

GUILLAUME VALLET

**Une approche incarnée du vieillissement normal
et pathologique :
Compréhension du fonctionnement mnésique selon les
interactions entre mémoire et perception**

Thèse de doctorat en cotutelle présentée

à la Faculté des études supérieures et postdoctorales de l'Université Laval
dans le cadre du programme de Doctorat de Psychologie Recherche
pour l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)

Sciences Sociales
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC, CANADA

et

à l'Université Lumière Lyon 2
dans le cadre du programme de doctorat en psychologie cognitive
pour l'obtention du grade de Docteur en Psychologie de l'Université de Lyon

Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC), EA 3082
École doctorale de Neurosciences et Cognition (NSCo)

UNIVERSITÉ DE LYON
LYON, FRANCE

2012

Résumé

Le vieillissement et la maladie d'Alzheimer sont caractérisés par des difficultés mnésiques essentiellement épisodiques. Ces difficultés sont associées à leurs altérations sensorielles et perceptives. Ces liens s'expliqueraient naturellement par les approches incarnées de la cognition qui définissent des propriétés et processus communs entre mémoire et perception. Ces approches supposent une émergence dynamique des connaissances à partir d'un système de mémoire unique dans lequel les connaissances sont définies comme ancrées dans leurs propriétés modales, essentiellement celles sensori-motrices. À travers la nature des interactions multisensorielles pour des connaissances familières, ce travail de thèse propose de tester les approches incarnées de la cognition auprès de jeunes adultes, personnes âgées saines et patients souffrant de la maladie d'Alzheimer. Ces interactions sont supposées être indirectes et sémantiques dans les approches multisystémiques, alors qu'elles seraient directes et perceptives pour les approches incarnées. Deux séries d'expériences ont été conduites. Pour chacune d'elle, une batterie complète de tests neuropsychologiques ainsi qu'un paradigme d'amorçage inter-sensoriel (audition vers vision) ont été complétés. L'originalité du paradigme fut l'ajout, pour la moitié des amorces auditives, d'un masque visuel sans signification. L'Expérience 1 reposait sur un format à long terme – deux phases distinctes – alors que l'Expérience 2 sur un format à court terme – amorce et cible présentées dans un même essai. Cette adaptation permet la manipulation de la congruence sémantique afin de tester plus précisément le rôle de l'attention dans ces interactions multisensorielles. Les résultats démontrent un effet d'amorçage inter-sensoriel pour les jeunes adultes et les personnes âgées. Le masque a interféré avec cet effet d'amorçage, mais uniquement lorsque l'amorce et la cible correspondent à une même connaissance. Cette interférence et sa spécificité supportent l'hypothèse d'interactions multisensorielles directes et perceptives ce qui suggèrent que les jeunes adultes comme les personnes âgées auraient des connaissances modales. En revanche, les patients Alzheimer ne présentent pas d'effet d'amorçage alors que celui-ci est de nature perceptive (effet du masque). Ces résultats supportent l'idée d'une déconnexion cérébrale dans la maladie d'Alzheimer. L'ensemble des données permet de supposer que les difficultés mnésiques dans le vieillissement s'expliqueraient essentiellement par une dégradation de la qualité de leurs connaissances, et donc de leur perception. Les troubles mnésiques dans la maladie d'Alzheimer proviendraient quant à eux d'un déficit d'(ré)-intégration dynamique des différentes composantes des connaissances. Cette recherche supporte les approches incarnées de la cognition et démontre la pertinence de ces approches pour des problématiques neuropsychologiques comme celle du vieillissement. Ces approches ouvrent la voie à de nouvelles recherches plaçant les interactions entre mémoire et perception au coeur du fonctionnement mnésique.

