. Le rappel de l'item et de l'association item-contexte ont été améliorés par l'action mais seulement lorsque les participants devaient cliquer sur les positions dans lesquelles les dessins étaient affichés. Le pattern de résultats est en faveur du déficit associatif avec de moins bonnes performances observées dans le rappel des associations et conforte également l'importance de l'action et de la causalité dans l'intégration. Nous constatons également que seule l'action partageant la position spatiale des items a eu un effet bénéfique. En reprenant les termes employés par Kunde (2001), seule l'action avec la plus forte compatibilité Réponse-Effet a su améliorer l'intégration des propriétés de l'événement chez les personnes âgées. Les résultats soulèvent donc l'hypothèse qu'avec l'âge la sensibilité à cette compatibilité Réponse-Effet diminue et que seule une forte compatibilité conserve une influence chez les personnes âgées. On peut également émettre l'hypothèse que l'intégration serait facilitée par la réduction d'intermédiaire entre la réponse et l'effet. Par exemple, un pointage manuel sur un écran tactile pourrait s'avérer plus efficace qu'un pointage à l'aide d'une souris d'ordinateur qui crée un décalage entre la réponse motrice donnée et l'effet engendré.

L'ensemble de ces résultats semble constituer une preuve expérimentale du fait que l'action, de par sa causalité, peut s'avérer un atout majeur dans les techniques de stimulation et

de remédiation de la mémoire chez les personnes âgées au vieillissement normal. L'action peut donc être employée pour pallier un déficit d'intégration des propriétés d'un item et surtout d'intégration item-contexte qui semble touchée dans cette population. Les actions à employer peuvent donc être constituées de gestes dénués de sens (contrairement aux SPT, voir Cohen, 1989) mais leur réalisation doit avoir des conséquences observables pour qu'un impact sur l'intégration et les performances mnésiques puisse être obtenu.

Une limite vient toutefois remettre en cause, non pas les résultats, mais leur interprétation en termes d'intégration. En 1977, Morris et al., établissent la théorie du Traitement Approprié au Transfert (Transfer Appropriate Processing) comme cadre théorique alternatif à la théorie de la profondeur de traitement (Craik & Lockhart, 1972). Dans une première expérience, les auteurs répliquent les résultats obtenus par Craik et Lockhart (1972) en montrant qu'un traitement sémantique entraînait de meilleures performances qu'un traitement phonologique basé sur la rime dans une épreuve de reconnaissance standard. Cependant, ce pattern de résultats s'inversait dans une tâche de reconnaissance dans laquelle la rime était importante. Cela contredit la théorie de la profondeur de traitement en montrant qu'un traitement plus superficiel (phonologique) peut entraîner de meilleures performances qu'un traitement plus profond (sémantique). Les auteurs mettent en avant l'importance de la similarité entre l'acquisition (ou apprentissage) et la tâche évaluatrice. Si l'on veut se rappeler, dans une liste de mots, le nombre de mots contenant deux syllabes, alors compter les syllabes lors de l'acquisition semble être le meilleur moyen d'y parvenir. Cette conception est en parfaite adéquation avec les propositions avancées par le modèle Act-in sur l'importance de la situation présente et sur l'émergence de connaissances résultants d'un couplage ou d'un calcul de similarité entre la situation présente et les situations passées réactivées. Dans les chapitres 3 et 4 de cette thèse, une interprétation des effets obtenus en termes de Traitement Approprié au Transfert est possible en ce qui concerne le rappel de l'association entre item et position. En effet, à l'acquisition, l'action réalisée, l'item et la position font partie de la trace et se retrouvent au moment du rappel lors duquel le participant doit reproduire une action presque similaire afin de repositionner l'item à la bonne position. Cette interprétation diminue le pouvoir de l'interprétation de ces résultats en termes d'intégration uniquement. Toutefois, l'action a engendré un effet bénéfique sur le rappel de l'item alors que le rappel de l'item s'opérait à l'oral et ne partageait rien avec la situation d'acquisition des items. Afin d'écartier le moindre doute, il serait nécessaire de reproduire le même paradigme mais en modifiant le mode de réponse lors du rappel de l'association.

10.2. Emotion et intégration

Les travaux rapportés dans les chapitres 5 et 6 avaient pour objectif d'étudier les effets de l'émotion sur l'intégration. L'étude du chapitre 5 portait sur l'effet d'une émotion contextuelle. L'hypothèse générale sous-jacente était que l'influence de l'émotion sur la mémoire dans les paradigmes expérimentaux dépend fortement de la manière dont l'émotion est introduite: via les stimuli ou via le contexte. Cette variation de l'influence de l'émotion en fonction de la méthode d'introduction s'observerait par des différences entre intégration des propriétés d'un item et l'intégration item-contexte. Dans le paradigme employé, des images neutres apparaissaient séquentiellement par séries de 8 dans une matrice de 16 cases. Après chaque série, un type de rappel parmi trois était proposé : un rappel oral des items, un rappel indépendant des positions spatiales occupées par les items qui s'opérait à l'aide de la souris d'ordinateur dans une matrice vierge, et enfin le rappel des associations entre les items et leurs positions. L'émotion était manipulée via des fioles contenant des odeurs. Une première fiole contenait une odeur jugée neutre et la seconde une odeur jugée négative. La moitié des essais expérimentaux (présentations des images + rappel) était réalisée avec l'odeur neutre et l'autre avec l'odeur négative. L'hypothèse formulée prenait le contre-pied des travaux unifiés par Mather (2007) qui stipulent que l'émotion issue d'un item va améliorer le binding des propriétés de l'item et se montrer sans effet ou délétère pour le binding de l'information contextuelle entourant l'item émotionnel. Ici, une émotion véhiculée par le contexte verrait ses effets bénéfiques influencer l'intégration item-contexte et non l'intégration des propriétés de l'item. De cette façon, le rappel des positions spatiales et de l'association item-position s'en trouverait améliorer par l'odeur négative par rapport à l'odeur neutre et aucun effet de l'odeur ne devrait être observé lors du rappel de l'item.

Les résultats ont confirmé les hypothèses formulées. La présence de l'odeur négative a bel et bien augmenté le nombre de positions spatiales et le nombre d'associations entre items et positions correctement rappelées. En d'autres termes, l'introduction d'une émotion contextuelle a permis de renforcer l'intégration des propriétés contextuelles et l'intégration item-contexte sans affecter l'intégration des propriétés de l'item lui-même. La Figure 13 propose une représentation schématique des effets de l'émotion sur l'intégration en regroupant l'object-based framework de Mather (2007) et les résultats de la présente étude.

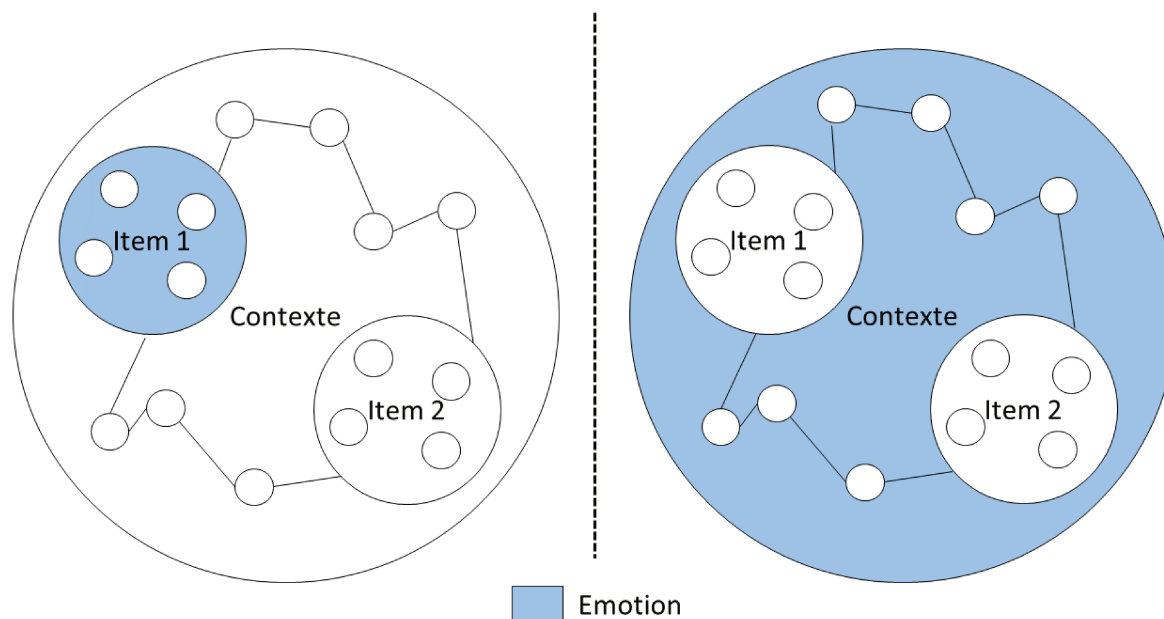


Figure 13 - Représentation schématique des effets de l'émotion sur l'intégration des propriétés d'un événement au sein d'une trace mnésique. A gauche, l'émotion est introduite par un item et seule l'intégration des propriétés de l'item est influencée par cette émotion. A droite, l'émotion est introduite par le contexte et seules l'intégration des propriétés contextuelles et l'intégration de l'item à son contexte sont influencées.

Les résultats, principalement ceux du rappel des positions spatiales, semblent soulever une nouvelle interprétation des effets de l'émotion sur l'attention. En effet, un meilleur rappel des positions spatiales pour des items émotionnels avait été observé par Mather et Nesmith (2008). Les auteurs avaient interprété ces résultats par une capture de l'attention par les stimuli émotionnels par l'intermédiaire de l'amygdale. L'amygdale est une structure connue pour son rôle dans les traitements émotionnels (LaBar & Cabeza, 2006). Nous pouvons émettre l'hypothèse, à partir des résultats que nous avons récoltés, qu'il se peut que la modulation des processus attentionnels par l'amygdale puisse également avoir lieu dans le cas où l'émotion est introduite par le contexte et pas seulement lorsque celle-ci vient des stimuli. En effet, le meilleur rappel des positions spatiales en présence de l'odeur négative laisse à penser que l'implication de l'amygdale, qu'elle soit provoquée par les stimuli ou le contexte, stimule les processus attentionnels entraînant une meilleure mémorisation des positions spatiales au sein d'un événement. Quoi qu'il en soit, tout comme pour l'action, l'émotion semble pouvoir améliorer les performances d'intégration.