Abstract

Normal aging as Alzheimer's disease are characterized by memory disorders, primarily for episodic memory. These two populations also present a sensory and perceptive decline, which are strongly correlated with their cognitive impairment. The links between memory and perception may be easily explained in the embodied cognition theory. Indeed, embodiment states that knowledge dynamically emerges from a single memory system in which knowledge remains grounded in its properties, essentially sensory-motor properties. Consequently, perception and memory are closer than previously thought and the links between perception and memory moving to the foreground. The objective of the present research is to assess the embodied cognition theory applied to normal aging and Alzheimer's disease. To this aim, the nature of the semantic multisensory interactions was tested. According to the multiple memory systems framework, these interactions are indirect and semantic, whereas the embodied cognition theory states that these interactions are direct and perceptual. Young adults, healthy elderly and patients with Alzheimer's disease completed two experiments. Each experiment was composed of a complete neuropsychological battery and one cross-modal priming paradigm (audition to vision). The novelty of the paradigm was to present a visual meaningless mask for half of the sound primes. Experiment 1 was composed of two distinct phases, whereas the prime and the target were presented in the same trial in Experiment 2. The adaptation of the paradigm in Experiment 2 allowed manipulating the semantic congruency in order to test the attention hypothesis that might underlie the cross-modal interactions. The results demonstrated a significant cross-modal priming effect in young and healthy elderly adults. The mask has interfered with the priming effect only in the semantic congruent situations. The mask interference and its specificity support the direct and perceptual nature hypothesis of the semantic multisensory interactions. This is suggesting that young and elderly adults have modal knowledge. Reversely, the patients with Alzheimer's disease did not show any priming effect while the effect is perceptual. This result supports the cerebral disconnection hypothesis in Alzheimer's disease. The data taken together suggest that memory disorders in normal aging could be related to a degradation of the quality of their perception and thus of knowledge. Memory impairments in Alzheimer's disease might come from an integration disorder to bind dynamically the different components of a memory. The present research support the embodied cognition theory and demonstrates the interest of this kind of approach to explore memory functioning in neuropsychology, such as in aging. These approaches open new avenues of research by focusing on processes rather than systems and by putting on the foreground the interactions between memory and perception.

*À la mémoire de ma mère, Colette Vallet.
Merci de m'avoir transmis ton amour du savoir, de la
recherche et du partage.*

*“Il n'est pas encore démontré que
l'oubli existe ; tout ce que nous savons,
c'est qu'il n'est pas en notre pouvoir de
nous ressouvenir”
Friedrich Nietzsche – Aurore*

Avant-propos

Ce projet de recherche se situe au carrefour de la psychologie cognitive (supervision Pr. Rémy Versace, Université Lyon 2) et la neuropsychologie (supervision Pre. Martine Simard, Université Laval). Ainsi, les paradigmes d’amorçages et la modélisation théorique sont issus de la psychologie cognitive, alors que le travail auprès de personnes âgées avec et sans trouble de mémoire ainsi que les batteries de tests neuropsychologiques proviennent de la neuropsychologie. Afin d’assurer une validité et une expertise équivalente dans chacun de ces domaines, ce travail s’est inscrit dans le cadre d’une cotutelle de thèse.

Jury de thèse :

Pr. Patrick LEMAIRE, Université de Provence (France)	Rapporteur
Pr. Denis BROUILLET, Université Montpellier 3 (France)	Rapporteur
Pr. Martial VAN DER LINDEN, Université de Genève (Suisse)	Examinateur
Pre. Claudette FORTIN, Université Laval (Québec, Canada)	Examinateur

La conceptualisation du projet s’est faite conjointement avec Guillaume Vallet, Rémy Versace et Martine Simard. Guillaume Vallet a mené à bien la collecte de données, les analyses statistiques, l’interprétation des résultats obtenus et rédigé le contenu de cette thèse. Ces tâches ont été effectuées sous la co-supervision de Rémy Versace et de Martine Simard. Des cinq articles inclus dans cette thèse, tous, sauf celui sur le modèle Act-In (chapitre 5), furent rédigés principalement par Guillaume Vallet qui en est le premier auteur. Le premier article, sur le modèle SPI (chapitre 4), a été soumis pour publication au Journal of Cognitive Psychology le premier décembre 2011. Le troisième article sur l’amorçage à long terme dans le vieillissement (chapitre 6) fut publié en 2011 dans la revue Current Aging Science (vol. 4, issue n° 2, pp. 137–149). Mme Stéphanie Mazza, Ph.D. a contribué à l’écriture et interprétation des résultats présentés dans l’article la nature des interactions multisensorielles sémantiques dans le vieillissement normal (chapitre 7). Cet article a été soumis pour publication dans la revue Acta Psychologica le 29 février 2012. De même, Carol Hudon, Ph.D. a contribué à l’écriture et interprétation des résultats présentés dans l’article présentant les données des patients atteints de la maladie d’Alzheimer (chapitre 8), article soumis pour publication dans la revue Cortex le 08 mars 2012. L’article sur le modèle Act-In a été principalement écrit et conceptualisé par Rémy Versace dont il est le premier auteur. Guillaume Vallet et les autres co-auteurs ont tous participé à la modélisation d’Act-In et à l’écriture de l’article. L’article sur Act-In est en préparation pour re-soumission. Tous les co-auteurs ont lu et approuvé le contenu de(s) l’article(s) auxquels ils sont associés.

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mes deux superviseurs de thèse : Rémy Versace et Martine Simard. Merci Rémy pour le suivi que vous m'avez offert, en Licence 3 et puis ensuite du Master recherche à la fin de la thèse. Vous avez su me donner la liberté dont j'avais besoin pour explorer diverses pistes de recherche tout en restant très disponible. La pertinence de vos conseils, votre expertise méthodologique ainsi que votre ouverture scientifique ont été indispensables à la bonne réussite de ce travail et à ma formation. J'ai eu la chance de revenir sur Lyon au moment où vous avez pris le risque de vous aventurer dans le vieillissement, ce qui m'a permis de travailler au croisement des chemins entre la psychologie cognitive et la neuropsychologie. Vous avez poursuivi ce pari avec cette cotutelle, pari partagé par Martine. Merci Martine d'avoir osé "embarquer" dans cette aventure singulière et de t'être battue pour qu'elle puisse avoir lieu. Travailler avec toi m'aura appris d'innombrables choses, dont une méthodologie de publication qui est essentielle pour la carrière académique que je souhaite suivre. Merci pour tes conseils et tes encouragements. Merci à vous deux pour la souplesse dont vous avez du faire preuve pour cette cotutelle.

Ensuite, je souhaite exprimer ma gratitude envers tous les participants de ce projet. Merci aux jeunes adultes, étudiants ou jeunes travailleurs, pour votre temps. Mais surtout, je tiens à remercier le plus chaleureusement possible les personnes âgées, avec ou sans difficulté de mémoire, qui ont bien voulu prendre part à ces expériences. Merci du fond du coeur de m'avoir reçu durant ces heures nécessaires pour compléter ces longues batteries de tests. Vous avez su me faire confiance et vous avez accepté de parler et faire tester votre mémoire, sujet inquiétant pour beaucoup. Vous avez donné le meilleur de vous même, malgré cette possible inquiétude, et malgré vos difficultés le cas échéant. Merci aux proches également d'avoir su me faire confiance.

Je tiens à remercier les membres du comité de suivi de thèse. Merci de votre participation volontaire, votre aide et vos conseils avisés. Je voulais souligner la présence de Stéphanie au dernier séminaire de dépôt. Merci de t'être déplacée et d'avoir travaillé sur cette thèse alors que tu étais en congé maternité. Tes conseils et avis me sont toujours utiles. Un merci particulier à Claudette pour votre rigueur et votre humanité, mais aussi pour le suivi du projet sur les effets préparatoires. J'ai beaucoup appris grâce à vous. Un merci anticipé aux membres du jury de thèse. Je tiens à souligner l'honneur que représente pour moi votre participation. Vous apportez, chacun à votre façon, un nouveau regard sur la mémoire, le vieillissement et la maladie d'Alzheimer. J'ai hâte de pouvoir échanger directement avec vous lors de la soutenance à venir.

Mes remerciements vont naturellement vers mes collègues de l'Université Laval. Bien que nous n'ayons pas eu toujours l'occasion d'échanger beaucoup, j'ai apprécié travailler avec vous, Stéphanie, Caroline, Marie-Ève, Léonie, Maxime et Alexandre. J'adresse d'ailleurs un clin d'oeil particulier à Caro pour nos sorties bières et à Stéphanie pour les heureux événements à venir. Un grand merci à Jessica qui m'a permis de compléter le recrutement. J'adresse un salut tout particulier et un énorme merci à Carol Hudon pour avoir partagé l'accès à sa banque de données. Je tiens à saluer ta confiance dans mon projet qui m'a permis de travailler avec des personnes souffrantes de démence sémantique en collaboration avec Joël Maccoir et Nathalie Bier.