L'étude rapportée dans le chapitre 6 utilisait le même paradigme à l'exception près que l'émotion ne venait cette fois pas du contexte mais des stimuli. Plus aucune odeur n'était présentée et contrairement à l'étude précédente qui n'utilisait que des images neutres, dans cette

expérience la moitié des images étaient des images négatives. L'étude précédente a démontré que l'émotion contextuelle pouvait améliorer l'intégration item-contexte et donc sans doute pallier le déficit associatif lié au vieillissement. La littérature dans le domaine montre que l'intégration des propriétés d'un item est préservée chez les personnes âgées alors que l'intégration des propriétés contextuelles est dégradée. Pour autant, comme le suggère certains travaux (Brouillet et al., 2014; Brunel, Carvalho, & Goldstone, 2015; Labeye et al., 2008; Versace et al., 2002, 2009), au moment de l'émergence des connaissances lors d'un événement, des propriétés sensori-motrices absentes perceptivement peuvent être intégrées au sein de la trace mnésique de cet événement et influencer l'émergence future de la trace. L'intégration de telles propriétés n'a jamais été investiguée chez l'adulte âgé et pourrait également expliquer une partie des déficits observés dans cette population. C'est pourquoi la moitié des images présentées dans cette expérience représentait des items fortement associés à un son (e.g une abeille). L'hypothèse était que si les personnes âgées ne souffraient pas d'un déficit d'intégration des propriétés perceptivement absentes alors les items dits sonores seraient mieux rappelés que les items non-sonores. De plus, il est possible que l'effet de l'émotion issue de l'item (Mather, 2007) n'affecte pas l'intégration de propriétés uniquement réactivées en mémoire. Si cette intégration est affectée de la même manière que l'intégration des propriétés perceptivement présentes, alors les items sonores seront mieux rappelés d'autant plus s'ils sont négatifs.

Les résultats ont tout d'abord confirmé l'ADH en montrant un effet de l'âge uniquement dans le rappel de l'association entre items et positions. Ensuite, le rappel de l'item était meilleur pour les items associés à un son que pour les items qui ne l'étaient pas. Le rappel de l'item était également meilleur pour les items négatifs que pour les items neutres. Et enfin, l'interaction observée entre les facteurs valence et sonorité montre que les items sonores étaient mieux rappelés s'ils étaient négatifs. Nous avons interprété ces résultats comme montrant a) que l'intégration des propriétés réactivées en mémoire était préservée chez les personnes âgées, b) l'effet de l'émotion issue des stimuli l'était aussi et c) que l'amélioration de l'intégration des propriétés des stimuli par l'émotion négative issue des stimuli touchait également l'intégration des propriétés absentes perceptivement.

Il semble important de revenir sur le fait que nous n'avons manipulé, au sein de nos expériences, que la valence émotionnelle en comparant une valence négative à une valence neutre. C'était le cas pour les odeurs utilisées dans le chapitre 5 et pour les images employées dans le chapitre 6 qui, équivalentes en termes d'arousal, ne se distinguaient que par leur valence. Notre but n'était pas en soi de comparer différentes valences et encore moins différents niveaux

d'arousal mais d'évaluer si le caractère émotionnel seul pouvait influencer l'intégration. La littérature regorge de travaux sur les effets dissociés de la valence et de l'arousal (voir par exemple Kensinger, 2009a). Il semblerait que l'arousal rende une trace plus distinctive lui permettant ainsi d'émerger plus facilement alors que la valence accentuerait la mémorisation des détails. On peut donc émettre l'hypothèse que l'arousal colore en quelque sorte l'ensemble des propriétés d'une trace, rendant cette trace plus facilement dissociable des autres et donc plus facilement réactivable en mémoire. La valence quant à elle ne marquerait que les éléments par lesquels elle est véhiculée lors d'un événement, que ce soit un item ou un élément contextuel tel que l'odeur, et n'améliorerait ainsi que l'intégration des propriétés de ces éléments. Cette hypothèse reste à investiguer mais les travaux de Mather (2007) et les résultats des chapitres 5 et 6 semblent aller dans ce sens.

Les résultats de ces deux études, pris dans leur ensemble, confortent l'hypothèse du rôle crucial de l'intégration dans l'efficacité de la mémoire et montrent qu'un facteur tel que l'émotion peut être employé pour agir de façon bénéfique sur l'intégration et ainsi rendre la mémoire épisodique plus efficace. Les difficultés mnésiques liées au vieillissement normal de la mémoire semblent donc réellement n'affecter que l'intégration item-contexte, intégration pouvant être améliorée grâce à une émotion véhiculée autrement que par le matériel à retenir. Cela pourrait s'appliquer dans des techniques de stimulation ou remédiation de la mémoire à destination des personnes âgées en mettant l'accent sur le ressenti des individus plutôt qu'en utilisant du matériel émotionnel.

Il serait cependant intéressant d'évaluer si la dégradation de l'intégration item-contexte observée chez les personnes âgées sur des propriétés perceptivement présentes touche aussi l'intégration de propriétés contextuelles perceptivement absentes. Si une dissociation entre intégration d'éléments perceptivement présents et perceptivement absents est rapportée, la première étant atteinte et pas la seconde, cela pourrait préciser la nature du déficit en montrant que la dégradation de l'intégration chez les âgés pourrait être principalement due à une altération sensorielle. Si au contraire, et c'est l'hypothèse que nous formulerons, l'intégration de propriétés perceptivement absente est touchée de la même façon que celle des propriétés perceptivement présentes alors cela renforcerait l'hypothèse d'un déficit de nature mnésique avant tout.

10.3. Perspectives

Un travail de recherche n'est jamais terminé. Les études menées dans cette thèse ne représentent qu'une modeste pierre à l'édifice que constitue la compréhension de ce qui fait

d'une mémoire une mémoire efficace et des facteurs et méthodes à mettre en œuvre afin de l'améliorer. De plus, ces travaux n'abordent qu'un type de connaissances : les connaissances épisodiques et même si c'est la principale forme de connaissances affectée par le vieillissement normal, ce n'est pas la seule forme de connaissance pouvant être altérée. Toutefois, d'après Actin (Versace et al., 2014) les traces mnésiques sont avant tout épisodiques car elles conservent les propriétés sensori-motrices des expériences vécues. Améliorer la formation de ces traces et faciliter l'émergence des connaissances épisodiques qui s'établissent à partir de ces traces en améliorant l'intégration peut alors représenter un premier pas vers la facilitation de l'émergence d'autres types de connaissances telles que les connaissances sémantiques.

Des travaux supplémentaires doivent être envisagés afin de compléter les résultats obtenus et affiner notre compréhension du fonctionnement mnésique. Des travaux sur l'impact de l'action et plus particulièrement de la motricité dans l'acquisition des connaissances sont menés par Arthur Boisson (collaborateur dans l'étude du chapitre 3) dans le cadre d'une thèse au sein de notre équipe. Ces travaux portent notamment sur l'impact de la motricité dans l'apprentissage de la lecture et de l'écriture et cherche par exemple à comprendre comment une action peut aider à lier en mémoire la forme visuelle de lettres avec la prononciation qui leur est associée.

Les travaux liant émotion et intégration nécessitent également d'être complétés. Une étude menée au sein de notre équipe a confronté au sein d'une même expérience l'introduction de l'émotion via les stimuli et l'introduction via le contexte en comparant deux groupes de participants et mesuré l'impact des deux méthodes sur le rappel de mots, le rappel de la position et le rappel de l'association entre les mots et leurs positions. Le but de cette étude était principalement de répliquer les résultats obtenus dans le chapitre 5 tout en poussant l'hypothèse du rôle de la méthode d'introduction de l'émotion jusqu'au bout. Les résultats vont dans le sens escompté. L'émotion véhiculée par les mots restreint ses effets à l'intégration des propriétés de l'item alors que l'émotion véhiculée par le contexte (toujours une odeur) améliore uniquement l'intégration des propriétés contextuelles et item-contexte.

Les résultats obtenus au fil des études menées durant cette thèse semblent montrer que le paradigme employé pourrait constituer un outil efficace afin d'évaluer les performances de mémoire dans un cadre neuropsychologique. La conception dominante de la mémoire dans le domaine de la neuropsychologie est la conception structuraliste. Cette approche permet une explication simple des troubles observés. Chaque atteinte est attribuée à un système en particulier (Eustache & Desgranges, 2008). Cette approche permet également l'élaboration de

tests ciblant ces systèmes. Cependant, malgré le développement important des théories incarnées et situées de la cognition, le monde de la neuropsychologie n'est pas encore équipé des outils nécessaires à l'abandon de la conception structuraliste et continue d'employer les outils évaluatifs (tests) dont il dispose. Le paradigme employé dans nos études constitue une piste solide dans une volonté de développer et normer un test de mémoire s'inscrivant dans une telle conception. Il viserait ainsi à évaluer le fonctionnement du mécanisme d'intégration, mécanisme primordial dans le fonctionnement efficace de la mémoire. Les différentes facettes de l'intégration peuvent être testées. Dans le but d'évaluer l'intégration des propriétés de l'item, les stimuli utilisés peuvent être sélectionnés afin d'évaluer l'intégration de propriétés perceptivement présentes, l'intégration des propriétés absentes (voir chapitre 6) mais également l'intégration multi-sensorielle en choisissant des stimuli bi-modaux par exemple (audiovisuelle). Les rappels contextuels et associatifs peuvent également être modifiés pour évaluer l'intégration des informations temporelles (aspect qui semble affecté dans le vieillissement normal) et l'association entre plusieurs items d'un événement. Ce type de paradigme permet également d'obtenir des données quantifiables sur les erreurs commises. Le rappel des positions spatiales dans une matrice vierge permet de calculer des scores de migration spatiale entre la réponse donnée et la réponse attendue. Un score de migration temporelle peut également être obtenu en demandant aux sujets de rappeler les informations dans l'ordre de leur présentation et en calculant l'écart entre l'ordre donné et l'ordre réel (voir Tardif, 2014). En proposant ainsi un test évaluant les différentes facettes de l'intégration et délivrant un pattern de résultat permettant d'identifier les points forts et points faibles des personnes évaluées, les professionnels pourraient ainsi proposer des techniques de remédiation et stimulation adaptées et personnalisées en fonction des patients.

11. Ouverture

L'objectif de ce travail était de confirmer le rôle crucial joué par le mécanisme d'intégration dans l'efficacité de la mémoire dite épisodique. Cet objectif semble atteint et nous avons également pu mettre en avant la façon dont des facteurs comme l'action et l'émotion pouvaient influencer ce mécanisme de façon bénéfique. Ces bénéfices ont été observés aussi bien chez des adultes jeunes que des adultes âgés. Cette partie vise à présenter des travaux ayant pour certains déjà commencé, d'autres étant encore à venir. Les premiers travaux ont pour objectif d'entraîner le mécanisme d'intégration et les seconds de tester l'hypothèse de l'existence d'un déficit d'intégration chez des patients souffrant de schizophrénie.

11.1. Entraînement de l'intégration

Levine, Svoboda, Hay, Winocur, et Moscovitch (2002) ont mis au point la méthode de l'Interview Autobiographique afin d'évaluer le degré de spécificité des souvenirs épisodiques. Des participants âgés étaient invités à choisir et à rappeler avec le plus de détails possibles des souvenirs particuliers liés à 5 périodes de leurs vies allant de l'enfance à la retraite. L'évocation de ces souvenirs prenait la forme de propositions dont le contenu était ensuite codé par les auteurs en tant que détails internes ou externes. Un détail interne est un détail concernant directement l'événement rapporté et spécifique au lieu et au moment de l'événement. Un détail externe est quant à lui non-spécifique à l'événement rapporté. Si l'on rapporte ces termes au modèle Act-in, les détails internes sont des détails spécifiques à une trace mnésique d'un événement particulier alors que les détails externes sont non-spécifiques et partagés par plusieurs traces. L'étude de Levine et al. (2002) a montré que l'évocation de détails spécifiques diminuait avec l'âge au profit des détails non-spécifiques plus généraux. Ces résultats sont cohérents avec la littérature sur le vieillissement (e.g. Piolino et al., 2006). Ces résultats ont suscité un regain d'intérêt pour les méthodes susceptibles d'améliorer l'évocation de détails spécifiques. Une de ces méthodes, appelée Entretien Cognitif (EC), fut employée Fisher et Geiselman (1992) afin de renforcer l'exactitude des témoignages dans le cadre d'affaires criminelles. Cette méthode se fonde sur quatre techniques : a) la Réinstauration du contexte qui stimule l'évocation mentale du contexte dans lequel se déroulait la scène; b) le Rapport Intégral qui pousse les personnes interrogées à rappeler la moindre information, qu'elles la juge importante ou non; c) le Changement d'ordre de rappel qui comme son nom l'indique invite les interrogés à rappeler le même événement suivant différents ordres (dans l'ordre, à l'envers, en partant du milieu) et d) le Changement de perspective qui encourage les personnes à rappeler l'événement en se mettant à la place d'un autre témoin. L'efficacité de la méthode n'est plus à prouver et il semblerait que la Réinstauration du contexte soit la technique la plus efficace. Celle-ci implique des questions sur l'état émotionnel des personnes interrogées au moment de l'événement d'intérêt, sur des propriétés perceptuelles ou sur les actions réalisées. Ces derniers éléments font partie des éléments caractéristiques des souvenirs épisodiques et des propriétés typiquement intégrées au sein d'une trace en mémoire et on comprend pourquoi cette technique induit bel et bien une spécificité en mettant l'emphase sur un souvenir et une trace particulière.

Récemment, au sein de notre équipe, une étude a été réalisée par Rudy Purkart et Rémy Versace en collaboration avec Guillaume Vallet (Clermont-Ferrand) (Purkart, Versace, & Vallet, 2017) afin d'étudier l'impact de l'induction de spécificité sur la génération de détails

spécifiques dans le cadre de la cognition située et incarnée. Les auteurs ont repris un protocole d'induction de spécificité épisodique employé par Madore, Gaesser, et Schacter (2014) montrant que les bénéfices de l'EC pouvaient se généraliser à une tâche de mémoire n'impliquant pas d'EC. Dans leur étude, Purkart et al. (2017) ont comparé les effets de l'EC à ceux d'un entretien contrôle portant sur une vidéo visionnée par les participants. Les participants étaient également confrontés à deux tâches issues de l'Interview Autobiographique de Levine et al. (2002), la remémoration (tâche retrospective) et l'imagination (tâche prospective) et enfin à une tâche évaluant les capacités d'intégration des participants. Cette dernière tâche était une adaptation du paradigme employé dans les études présentées dans cette thèse. Les participants voyaient dix images défiler dans une matrice de 16 cases puis réalisaient une tâche de reconnaissance dans laquelle ils devaient identifier les images présentées préalablement parmi des distracteurs. Lorsque les participants identifiaient une image comme déjà rencontrée, ils devaient alors indiquer dans quelle case elle était apparue et à quel moment (Était-ce la première image, la deuxième, etc...?). Le protocole impliquait deux sessions espacées d'une semaine (voir Figure 14).

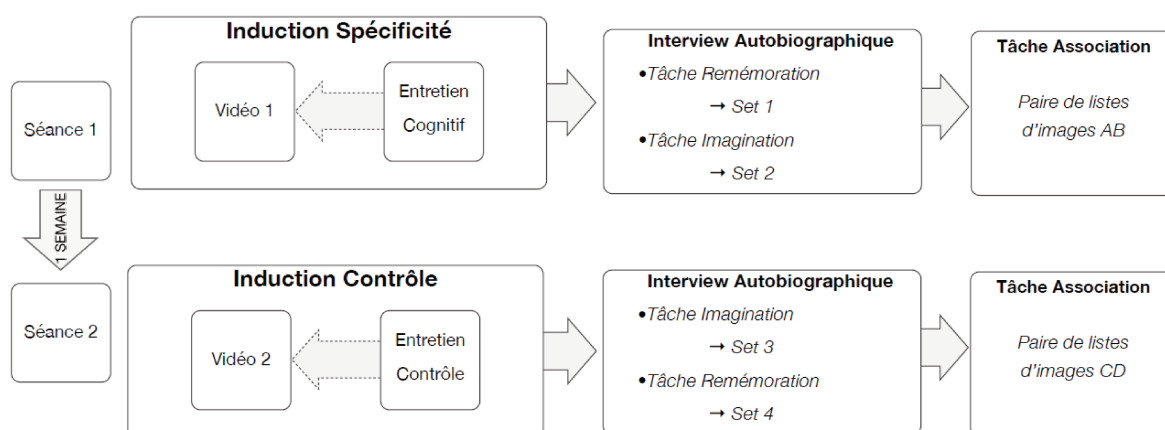


Figure 14 - Illustration du protocole de l'étude de Purkart, Versace & Vallet (2017)

Les auteurs faisaient l'hypothèse, parmi d'autres, que l'induction de spécificité amenée par l'EC devrait améliorer les capacités d'intégration évaluées par la tâche dite d'association et que cette capacité d'intégration devrait être corrélée à la capacité des participants à se souvenir et générer des détails spécifiques tel qu'évaluer par l'Interview Autobiographique. Les résultats ont tout d'abord répliqué ceux de la littérature en révélant que l'EC augmentait bien le nombre de détails spécifiques à la fois en remémoration et en imagination. Bien que l'étude n'ait pas permis de montrer que l'EC améliorait les capacités d'intégration, des corrélations intéressantes ont été rapportées. L'évocation de souvenirs spécifiques, ainsi que leur génération, étaient

positivement corrélées avec les performances d'intégration mesurées par l'association. Des analyses plus poussées des résultats ont montré que l'ordre d'administration de l'induction de spécificité n'affectait pas la génération de détails spécifiques laissant ainsi penser que les bénéfices de l'EC se sont transférés aux autres tâches quel que soit le moment auquel il a été réalisé.

De telles études constituent des pistes intéressantes sur les moyens d'améliorer l'intégration. L'utilisation d'entretiens orientés sur les associations entre différentes propriétés d'événements vécues ou à venir pourrait être la clef pour se passer de tâches informatisées et proposer des solutions plus écologiques notamment aux personnes âgées qui ne sont pas nécessairement familières de l'utilisation des technologies de l'information. Ce type d'étude soulève également l'idée que l'amélioration de l'intégration puisse se transférer à d'autres processus cognitifs, qu'il s'agisse de processus de bas niveau tel que l'exploration visuelle ou de plus haut niveau comme la résolution de problèmes. En effet, dans une conception incarnée et située, dans laquelle la cognition ne peut être que fondamentalement mnésique (voir Glenberg, 1997; Versace et al., 2014) améliorer l'efficacité de la mémoire en améliorant le mécanisme d'intégration devrait affecter d'autres fonctions cognitives. Il serait donc intéressant d'évaluer l'effet d'un entraînement à l'intégration sur des fonctions cognitives qui peuvent dépendre d'elle. Par exemple, L'émergence des connaissances implique nécessairement la simulation, ou reconstitution, des états perceptifs et moteurs issus des traces des expériences passées (Barsalou, 2008; Wu & Barsalou, 2009). Ainsi en améliorant l'intégration de ces propriétés au sein des traces cela devrait faciliter la simulation. Cela peut donc engendrer des images mentales plus claires ou plus détaillées. De là, améliorer l'imagerie mentale pourrait donc améliorer des fonctions comme la mémoire prospective (e.g. Grilli & McFarland, 2011) ou encore la planification.

Une question primordiale reste encore sans réponse. Existe-t-il un mécanisme d'intégration amodal dont l'amélioration engendrerait des bénéfices généralisables ou les différentes formes d'intégration reposent-elles sur des mécanismes distincts ? Dans le premier cas, entraîner l'intégration d'un item à sa position spatiale pourrait également améliorer l'intégration de la position temporelle. Dans le second cas, un transfert ne serait pas envisageable et entraîner un type d'intégration n'entraînerait que des bénéfices restreints. Les différents niveaux d'intégration, item ou item-contexte, suggèrent l'existence de mécanismes distincts reposant potentiellement sur des structures cérébrales distinctes. Tenter d'apporter une

réponse à l'unicité ou la multiplicité d'intégration tout en clarifiant les structures impliquées dans chaque type d'intégration permettrait d'envisager ou non la possibilité d'un transfert.