Je tiens à remercier sincèrement mes collègues et amis du laboratoire EMC. Je ne peux pas tous vous citer ici, mais j'ai apprécié être dans cet environnement stimulant. Je tiens à souligner ici l'apport de Guillemette Badard à ce projet de thèse. Elle fut à l'origine des travaux sur l'amorçage inter-sensoriel masqué. Merci pour ton aide. Merci à Arnaud pour ton temps et tes conseils, surtout lié à l'informatique (dont les magnifiques grilles d'images en annexes). Je suis heureux de t'avoir rencontré et je suis sûr qu'on aura l'occasion de rester en contact. Merci à Mathieu pour nos discussions pertinentes, ta bonne humeur et tes bonnes idées. J'espère que tu sauras reconnaître ta valeur de scientifique. Merci à Lionel pour ton expertise en psychologie expérimentale, nos débats parfois bouillonnants, et nos discussions toujours enrichissantes. Je suis heureux que tu aies obtenu ce poste de maître de conférences, je suis certain que tu sauras mettre à profit tes nombreuses idées. J'ai hâte de pouvoir collaborer avec toi sur de nouveaux projets. Merci à Benjamin. Bien que nous n'ayons pas beaucoup l'occasion de nous voir, chaque rencontre est toujours un événement. Merci pour tout, car encore une fois, je reconnais en toi un vrai scientifique dont j'ai toujours à apprendre. Merci pour ton intégrité et ton originalité, tu apportes une brise de légèreté dans le marasme et le fatalisme de la Recherche. Enfin, un merci tout particulier à Benoit. Tu as été un conscrit de M2R, un collègue de thèse, un bon conseiller et surtout un ami. Tu sais me remettre les pieds sur terre et me rappeler où se trouvent les vraies valeurs. Je ne peux pas synthétiser ici toutes les bonnes choses qui mériteraient d'être mentionnées, alors je te dis MERCI, merci pour tout.

Merci à mes amis et mes proches. À défaut de tous vous nommer ici, je préfère cette tournure générale dans laquelle chacun d'entre vous pourra se reconnaître. Je suis heureux de vous avoir dans ma vie, même si mon 'emploi du temps de ministre' n'est pas toujours très pratique. Un remerciement particulier tout de même pour Sara et son expertise du français, ainsi que pour Séverine et son soutien indéfectible. Je me dois aussi de souligner l'aide très appréciable et appréciée de Jérémy et Anabelle qui m'ont héberger lors de mes séjours français, un grand merci à vous deux. Un merci sincère et appuyé à Sarah et Mathieu. Merci pour tout ce que nous avons pu et pourrons partager. Vous êtes des amis précieux. Un chaleureux

merci du fond du coeur à ma famille, Gaby et Jeanine. Je sais que ces différentes années n'ont pas toujours été simples, mais vous avez toujours été là. Merci de m'avoir supporté dans cette quête qu'est le doctorat, surtout en cotutelle, et merci d'accepter ma vie chez nos cousins lointains.

Futhermore, I wish to thank David Shore for his supervision of my research training in MacMaster University. It was a really great experience, where I had the opportunity to learn so much. Thank you very much David for what you teach to me and the projects that we are still running together.

Je tiens à remercier également Mme Hélène Beaunieux. Merci pour votre encadrement pour mes projets de Master et surtout merci de m'avoir formé à la recherche et à la neuropsychologie. Je sais ce que je vous dois.

Je souhaiterais aussi remercier la région Rhône-Alpes qui a financé mon allocation, et ce projet de recherche. Merci de m'avoir permis de réaliser ce beau projet. Merci également au consulat de France et au FQRNT pour la bourse Frontenac qui facilite les cotutelles. Votre soutien nous est indispensable.

J'aimerais conclure ces remerciements en les dédiant à Marie-Ève, ma conjointe. Merci de m'avoir accompagné tout au long de cette cotutelle, de m'avoir soutenu et encouragé dans les moments difficiles. Merci aussi d'avoir affronté la distance et le temps avec moi. Merci pour tes sourires, tes joies, ton amour... T'avoir dans ma vie est une des choses les plus précieuses qui me soit donnée.

Table des matières

Table des matières	xiv
Liste des tableaux	xvi
Table des figures	xviii
I Introduction générale	1
0.1 Structuralisme versus fonctionnalisme	4
0.2 Vieillessement normal et maladie d'Alzheimer	5
0.2.1 Vieillessement cognitif sain et maladie d'Alzheimer	6
0.2.2 Intérêts de recherche	7
0.3 Objectifs généraux et organisation de la thèse	7
1 Une histoire de représentations	9
1.1 Représentations mentales ?	9
1.2 Approches représentationnelles	10
1.2.1 Du monde des Idées à la vision topographique de la mémoire	10
1.2.2 Des représentations et des modules	12
1.2.3 Approches multisystèmes	13
1.3 Approches incarnées	15
1.3.1 Empirisme	15
1.3.2 Du connexionnisme aux théories incarnées ou situées de la cognition	17
2 Vieillessement normal	21
2.1 Généralités	21
2.2 Vieillessement cognitif et théories explicatives	24
2.2.1 Les théories globales	24
2.2.2 Les théories analytiques	25
2.3 Aspects sensoriels et intégration	29
2.3.1 Sens et perception	29
2.3.2 Liens entre perceptions et cognition	30
2.3.3 Intégration multisensorielle	32
2.4 Approches incarnées et vieillessement normal	33