11.2. Schizophrénie et intégration

La schizophrénie (du grec *skhizein* : scission et *phren*: esprit) est un trouble psychique sévère et chronique. Elle se déclare généralement entre 15 et 30 ans et affecte moins de 1% de la population mondiale dont à peu près 600 000 personnes en France (INSERM). La schizophrénie se caractérise par une perte de contact avec la réalité et une anosognosie. Cependant son étiologie reste inconnue et aucun symptôme ne permet à lui seul de la définir. Le diagnostic de schizophrénie peut être posé devant des tableaux très différents (Franck, 2013) et repose sur l'association de plusieurs symptômes appartenant à trois dimensions: positive, négative, désorganisée. Les signes positifs sont des traits saillants par rapport à un comportement dit normal. Les signes négatifs correspondent à la disparition des facultés dites normales. Les signes désorganisés traduisent une incapacité d'adaptation. Le DSM-IV-TR (Manuel Diagnostique et Statistiques des Troubles Mentaux) propose que trois critères doivent être remplis: a) les symptômes caractéristiques (dont au moins deux doivent être présents) tels que les délires, hallucinations, discours désorganisé (trouble de la pensée), comportement fortement désorganisé, réduction de l'expression émotionnelle, aboulie; b) dysfonctionnement social ou professionnel, durée importante. La schizophrénie s'accompagne souvent de troubles cognitifs (70 à 80% des cas). Parmi ces troubles, les plus fréquents sont des troubles mnésiques et en particulier de mémoire à long-terme (Franck, 2013). La présence de ces troubles n'est que faiblement corrélée avec les plaintes des patients mais leur évaluation et leur prise en charge sont importantes pour envisager une réinsertion adaptée des patients.

Les troubles mnésiques observés chez les patients schizophrènes ont fait l'objet d'hypothèses se résumant pour la plupart à un déficit de binding (Context-memory hypothesis ,Danion, Huron, Vidailhet, & Berna, 2007; Disconnection hypothesis, Friston, 1998). Waters, Maybery, Badcock, et Michie (2004) ont testé l'hypothèse selon laquelle les déficits mnésiques rencontrés dans la schizophrénie seraient liés à un déficit pour retrouver l'information contextuelle et pour lier les différentes composantes d'un événement entre elles. Les auteurs ont ainsi évalué la mémoire du contenu mais aussi de la source et de l'information temporelle chez des patients schizophrènes et des participants contrôles. Vingt-quatre objets étaient disposés aléatoirement sur une table. On indiquait aux participants qu'ils devraient établir des paires d'objets ou regarder l'expérimentateur établir ces paires dans deux sessions différentes et qu'ils

devaient tâcher de mémoriser quels objets allaient ensemble et qui avait fait les paires. A la fin de la première session, 24 nouveaux objets remplaçaient les anciens sur la table et la seconde session démarrait. Cinq minutes après la seconde session, une tâche de reconnaissance était administrée verbalement. Des paires d'objets étaient lues à voix haute et les participants indiquaient si la paire était une paire intacte ou réarrangée (composée de deux objets qui n'avaient pas été pairés durant l'expérience). Pour les paires jugées intactes, ils devaient indiquer qui les avait formées et durant quelle session cela avait eu lieu. Le taux de reconnaissances des paires, qu'elles soient intactes ou réarrangées, était significativement inférieur pour les patients que pour les contrôles. De même, les contrôles étaient significativement meilleurs que les patients pour identifier la source et l'information temporelle associées aux paires intactes. Ces résultats sont très intéressants du point de vue de l'intégration. Cependant, une limite apparaît dans le fait que l'étude ne propose pas de données concernant la mémoire d'un item seul ce qui, même si les patients sont inférieurs aux contrôles dans une tâche de rappel d'association diminue une interprétation en termes de déficit associatif pur.

Plus récemment, Altamura et al. (2013) ont investigué le binding de propriétés centrales et périphériques et comparé les performances de patients schizophrènes à celles de participants contrôles. Les participants avaient pour tâche de mémoriser un mot, une couleur ou une combinaison mot-couleur. La couleur était soit celle dans laquelle le mot était écrit soit la couleur de la bordure qui entourait le mot. Chaque essai démarrait par un message d'instruction qui indiquait aux participants sur quel aspect (mot, couleur ou combinaison) ils devaient se concentrer. Ensuite, trois mots étaient présentés séquentiellement au centre de l'écran durant 2000ms chacun. Après un intervalle de rétention de 4000ms, un mot était présenté durant 2000ms et les participants avaient pour consigne de répondre le plus vite possible et sans commettre d'erreur si "OUI" ou "NON" le mot était présenté dans la bonne couleur. L'analyse pour les propriétés seules a révélé un effet du groupe. Les performances des patients étaient inférieures à celle des contrôles quelle que soit la propriété sur laquelle ils devaient se concentrer (mot ou couleur) et quel que soit la source de l'information (centrale ou périphérique). L'analyse sur les combinaisons a également révélé de moins bonnes performances pour les patients que pour les contrôles. L'effet principal de la source de l'information (centrale ou périphérique) n'était pas significatif. En revanche, l'interaction groupe * source de l'information l'était, révélant ainsi que les patients avaient d'avantage de difficultés lorsque l'information venait de la périphérie.

Ces résultats laissent perplexes car un clair déficit d'intégration semble apparaître pour les informations contextuelles mais les performances des patients sont en dessous de celles des contrôles pour le rappel des propriétés seules. Cela veut-il dire que tous les aspects de l'intégration sont atteints dans la schizophrénie ? Cela ne semble pas être le cas au regard des résultats obtenus par Waters et al. (2004). Il nous semble donc pertinent d'employer notre paradigme auprès d'une population schizophrène afin d'établir un profil clair des capacités d'intégration dans cette population. Une fois un tel profil établi, il serait intéressant d'évaluer si certains facteurs peuvent pallier un éventuel déficit d'intégration chez les patients schizophrènes.

Ces pistes de recherche vont donner lieu, dans un futur proche, à un projet en collaboration avec le Dr Amélie Pavard, qui est également Psychologue spécialisée en neuropsychologie et avec qui nous avons déjà collaboré lors de cette thèse.

11.3. En conclusion

Le mécanisme d'intégration joue un rôle crucial dans le fonctionnement de la mémoire et apparaît comme la clef de voûte de son efficacité. Identifier des facteurs ciblant et favorisant ce mécanisme permet donc de s'armer d'outils d'importance capitale pour lutter contre son déclin. Les travaux à venir devront se concentrer sur l'élaboration a) de tests pouvant être utilisés par les professionnels de santé afin d'évaluer les capacités d'intégration des individus et b) sur la création de protocoles de stimulation ou de remédiation de l'intégration centrés sur les facteurs facilitateurs de l'intégration comme l'action et l'émotion.

Toutefois, stimulation et remédiation arrivent souvent trop tard. Ainsi, la première étape semble être de sensibiliser la population en lui montrant ce que la mémoire est capable de faire afin de relativiser le poids des "échecs" de la mémoire face à l'importance de ses réussites. Cette sensibilisation passe également par le besoin d'insister sur le fait que la mémoire, tout comme le corps et les autres fonctions cognitives, doit s'entretenir et s'exercer régulièrement au risque de la perdre plus rapidement que prévue. Ainsi, faire confiance à sa mémoire, en ayant conscience de ses capacités et de ses limites, peut s'avérer être le meilleur moyen de la préserver.

Références générales

- Adelman, J. S., & Estes, Z. (2013). Emotion and memory: A recognition advantage for positive and negative words independent of arousal. *Cognition*, 129(3), 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.08.014>
- Allen, R. J. (2015). Memory Binding. In J. D. Wright (Ed.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)* (pp. 140–146). Oxford: Elsevier.
- Allen, R. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(2), 298.
- Altamura, M., Padalino, F. A., Mammarella, N., Fairfield, B., Balzotti, A., Di Domenico, A., ... Bellomo, A. (2013). Are all forms of feature binding disturbed in schizophrenia? Evidence from a central vs. peripheral distinction in working memory. *Psychiatry Research*, 209(1), 9–14.
- Arnold, M. B. (1945). Physiological differentiation of emotional states. *Psychological Review*, 52(1), 35.
- Baddeley, A. (1993). *La mémoire humaine: théorie et pratique*, presses universitaires: Grenoble.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
- Baddeley, A. D. (1984). The fractionation of human memory. *Psychological Medicine*.
- Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, 49(6), 1393–1400.
- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37(3), 379–384.
- Balota, D. A., Dolan, P. O., & Duchek, J. M. (2000). Memory changes in healthy older adults. *The Oxford Handbook of Memory*, 395–409.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptions of perceptual symbols. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 637–660.

- Barsalou, L. W. (2003). Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 358(1435), 1177–1187.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617–645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Bastin, C., Diana, R. A., Simon, J., Collette, F., Yonelinas, A. P., & Salmon, E. (2013). Associative memory in aging: The effect of unitization on source memory. *Psychology and Aging*, 28(1), 275–283. <https://doi.org/10.1037/a0031566>
- Bastin, C., & Van der Linden, M. (2005). The effects of aging on the recognition of different types of associations. *Experimental Aging Research*, 32(1), 61–77.
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195–207.
- Bender, A. R., Naveh-Benjamin, M., & Raz, N. (2010). Associative deficit in recognition memory in a lifespan sample of healthy adults. *Psychology and Aging*, 25(4), 940.
- Bhalla, M., & Proffitt, D. R. (1999). Visual–motor recalibration in geographical slant perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1076.
- Bisby, J. A., & Burgess, N. (2014). Negative affect impairs associative memory but not item memory. *Learning & Memory*, 21(1), 21–27.
- Borghi, A. M. (2004). Object concepts and action: Extracting affordances from objects parts. *Acta Psychologica*, 115(1), 69–96.
- Borghi, A. M., & Cimatti, F. (2010). Embodied cognition and beyond: Acting and sensing the body. *Neuropsychologia*, 48(3), 763–773.
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36(2), 129–148. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.36.2.129>
- Brouillet, D., Vagnet, C., Milhau, A., Brunel, L., Briglia, J., Versace, R., & Rousset, S. (2014). Sensory–motor properties of past actions bias memory in a recognition task. *Psychological Research*, 79(4), 678–686. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0600-6>
- Brouillet, T., Heurley, L., Martin, S., & Brouillet, D. (2010). The embodied cognition theory and the motor component of “yes” and “no” verbal responses. *Acta Psychologica*, 134(3), 310–317.
- Brunel, L., Carvalho, P. F., & Goldstone, R. L. (2015). It does belong together: cross-modal correspondences influence cross-modal integration during perceptual learning. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00358>

- Camus, T., Brouillet, D., & Brunel, L. (2016). Assessing the functional role of motor response during the integration process.
- Cannon, W. B. (1927). The James-Lange theory of emotions: A critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology*, 39(1/4), 106–124.
- Cerles, M., Gomez, A., & Rousset, S. (2012). Effect of egocentric perception on an allocentric memory task. In *COGNITIVE PROCESSING* (Vol. 13, pp. S56–S56). SPRINGER HEIDELBERG TIERGARTENSTRASSE 17, D-69121 HEIDELBERG, GERMANY.
- Chalfonte, B. I., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory & Cognition*, 24(4), 403–416. <https://doi.org/10.3758/BF03200930>
- Christianson, S.-A., & Loftus, E. F. (1991). Remembering emotional events: The fate of detailed information. *Cognition & Emotion*, 5(2), 81–108.
- Chum, M., Bekkering, H., Dodd, M. D., & Pratt, J. (2007). Motor and visual codes interact to facilitate visuospatial memory performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(6), 1189–1193.
- Chun, M. M., & Phelps, E. A. (1999). Memory deficits for implicit contextual information in amnesic subjects with hippocampal damage. *Nature Neuroscience*, 2(9).
- Cohen, R. L. (1981). On the generality of some memory laws. *Scandinavian Journal of Psychology*, 22(1), 267–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1981.tb00402.x>
- Cohen, R. L. (1989). Memory for action events: The power of enactment. *Educational Psychology Review*, 1(1), 57–80. <https://doi.org/10.1007/BF01326550>
- Cook, G. I., Hicks, J. L., & Marsh, R. L. (2007). Source monitoring is not always enhanced for valenced material. *Memory & Cognition*, 35(2), 222–230.
- Corsi, P. M., & Michael, P. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain (Vol. 34). McGill University Montreal.
- Craik, F. I. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds) *Human memory and cognitive capabilities, mechanisms and performance* (pp. 409–422). New York : Elsevier.
- Craik, F. I., & Jennings, J. M. (1992). Human memory.
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671–684.
- Craik, F. I., & McDowd, J. M. (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 474–479. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.13.3.474>
- Damasio, A. R. (1994). Descartes' error: Emotion, rationality and the human brain.

- Danion, J.-M., Huron, C., Vidailhet, P., & Berna, F. (2007). Functional mechanisms of episodic memory impairment in schizophrenia. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 52(11), 693–701.
- D'argembeau, A., & Van der Linden, M. (2004). Influence of affective meaning on memory for contextual information. *Emotion*, 4(2), 173.
- Daselaar, S. M., Fleck, M. S., Dobbins, I. G., Madden, D. J., & Cabeza, R. (2006). Effects of healthy aging on hippocampal and rhinal memory functions: an event-related fMRI study. *Cerebral Cortex*, 16(12), 1771–1782.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12(1), 45–75.
- Doerksen, S., & Shimamura, A. P. (2001). Source memory enhancement for emotional words. *Emotion*, 1(1), 5.
- Dunn, J. C. (2003). The elusive dissociation. *Cortex*, 39(1), 177–179.
- Earles, J. L., Kersten, A. W., Vernon, L. L., & Starkings, R. (2016). Memory for positive, negative and neutral events in younger and older adults: Does emotion influence binding in event memory? *Cognition and Emotion*, 30(2), 378–388.
- Ecker, U. K., Groh-Bordin, C., & Zimmer, H. D. (2004). Electrophysiological correlates of specific feature binding in remembering—introducing a neurocognitive model of human memory. *Bound in Memory—Insights from Behavioral and Neuropsychological Studies*. Shaker, Aachen, Germany, 159–193.
- Ecker, U. K., Maybery, M., & Zimmer, H. D. (2013). Binding of intrinsic and extrinsic features in working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(1), 218.
- Ehrlichman, H., & Bastone, L. (1992). Olfaction and emotion. In *Science of olfaction* (pp. 410–438). Springer.
- Eich, E., Macaulay, D., & Ryan, L. (1994). Mood dependent memory for events of the personal past. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 201.
- Ekman, P. (1992). Are there basic emotions?
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91(4), 451–471.
- Ellsworth, P. C. (1994). William James and emotion: is a century of fame worth a century of misunderstanding? *Psychological Review*, 101(2), 222.
- Elsner, B., & Hommel, B. (2001). Effect anticipation and action control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 229.

- Engelkamp, J. (1998). *Memory for actions* (Vol. vii). Hove, England: Psychology Press/Taylor & Francis (UK).
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1984). Motor programme information as a separable memory unit. *Psychological Research*, 46(3), 283–299. <https://doi.org/10.1007/BF00308889>
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. D. (1989). Memory for action events: A new field of research. *Psychological Research*, 51(4), 153–157. <https://doi.org/10.1007/BF00309142>
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: towards the integration of current multisystem models of memory. *Neuropsychology Review*, 18(1), 53–69.
- Feyereisen, P. (2009). Enactment effects and integration processes in younger and older adults' memory for actions. *Memory*, 17(4), 374–385. <https://doi.org/10.1080/09658210902731851>
- Fisher, R. P., & Geiselman, R. E. (1992). *Memory enhancing techniques for investigative interviewing: The cognitive interview*. Charles C Thomas Publisher.
- Fodor, J. A. (1975). *The language of thought* (Vol. 5). Harvard University Press.
- Franck, N. (2013). Clinique de la schizophrénie. *Encyclopédie Médicochirurgicale*, 10.
- Frijda, N. H. (1988). The laws of emotion. *American Psychologist*, 43(5), 349.
- Friston, K. J. (1998). The disconnection hypothesis. *Schizophrenia Research*, 30(2), 115–125.
- Giorgio, A., Santelli, L., Tomassini, V., Bosnell, R., Smith, S., De Stefano, N., & Johansen-Berg, H. (2010). Age-related changes in grey and white matter structure throughout adulthood. *Neuroimage*, 51(3), 943–951.
- Glenberg, A. M. (1997). What memory is for: Creating meaning in the service of action. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(01), 41–50.
- Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013). From the Revolution to Embodiment 25 Years of Cognitive Psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 8(5), 573–585. <https://doi.org/10.1177/1745691613498098>
- Glisky, E. L., Rubin, S. R., & Davidson, P. S. (2001). Source memory in older adults: an encoding or retrieval problem? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(5), 1131.
- Godden, D. R., & Baddeley, A. D. (1975). Context-dependent memory in two natural environments: On land and underwater. *British Journal of Psychology*, 66(3), 325–331.
- Goldstone, R. L. (2000). Unitization during category learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 86–112. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.1.86>

- Gomez, A., Rousset, S., & Baciú, M. (2009). Egocentric-updating during navigation facilitates episodic memory retrieval. *Acta Psychologica*, 132(3), 221–227.
- Gomez, A., Rousset, S., Bonniot, C., Charnallet, A., & Moreaud, O. (2015). Deficits in egocentric-updating and spatial context memory in a case of developmental amnesia. *Neurocase*, 21(2), 226–243.
- Gomez, A., Rousset, S., & Charnallet, A. (2012). Spatial deficits in an amnesic patient with hippocampal damage: questioning the multiple trace theory. *Hippocampus*, 22(6), 1313–1324.
- Good, C. D., Johnsrude, I. S., Ashburner, J., Henson, R. N., Fristen, K. J., & Frackowiak, R. S. (2002). A voxel-based morphometric study of ageing in 465 normal adult human brains. In *Biomedical Imaging, 2002. 5th IEEE EMBS International Summer School on* (p. 16–pp). IEEE.
- Grady, C. L., & Craik, F. I. (2000). Changes in memory processing with age. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 224–231.
- Graf, P., & Schacter, D. L. (1985). Implicit and explicit memory for new associations in normal and amnesic subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11(3), 501.
- Grilli, M. D., & McFarland, C. P. (2011). Imagine that: self-imagination improves prospective memory in memory-impaired individuals with neurological damage. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(6), 847–859.
- Hamann, S. B., Ely, T. D., Grafton, S. T., & Kilts, C. D. (1999). Amygdala activity related to enhanced memory for pleasant and aversive stimuli. *Nature Neuroscience*, 2(3), 289–293.
- Havas, D. A., Glenberg, A. M., & Rinck, M. (2007). Emotion simulation during language comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(3), 436–441.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological approach*. John Wiley & Sons.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2008). Enrichment effects on adult cognitive development: Can the functional capacity of older adults be preserved and enhanced? *Psychological Science in the Public Interest*, 9(1), 1–65.
- Hillman, C. H., Weiss, E. P., Hagberg, J. M., & Hatfield, B. D. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, 39(3), 303–312.

- Hintzman, D. L. (1984). MINERVA 2: A simulation model of human memory. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 16(2), 96–101. <https://doi.org/10.3758/BF03202365>
- Hintzman, D. L. (1986). “Schema abstraction” in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93(4), 411–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.93.4.411>
- Hommel, B. (2015). The theory of event coding (TEC) as embodied-cognition framework. *Frontiers in Psychology*, 6.
- Hommel, B., & Colzato, L. S. (2009). When an object is more than a binding of its features: Evidence for two mechanisms of visual feature integration. *Visual Cognition*, 17(1–2), 120–140. <https://doi.org/10.1080/13506280802349787>
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(5), 849–878. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01000103>
- Hornstein, S. L., & Mulligan, N. W. (2004). Memory for actions: Enactment and source memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(2), 367–372. <https://doi.org/10.3758/BF03196584>
- Hubert, V., Beaunieux, H., Chételat, G., Platel, H., Landeau, B., Viader, F., ... Eustache, F. (2009). Age-related changes in the cerebral substrates of cognitive procedural learning. *Human Brain Mapping*, 30(4), 1374–1386.
- Isingrini, M., & Taconnat, L. (2008). Mémoire épisodique, fonctionnement frontal et vieillissement Episodic memory, frontal functioning, and aging. *Revue Neurologique*, 164, S91–S95.
- Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3–28. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
- Johnson, M. K., Raye, C. L., Schacter, D. L., & Scarry, E. (2000). Cognitive and brain mechanisms of false memories and beliefs. *Memory, Brain, and Belief*, 35–86.
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24(2), 175–219.
- Kan, I. P., Keane, M. M., Martin, E., Parks-Stamm, E. J., Lewis, L., & Verfaellie, M. (2011). Implicit memory for novel associations between pictures: effects of stimulus unitization and aging. *Memory & Cognition*, 39(5), 778–790. <https://doi.org/10.3758/s13421-011-0071-6>
- Kensinger, E. A. (2009a). Remembering the details: Effects of emotion. *Emotion Review*, 1(2), 99–113.