3	La maladie d'Alzheimer	35
3.1	Généralités et épidémiologie	35
3.1.1	Critères diagnostiques actuels	36
3.1.2	Nouveaux critères diagnostiques	36
3.1.3	Atteintes cérébrales	37
3.2	Tableau cognitif	38
3.2.1	Approche classique	39
3.2.2	Approche moderne	41
3.3	Perception et intégration multisensorielle	43
3.3.1	Sens et perception	43
3.3.2	Liens entre perception et cognition	44
3.3.3	Intégration multisensorielle	44
3.4	Approches incarnées et maladie d'Alzheimer	45

II Du structuralisme au fonctionnalisme des modèles mnésiques : le modèle SPI et Act-In

53

4	An overview of the Serial, Parallel, Independent Model.	55
4.1	Introduction	57
4.2	The origins of the SPI Model	57
4.3	The SPI model	60
4.4	Brain data and neuroimaging studies	61
4.4.1	Episodic memory	62
4.4.2	Working memory	65
4.4.3	Semantic memory	67
4.4.4	Perceptual Representative System	68
4.4.5	Procedural memory	69
4.5	Justification of the model	71
4.5.1	Phylogenetic and ontogenetic arguments	71
4.5.2	Data in adulthood and amnesia	72
4.5.3	Normal cognitive functioning	73
4.5.4	Data from functional neuroimaging	74
4.6	Critics and limitations	74
4.6.1	Limits of the relationship between the memory systems of the SPI model	75
4.6.2	Dissociations	76
4.6.3	Nature of knowledge in memory	78
4.6.4	Recognition	79
4.7	Beyond the limits and conclusions	79

References	81
-------------------	-----------

5	ACT-IN : An integrated view of memory mechanisms	93
----------	---	-----------

5.1	Introduction: Rationale for a compelling approach to memory	95
5.1.1	Are there qualitative differences between forms of knowledge?	95
5.1.2	Retrieval vs. Emergence	96
5.1.3	Assumptions underpinning ACT-IN	98
5.2	Act-In Model	98
5.2.1	Sensory-based distributed memory traces.	98
5.2.2	Knowledge emergence through Interactive Activations: Inter-trace and intra-trace activations	101
5.2.3	Forming New Traces	104
5.3	Categorical Activities	109
5.3.1	The emergence of categorical knowledge	110
5.3.2	Classical Results	112
5.4	Discriminating Activities	115
5.4.1	The distinctiveness effect	116
5.4.2	The level of integration	117
5.4.3	The potential of the current situation to reactivate specific traces	121
5.5	A grounding-based view of the link between memory and perception	123
5.6	Conclusion	127
	References	131
	III Des connaissances sensori-motrices : données chez les jeunes adultes et les personnes âgées	143
6	Sensory-dependent Knowledge in Young and Elderly Adults	145
6.1	Introduction	147
6.2	Methods	152
6.2.1	Participants	152
6.2.2	Material	153
6.2.3	Procedure and design	154
6.2.4	Statistical analysis	156
6.3	Results	157
6.3.1	Experimental results	157
6.3.2	Neuropsychological results	162
6.4	General Discussion	166
	References	171
6.A	Appendix	176
6.A.1	Age effect on the cognitive measures	176
7	The Perceptual nature of semantic audiovisual interactions	179
7.1	Introduction	181