- Kensinger, E. A. (2009b). What factors need to be considered to understand emotional memories? *Emotion Review*, 1(2), 120–121.
- Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2004). Two routes to emotional memory: Distinct neural processes for valence and arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3310–3315.
- Kensinger, E. A., Garoff-Eaton, R. J., & Schacter, D. L. (2007). How Negative Emotion Enhances the Visual Specificity of a Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1872–1887. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.11.1872>
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006a). Amygdala activity is associated with the successful encoding of item, but not source, information for positive and negative stimuli. *Journal of Neuroscience*, 26(9), 2564–2570.
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2006b). When the Red Sox shocked the Yankees: Comparing negative and positive memories. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(5), 757–763.
- Kesner, R. P., Lee, I., & Gilbert, P. (2004). A behavioral assessment of hippocampal function based on a subregional analysis. *Reviews in the Neurosciences*, 15(5), 333–352.
- Kleinginna Jr, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379.
- Kolers, P. A., & Roediger, H. L. (1984). Procedures of mind. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23(4), 425–449.
- Koriat, A., & Goldsmith, M. (1996). Memory metaphors and the real-life/laboratory controversy: Correspondence versus storehouse conceptions of memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 19(2), 167–188.
- Koriat, A., Goldsmith, M., & Pansky, A. (2000). Toward a psychology of memory accuracy. *Annual Review of Psychology*, 51(1), 481–537.
- Kormi-Nouri, R. (1995). The nature of memory for action events: An episodic integration view. *European Journal of Cognitive Psychology*, 7(4), 337–363. <https://doi.org/10.1080/09541449508403103>
- Kormi-Nouri, R., & Nilsson, L. G. (2001). The motor component is not crucial. In *Memory for action: A distinct form of episodic memory* (pp. 97–111).
- Kormi-Nouri, R., Nyberg, L., & Nilsson, L.-G. (1994). The effect of retrieval enactment on recall of subject-performed tasks and verbal tasks. *Memory & Cognition*, 22(6), 723–728. <https://doi.org/10.3758/BF03209257>

- Kunde, W. (2001). Response-effect compatibility in manual choice reaction tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(2), 387.
- LaBar, K. S., & Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews. Neuroscience*, 7(1), 54.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, 129(1), 108–111.
- Lemaire, P. (2010). Variations stratégiques et vieillissement. *Revue de Neuropsychologie*, 2(2), 124–132.
- Levine, B., Svoboda, E., Hay, J. F., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2002). Aging and autobiographical memory: dissociating episodic from semantic retrieval. *Psychology and Aging*, 17(4), 677.
- Levine, L. J., & Pizarro, D. A. (2004). Emotion and Memory Research: A Grumpy Overview. *Social Cognition*, 22(5), 530–554. <https://doi.org/10.1521/soco.22.5.530.50767>
- Li, S.-C., Naveh-Benjamin, M., & Lindenberger, U. (2005). Aging neuromodulation impairs associative binding: Neurocomputational account. *Psychological Science*, 16(6), 445–450.
- Light, L. L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology*, 42(1), 333–376.
- Loftus, E. F., Hoffman, H., & Loftus, G. R. (1991). Eye fixations and memory for emotional events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(4), 693.
- Luo, L., & Craik, F. I. (2008). Aging and memory: A cognitive approach. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 53(6), 346–353.
- Macri, A., Boisson, A., & Versace, R. (Manuscript submitted for publication). How does action improve memory? An integrated answer.
- Macri, A., Pavard, A., & Versace, R. (Accepted). The Beneficial Effect of Contextual Emotion on Memory: The Role of Integration.
- Madan, C. R. (2014). Manipulability impairs association-memory: Revisiting effects of incidental motor processing on verbal paired-associates. *Acta Psychologica*, 149, 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.03.002>
- Madan, C. R., Glaholt, M. G., & Caplan, J. B. (2010). The influence of item properties on association-memory. *Journal of Memory and Language*, 63(1), 46–63.
- Madan, C. R., & Singhal, A. (2012). Using actions to enhance memory: effects of enactment, gestures, and exercise on human memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 507.

- Madore, K. P., Gaesser, B., & Schacter, D. L. (2014). Constructive episodic simulation: Dissociable effects of a specificity induction on remembering, imagining, and describing in young and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(3), 609.
- Mangels, J. A., & Heinberg, A. (2006). Improved Episodic Integration Through Enactment: Implications for Aging. *The Journal of General Psychology*, 133(1), 37–65. <https://doi.org/10.3200/GENP.133.1.37-65>
- Mather, M. (2007). Emotional Arousal and Memory Binding: An Object-Based Framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2007.00028.x>
- Mather, M., & Nesmith, K. (2008). Arousal-enhanced location memory for pictures. *Journal of Memory and Language*, 58(2), 449–464.
- Mather, M., & Ponzio, A. (2015). Emotion and aging. *Handbook of Emotions*.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2011). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- Melton, A. W. (1963). Implications of short-term memory for a general theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 2(1), 1–21.
- Minett, T. S. C., Da Silva, R. V., Ortiz, K. Z., & Bertolucci, P. H. F. (2008). Subjective memory complaints in an elderly sample: a cross-sectional study. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 23(1), 49–54.
- Miyashita, Y. (2004). Cognitive memory: cellular and network machineries and their top-down control. *Science*, 306(5695), 435–440.
- Morris, C. D., Bransford, J. D., & Franks, J. J. (1977). Levels of processing versus transfer appropriate processing. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16(5), 519–533. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(77\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(77)80016-9)
- Nashiro, K., & Mather, M. (2010). How Arousal Affects Younger and Older Adults' Memory Binding. *Experimental Aging Research*, 37(1), 108–128. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2011.536746>
- Nashiro, K., & Mather, M. (2011). The effect of emotional arousal on memory binding in normal aging and Alzheimer's disease. *The American Journal of Psychology*, 124(3), 301.

- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1170.
- Naveh-Benjamin, M., Brav, T. K., & Levy, O. (2007). The associative memory deficit of older adults: the role of strategy utilization. *Psychology and Aging*, 22(1), 202.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Kilb, A., & Reedy, S. (2004). The Associative Memory Deficit of Older Adults: Further Support Using Face-Name Associations. *Psychology and Aging*, 19(3), 541–546. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.3.541>
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., & Shulman, S. (2004). Older adults' associative deficit in episodic memory: Assessing the role of decline in attentional resources. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1067–1073.
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003a). Adult age differences in episodic memory: further support for an associative-deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 826.
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003b). Adult age differences in episodic memory: further support for an associative-deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 826.
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science*, 316(5827), 1002–1005.
- Niedenthal, P. M., Winkielman, P., Mondillon, L., & Vermeulen, N. (2009). Embodiment of emotion concepts. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(6), 1120.
- Nyberg, L., & Nilsson, L.-G. (1995). The role of enactment in implicit and explicit memory. *Psychological Research*, 57(3–4), 215–219. <https://doi.org/10.1007/BF00431282>
- Ollat, H. (1993). L'insuffisance dopaminergique, reflet du vieillissement cérébral: intérêt d'un agoniste dopaminergique, le piribédil. *Journal of Neurology*, 240(1), S13–S16.
- Ouwehand, K., Gog, T. van, & Paas, F. (2016). Effects of pointing compared with naming and observing during encoding on item and source memory in young and older adults. *Memory*, 24(9), 1243–1255. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1094492>
- Parkin, A. J., Walter, B. M., & Hunkin, N. M. (1995). Relationships between normal aging, frontal lobe function, and memory for temporal and spatial information. *Neuropsychology*, 9(3), 304–312. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.9.3.304>
- Piolino, P., Desgranges, B., Clarys, D., Guillery-Girard, B., Tacconnat, L., Isingrini, M., & Eustache, F. (2006). Autobiographical memory, auto-noetic consciousness, and self-perspective in aging. *Psychology and Aging*, 21(3), 510.

- Purkart, R., Versace, R., & Vallet, G. T. (2017). *L'induction de spécificité épisodique comme entraînement à la récupération de souvenirs autobiographiques : Exploration des mécanismes sous-jacents dans une approche incarnée et située.*
- Rey, A. E., Riou, B., Muller, D., Dabic, S., & Versace, R. (2015). "The mask who wasn't there": visual masking effect with the perceptual absence of the mask. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 41(2), 567–573. <https://doi.org/10.1037/xlm0000051>
- Rey, A. E., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., & Versace, R. (2015). Memory plays tricks on me: Perceptual bias induced by memory reactivated size in Ebbinghaus illusion. *Acta Psychologica*, 161, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.08.011>
- Rimmele, U., Davachi, L., Petrov, R., Dougal, S., & Phelps, E. A. (2011). Emotion enhances the subjective feeling of remembering, despite lower accuracy for contextual details. *Emotion*, 11(3), 553.
- Rimmele, U., Davachi, L., & Phelps, E. A. (2012). Memory for time and place contributes to enhanced confidence in memories for emotional events. *Emotion*, 12(4), 834.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory improves visual search. *Memory & Cognition*, 39(6), 1094–1102.
- Roediger, H. L. (1980). Memory metaphors in cognitive psychology. *Memory & Cognition*, 8(3), 231–246.
- Royet, J.-P., Zald, D., Versace, R., Costes, N., Lavenne, F., Koenig, O., & Gervais, R. (2000). Emotional responses to pleasant and unpleasant olfactory, visual, and auditory stimuli: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience*, 20(20), 7752–7759.
- Russel, J., A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403.
- Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of Aging*, 30(4), 507–514.
- Schachter, S., & Singer, J. (1962). Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state. *Psychological Review*, 69(5), 379.
- Schnall, S., Harber, K. D., Stefanucci, J. K., & Proffitt, D. R. (2008). Social support and the perception of geographical slant. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(5), 1246–1255.

- Schnall, S., Zadra, J. R., & Proffitt, D. R. (2010). Direct evidence for the economy of action: Glucose and the perception of geographical slant. *Perception*, 39(4), 464–482.
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 20(1), 11.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22(2), 261–273.
- Sliwinski, M., & Buschke, H. (1999). Cross-sectional and longitudinal relationships among age, cognition, and processing speed. *Psychology and Aging*, 14(1), 18.
- Snodgrass, J. G., & Vanderwart, M. (1980). A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, and visual complexity. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 6(2), 174–215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.6.2.174>
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context: a meta-analysis. American Psychological Association.
- Sperling, R., Chua, E., Cocchiarella, A., Rand-Giovannetti, E., Poldrack, R., Schacter, D. L., & Albert, M. (2003). Putting names to faces: Successful encoding of associative memories activates the anterior hippocampal formation. *Neuroimage*, 20(2), 1400–1410.
- Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: Multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 232–243.
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028.
- Stock, A., & Stock, C. (2004). A short history of ideo-motor action. *Psychological Research*, 68(2–3), 176–188.
- Syssau, A. (1998). Le vieillissement de la mémoire: approche globale et approche analytique. *L'année Psychologique*, 98(3), 451–473.
- Tardif, S. (2014). Processus associatifs en mémoire épisodique dans le vieillissement normal et dans le trouble cognitif léger de type amnésique. University of Laval.
- Tiberghien, G., & Lecocq, P. (1983). Rappel et reconnaissance: encodage et recherche en mémoire (Vol. 2). Presses Univ. Septentrion.