7.2	Method	185
7.3	Results	189
7.3.1	Statistical analysis	189
7.3.2	Short term cross-modal priming paradigm	190
7.3.3	Neuropsychological results	192
7.4	General Discussion	193
References		199
7.A	Appendices	205
7.A.1	Correlations between the different experimental conditions in the young and older adults' groups.	205
7.A.2	Experimental results for each group.	205
IV Un syndrome de déconnexion cérébrale dans la mal- adie d'Alzheimer ?		209
8	The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease	211
8.1	Introduction	213
8.2	Experiment 1: Long-Term Priming Paradigm	216
8.2.1	Method	216
8.2.2	Results and Discussion	220
8.3	Experiment 2: Short-Term Priming Paradigm	224
8.3.1	Method	224
8.3.2	Priming task procedure	228
8.3.3	Results and Discussion	230
8.4	General discussion	232
References		237
V Discussion générale		245
9	Discussion des résultats expérimentaux	247
9.1	Rappel de la problématique générale	247
9.1.1	Deux approches théoriques de la mémoire	247
9.1.2	Vieillesse normale et maladie d'Alzheimer	248
9.1.3	Hypothèses générales	249
9.2	La nature des connaissances dans la cognition normale	250
9.2.1	Amorçage inter-sensoriel	251
9.2.2	Effet du masque sensoriel	252
9.2.3	Connaissances sensori-motrices chez les jeunes adultes et les personnes âgées saines	254
9.3	Syndrome de déconnexion cérébrale dans la maladie d'Alzheimer . .	256

10	Modèle Act-In	259
10.1	Amorçage inter-sensoriel et Act-In	259
10.1.1	Le modèle Act-In	259
10.1.2	Effets d’amorçage inter-sensoriel	260
10.2	Vieillessement normal et maladie d’Alzheimer	261
10.2.1	Vieillessement normal	261
10.2.2	Maladie d’Alzheimer	263
10.3	Réflexions sur le modèle Act-In	264
10.3.1	De l’intégration à la pondération des activations	264
10.3.2	Intégration intra-trace et inter-traces ?	266
10.3.3	Act-In et activités oscillatoires	269
11	Limites et expériences complémentaires souhaitables	271
11.1	Paradigmes d’amorçage inter-sensoriel	272
11.1.1	Taille d’échantillonnage	272
11.1.2	Matériel	273
11.1.3	Modalités et direction de l’amorçage	274
11.1.4	Variance et populations incluses	275
11.2	Tests neuropsychologiques et corrélations	276
11.2.1	Exhaustivité	277
11.2.2	Choix des tests	277
11.2.3	Corrélations	279
11.3	Expériences complémentaires	279
11.3.1	Réplifications et extension	279
11.3.2	Expériences contrôles	281
12	Conclusions	283
12.1	Conclusions générales	283
12.2	Et si la mémoire n’existait pas ?	285
	Bibliographie générale	287
VI	Annexes	319
A	Détails pour les expériences 1 et 2	321
A.1	Profil individuel des patients souffrants de la maladie d’Alzheimer	321
A.2	Stimuli expérimentaux inclus dans les expériences d’amorçage	322
A.2.1	Amorçage à long terme – Expérience 1	322
A.2.2	Amorçage à court terme – Expérience 2	324
B	Expériences complémentaires	327
B.1	Adaptation du Pyramids and Palm Trees Test (PPTT) : le SEMEP	327
B.1.1	SEMEP : un test de mémoire sémantique et épisodique	327

B.1.2	Résultats des participants au SEMEP	328
B.2	Amorçage inter-sensoriels à court terme dans la démence sémantique	330
B.2.1	Données des participants contrôles	331
B.2.2	Données des patients souffrants de démence sémantique . . .	332
B.3	Perception et mémoire dans le vieillissement	334

Liste des tableaux

6.1	Means and standard deviations for reaction times and correct response rates for young and elderly participants in the study phase.	157
6.2	Means and standard deviations for reaction times and correct response rates for young and elderly participants in the test phase.	158
6.3	Correlations between the mean of the experimental conditions latencies and the cognitive measures in the elderly group for the study and test phases.	163
7.1	Demographic and neuropsychological data by group.	186
7.2	Distribution of the number of stimuli as function of the experimental factors.	188
7.3	Mean reaction times and correct response rates for the young and older adults for the cross-modal priming paradigm.	191
7.4	Correlations in the elderly group between cognitive tests and the categorization task.	193
7.5	Correlations between the different experimental conditions in the young and older adults' group.	205
8.1	Demographic and neuropsychological data of healthy elderly adults and patients with AD included in Experiment 1.	217
8.2	Means and standard deviations for correct response rates and reaction times for the elderly and the patients with AD in the study phase of Experiment 1.	221
8.3	Means and standard deviations for the elderly and AD patients in all the experimental conditions of Experiment 1, test phase	222
8.4	Demographic and neuropsychological data of healthy elderly adults and patients with AD included in Experiment 2.	226
8.5	Repartition of the number of stimuli as function of the experimental factors.	228
8.6	Means and standard deviations for the elderly and AD patients in all the experimental conditions of Experiment 2	230
A.1	Listes des stimuli inclus dans l'expérience d'amorçage inter-sensoriel à long terme.	322
A.2	Listes des stimuli inclus dans l'expérience d'amorçage inter-sensoriel à court terme.	324

B.1	Présentation des tâches et scores du SEMEP en fonction de ses différentes parties.	328
B.2	Principales caractéristiques démographiques et scores au MMSE et temps de réaction simple des participants jeunes, âgés et patients Alzheimer.	329
B.3	Moyennes et écart-types des scores au SEMEP pour les participants jeunes, âgés et patients Alzheimer. Comparaison des moyennes (tests-t) entre les groupes jeunes et âgés d'une part, et les groupes âgées et patients souffrants de la MA d'autre part.	330
B.4	Caractéristiques démographiques, scores aux MMSE et temps de réaction simple des participants contrôles et patients atteints de démence sémantique.	331
B.5	Tableau d'ANOVA pour les participants contrôles.	332
B.6	Tableau d'ANOVA pour les patients souffrants de démence sémantique.	332
B.7	Moyennes et écart-types des scores aux RL/RI-16 items en fonction des groupes de jeunes adultes et personnes âgées.	334
B.8	Corrélations entre les réponses R/K, la mémoire et l'acuité visuelle et auditive dans le groupe des personnes âgées.	335

Table des figures

1.1	Illustration des modèles tablettes de la mémoire. Chaque expérience serait gravée/écrite sur une surface psychique malléable, la mémoire.	11
1.2	Illustration du fonctionnement mnésique selon une vision représentationnelle. Le stockage est central. L'encodage permet de transformer un souvenir en un code qui sera stocké. La récupération permet d'accéder à ces souvenirs – code	12
1.3	Schématisations de la vision abstractionniste (cognitivism) (a) et connexionniste (b) des connaissances. Selon le cognitivism, les propriétés (abrégées Pr.) modales sont abstraites (flèches) dans un concept sémantique amodal. Au contraire, le connexionnisme définit une émergence de la connaissance selon le profil d'activité du système. Toutes les propriétés peuvent être théoriquement reliées les unes aux autres.	19
3.1	Schématisation des interactions multisensorielles selon les approches abstractionnistes (a) et incarnées (b). La perception d'un stimulus (percept 1) dans une modalité (i.e. visuelle) va pré-activer le traitement de stimuli qui lui sont reliés en mémoire (percept 2 et 3), soit à travers la mémoire sémantique (a) soit directement (b). Les interactions multi-sensorielles sont respectivement soit sémantiques et indirectes soit perceptives et directes.	50
4.1	Adaptation of the model proposed by Tulving in 1985. An arrow means implies.	59
4.2	Adaptation of the SPI model developed by Tulving (1995). PRS = Perceptual Representation System.	61
4.3	Adaptation of SPI model proposed by Tulving (2001). PRS = Perceptual Representation System.	62
5.1	Schematic representation of Act-In based on the MINERVA II model (Hintzman, 1986).	102
5.2	A 'horizontal' view of the relations between memory and perception	126
6.1	Illustration of the experimental protocol.	156

6.2	Illustration of the interaction between the group and the item-type for the reaction times of priming gain (old conditions substracted from the new condition) with the standard errors.	159
7.1	Illustration of the experimental protocol. A sound is presented as the prime. For half of the sound primes, a meaningless visual mask is presented. Then, a photograph is categorized as an animal or as an artefact.	189
7.2	Means and standard errors for reaction times of the interaction between item-congruency and mask.	192
7.3	Interaction between the mask and the semantic congruency factors by group on the reaction times with standard errors.	206
8.1	Illustration of the experimental protocol of Experiment 1. All auditory primes were presented and categorized in the study phase. Then, all photograph targets were categorized. Half of the primes were presented with a visual meaningless mask.	220
8.2	Interaction between the group and the mask in the test phase of Experiment 1	222
8.3	Illustration of the experimental protocol in Experiment 2. A sound is presented as the prime. For half of the sound primes, a meaningless visual mask is presented. Then, a photograph is categorized either as an animal or as an artefact.	229
8.4	Interaction between the group and the mask in the test phase of Experiment 1	231
A.1	Profils individuels pour l'expérience 1 –phase test– (a) et 2 (b). Les temps de réaction (en ms) sont donnés en fonction des conditions expérimentales.	321
A.2	Présentation des miniatures des images incluses dans l'Expérience 1.	323
A.3	Présentation des miniatures des images incluses dans les conditions d'intérêts de l'Expérience 2.	325
A.4	Présentation des miniatures des images incluses dans les conditions exclues des analyses de l'Expérience 2.	326
B.1	Illustration de l'interaction entre le facteur congruence sémantique et le facteur masque pour le groupe de participants contrôles.	332
B.2	Illustration de l'interaction entre le facteur catégorie, congruence sémantique et masque pour le groupe de patients atteints de démence sémantique.	333