- Touryan, S. R., Marian, D. E., & Shimamura, A. P. (2007). Effect of negative emotional pictures on associative memory for peripheral information. *Memory*, 15(2), 154–166. <https://doi.org/10.1080/09658210601151310>
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Troyer, A. K., D'Souza*, N. A., Vandermorris, S., & Murphy, K. J. (2011). Age-related differences in associative memory depend on the types of associations that are formed. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 18(3), 340–352.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. T. W. Donaldson (Ed.), *Organization of memory* (pp. 381–403). New York : Academic Press.
- Tulving, E. (1984). *Precis of elements of episodic memory*. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(02), 223–238.
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 26(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo vadis. *The Cognitive Neurosciences*, 839–847.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 1–25.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80(5), 352.
- Valentijn, S. A. M., Van Boxtel, M. P. J., Van Hooren, S. A. H., Bosma, H., Beckers, H. J. M., Ponds, R. W. H. M., & Jolles, J. (2005). Change in Sensory Functioning Predicts Change in Cognitive Functioning: Results from a 6-Year Follow-Up in the Maastricht Aging Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 374–380. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53152.x>
- Vallet, G. (2012). *Une approche incarnée du vieillissement normal et pathologique: compréhension du fonctionnement mnésique selon les interactions entre mémoire et perception*. Lyon 2.
- Vallet, G. T., Fortin, C., & Simard, M. (2012). Préparation à réagir et vieillissement: synthèse et nouvelles perspectives de recherche dans l'étude des effets préparatoires. *L'année Psychologique*, 112(02), 309–339.
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: cognitive science and human experience*. Massachusetts Institute of Technology.

- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(4), 522–560. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). La mémoire dans tous ses états. Groupe de Boeck.
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The Role of Emotion in Multimodal Integration. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (21, Vol. 1, 2007).
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Wang, B. (2015). Negative emotion elicited in high school students enhances consolidation of item memory, but not source memory. *Consciousness and Cognition*, 33, 185–195.
- Waring, J. D., & Kensinger, E. A. (2009). Effects of emotional valence and arousal upon memory trade-offs with aging. *Psychology and Aging*, 24(2), 412.
- Waters, F. A., Maybery, M. T., Badcock, J. C., & Michie, P. T. (2004). Context memory and binding in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 68(2), 119–125.
- Watson, D., Wiese, D., Vaidya, J., & Tellegen, A. (1999). The two general activation systems of affect: Structural findings, evolutionary considerations, and psychobiological evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(5), 820.
- Whittlesea, B. W. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(1), 3.
- Whittlesea, B. W. A. (1989). Selective attention, variable processing, and distributed representation: Preserving particular experiences of general structures. In *Parallel distributed processing: Implications for psychology and neurobiology* (pp. 76–101). New York, NY, US: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Willems, R. M., Hagoort, P., & Casasanto, D. (2010). Body-specific representations of action verbs: Neural evidence from right-and left-handers. *Psychological Science*, 21(1), 67–74.
- Willems, R. M., Toni, I., Hagoort, P., & Casasanto, D. (2009). Body-specific motor imagery of hand actions: neural evidence from right-and left-handers. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625–636.

- Wu, L., & Barsalou, L. W. (2009). Perceptual simulation in conceptual combination: Evidence from property generation. *Acta Psychologica*, 132(2), 173–189.
- Zhong, C.-B., & Liljenquist, K. (2006). Washing away your sins: Threatened morality and physical cleansing. *Science*, 313(5792), 1451–1452.
- Zimmer, H. D., & Ecker, U. K. (2010). Remembering perceptual features unequally bound in object and episodic tokens: Neural mechanisms and their electrophysiological correlates. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1066–1079.
- Zimmer, H. D., Mecklinger, A., & Lindenberger, U. (2006). Levels of binding: types, mechanisms, and functions of binding in remembering. In *Handbook of binding and memory: Perspectives from cognitive neuroscience* (pp. 3–22). Oxford University Press.
- Zwaan, R. A., Madden, C. J., Yaxley, R. H., & Aveyard, M. E. (2004). Moving words: Dynamic representations in language comprehension. *Cognitive Science*, 28(4), 611–619.

Annexes

Annexe A

Matériel utilisé dans les études rapportées dans les chapitres 3 et 4

Issues de la base de données de Snodgrass & Vanderwart (1980)

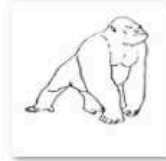




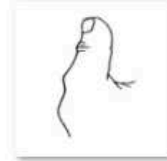
31.png



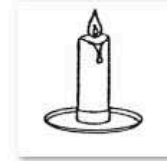
32.png



33.png



34.png



35.png



36.png



37.png



38.png



39.png



40.png



41.png



42.png



43.png



44.png



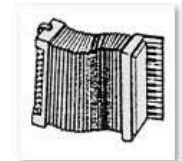
45.png



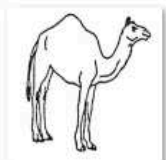
46.png



47.png



48.png



49.png



50.png



51.png



52.png



53.png



54.png



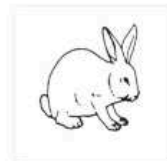
55.png



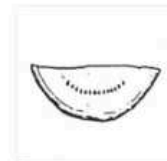
56.png



57.png



58.png



59.png



60.png



61.png



62.png



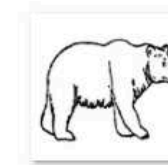
63.png



64.png



65.png



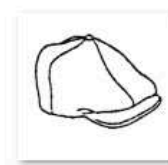
66.png



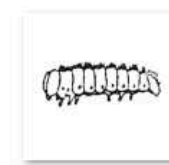
67.png



68.png



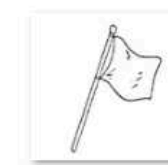
69.png



70.png



71.png



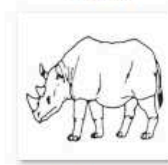
72.png



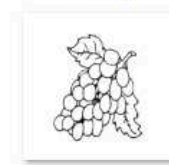
73.png



74.png



75.png



76.png



77.png



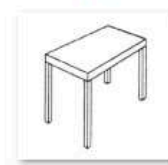
78.png



79.png



80.png



81.png



82.png



83.png



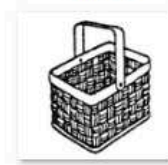
84.png



85.png



86.png



87.png



88.png



89.png



90.png



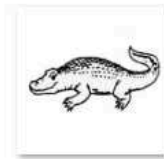
91.png



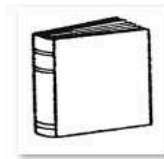
92.png



93.png



94.png



95.png



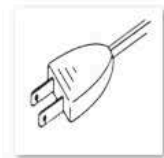
96.png



97.png



98.png



99.png



100.png



101.png



102.png



103.png



104.png



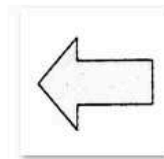
105.png



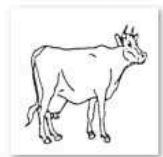
106.png



107.png



108.png



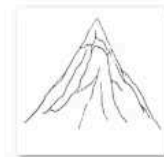
109.png



110.png



111.png



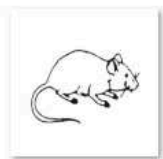
112.png



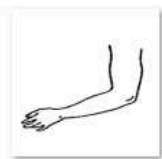
113.png



114.png



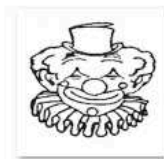
115.png



116.png



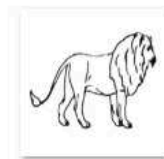
117.png



118.png



119.png



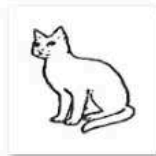
120.png



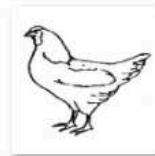
121.png



122.png



123.png



124.png



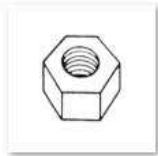
125.png



126.png



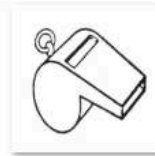
127.png



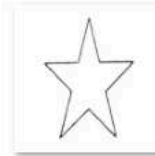
128.png



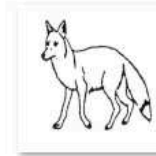
129.png



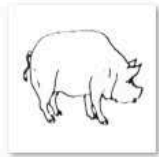
130.png



131.png



132.png



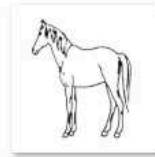
133.png



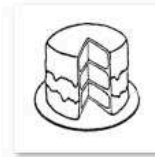
134.png



135.png



136.png



137.png



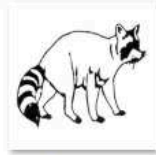
138.png



139.png



140.png



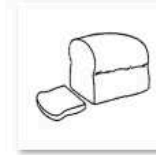
141.png



142.png



143.png



144.png



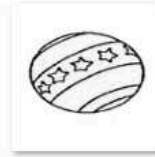
145.png



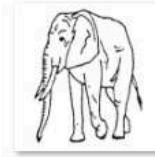
146.png



147.png



148.png



149.png



150.png



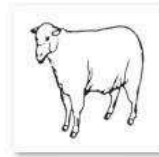
151.png



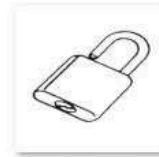
152.png



153.png



154.png



155.png



156.png



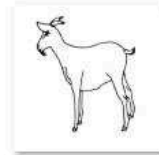
157.png



158.png



159.png



160.png



161.png



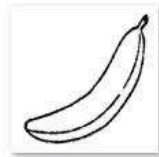
162.png



163.png



164.png



165.png



166.png



167.png



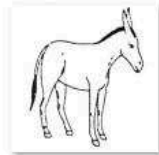
168.png



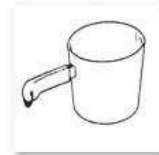
169.png



170.png



171.png



172.png



173.png



174.png



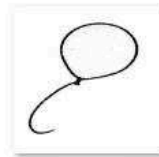
175.png



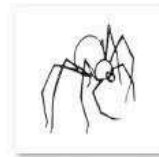
176.png



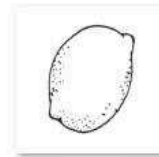
177.png



178.png



179.png



180.png



181.png



182.png



183.png



184.png



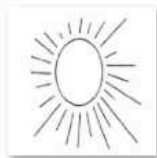
185.png



186.png



187.png



188.png



189.png



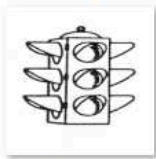
190.png



191.png



192.png



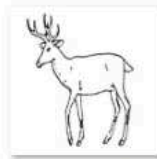
193.png



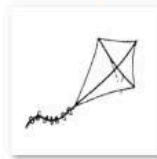
194.png



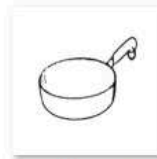
195.png



196.png



197.png



198.png



199.png



200.png



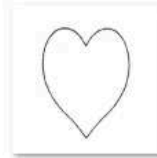
201.png



202.png



203.png



204.png



205.png



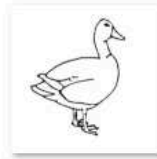
206.png



207.png



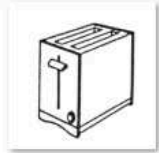
208.png



209.png



210.png



211.png



212.png



213.png



214.png



215.png



216.png



217.png



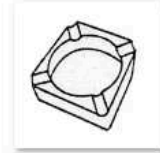
218.png



219.png



220.png



221.png



222.png

Annexe B

Images neutres utilisées dans les études présentées dans les chapitres 5 et 6

Issues de Sava, A., & Chainay, H. (in prep).





43.png



44.png



45.png



46.png



47.png



48.png



49.png



50.png



51.png



52.png



53.png



54.png



55.png



56.png



57.png



58.png



59.png



60.png



61.png



62.png



63.png



64.png



65.png



66.png



67.png



68.png



69.png



70.png



71.png



72.png



73.png



74.png



75.png



76.png



77.png



78.png



79.png



80.png



81.png



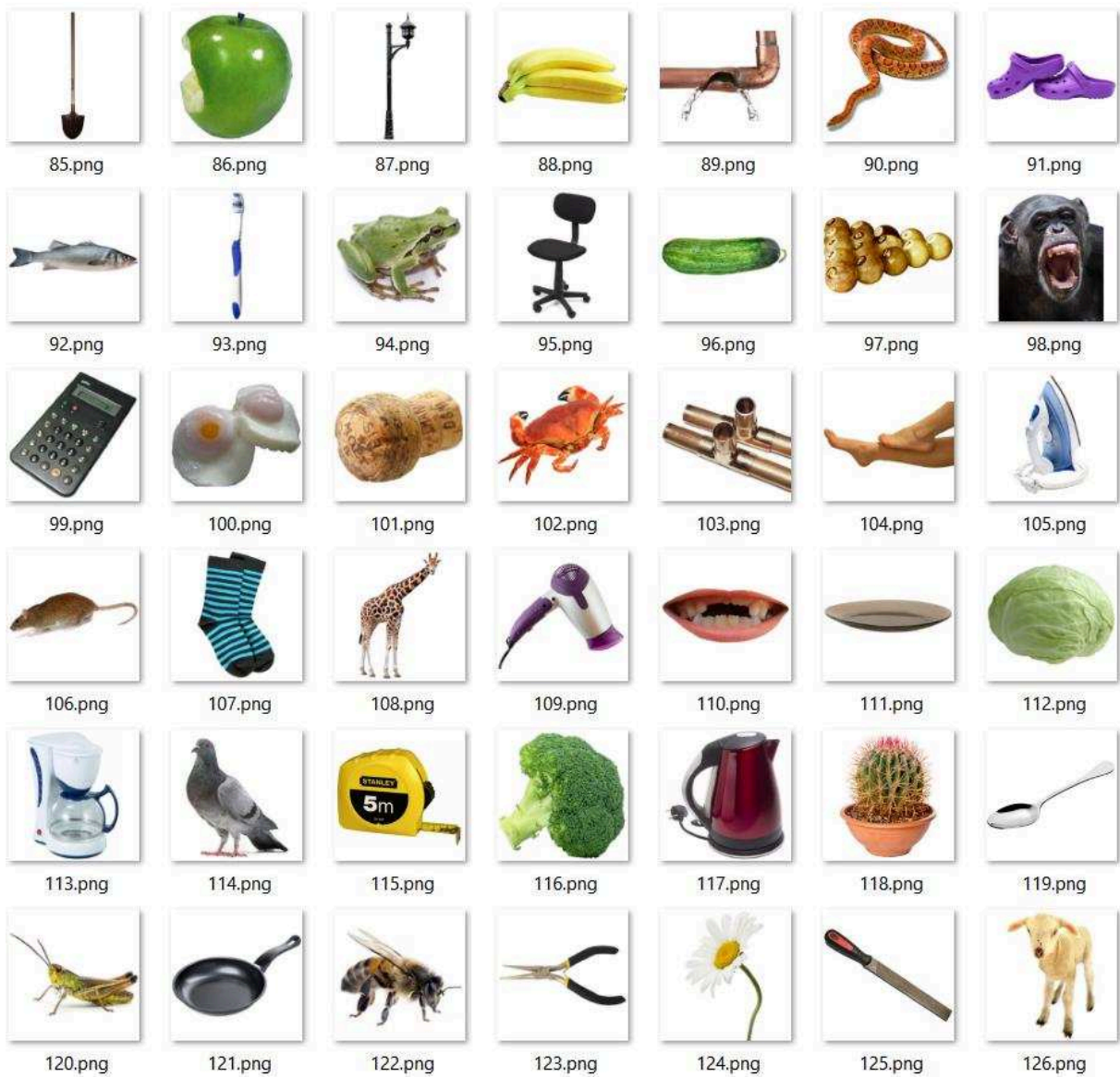
82.png

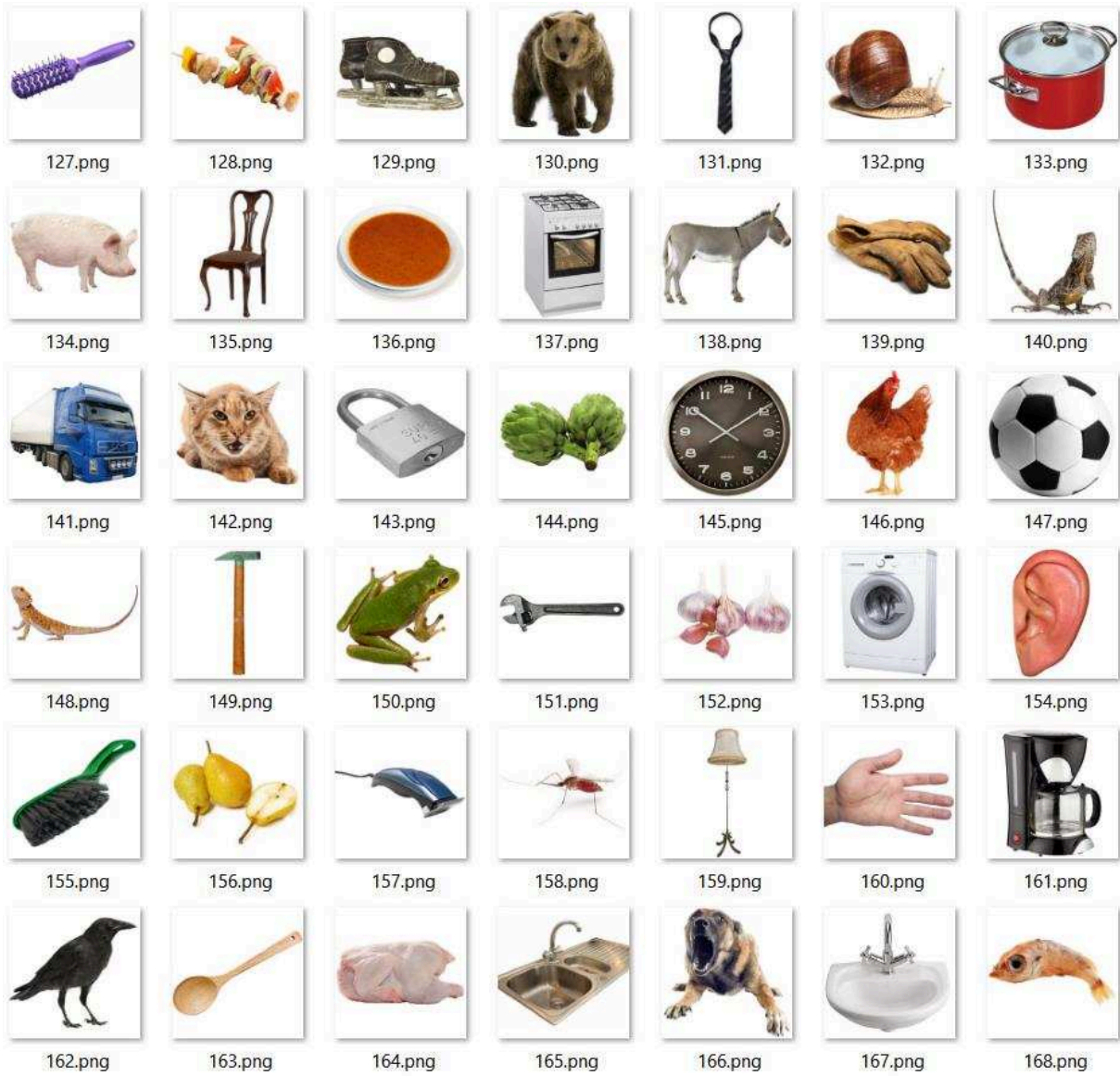


83.png



84.png







169.png



170.png



171.png



172.png



173.png



174.png



175.png



176.png



177.png



178.png



179.png



180.png



181.png



182.png



183.png



184.png



185.png



186.png



187.png



188.png



189.png



190.png



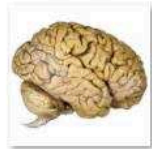
191.png



192.png



193.png



194.png



195.png



196.png



197.png



198.png



199.png



200.png

Annexe C

Images négatives utilisées dans l'étude présentée dans le chapitre 6

Issues de Sava, A., & Chainay, H. (in prep).