Première partie

Introduction générale

Introduction

Laisser des traces pour l'avenir est une des manières d'illustrer l'importance de la mémoire et remonte très loin dans l'histoire de l'Humanité. Cet intérêt peut se constater dans les premiers âges de l'Humanité avec les peintures murales, mais surtout par l'invention et l'usage intensif de l'écriture bien des siècles après jusqu'à nos jours. Ces traces ont alors surtout un rôle social et concernent la communauté. Néanmoins, la mémoire est aussi capitale dans la survie de l'individu (e.g. [Glenberg, 1997](#)). Ainsi, la mémoire constitue la base de notre identité (le « self ») et permet de s'appuyer sur les expériences passées et les connaissances acquises pour guider le comportement dans la situation présente ou les situations futures. C'est cette fonction qui est désignée par le terme mémoire dans le domaine de la recherche scientifique en psychologie cognitive et en neuropsychologie, approches qui nous intéressent plus particulièrement ici.

L'importance de la mémoire est d'autant plus visible dans les cas où elle fait défaut. Quotidiennement, de petites défaillances mnésiques surviennent normalement comme le fait de chercher ses mots, oublier un rendez-vous ou même ne pas reconnaître un visage. Ces oublis peuvent rapidement être agaçants, voir pénalisants dans certaines situations. Leurs impacts sont cependant mineurs comparativement aux conséquences d'altérations de la mémoire, comme celles observées dans le vieillissement normal et pathologique. Les personnes âgées rapportent non seulement une plainte mnésique, mais l'évaluation neuropsychologique permet d'objectiver ces difficultés. Celles-ci nécessitent une adaptation de la personne, adaptation possible dans le vieillissement, mais rapidement dépassée dans la maladie.

Cette illustration succincte des rôles de la mémoire souligne l'intérêt et l'importance de comprendre cette fonction et ses processus. L'étude de la mémoire en psychologie cognitive et en neuropsychologie n'est cependant pas singulière. Ainsi, cette étude adresse de nombreuses problématiques qui s'échelonnent du niveau le plus fondamental ([Eysenck, 1977](#)) aux considérations cliniques quotidiennes du praticien ([Kapur, 1994](#)). Les niveaux d'analyses s'échelonnent également des mécanismes biochimiques ([Shors, 2004](#)) aux études en neuro-imagerie du fonctionnement cognitif ([Squire, 2004](#)).

0.1 Structuralisme versus fonctionnalisme

Quel que soit le niveau d'analyse, les recherches s'inscrivent nécessairement dans des modèles théoriques particuliers. Ces modèles conditionnent la conceptualisation de la mémoire, essentiellement en définissant sa nature et son organisation, mais ils contraignent également l'opérationnalisation qui en est faite en recherche. Il apparaît, par conséquent, essentiel de comprendre et spécifier dans quel(s) modèle(s) s'inscrivent les recherches. Historiquement, les années 1960 à 1980 ont été une période riche de débats sur la nature des connaissances en mémoire et de leur organisation (Craik, 1979 ; Eysenck, 1977). Il ressort de la littérature deux grands courants de pensée que sont le structuralisme et le fonctionnalisme. Les partisans des approches structurales défendent l'existence de multiples systèmes mnésiques avec comme principaux arguments l'observation de dissociations cliniques et expérimentales (Baddeley, 1984 ; Graf & Schacter, 1985 ; Tulving, 1972). Au contraire, les défenseurs du fonctionnalisme soutiennent une organisation au sein d'un système de mémoire unique, approche qui se veut parcimonieuse et centrée sur les processus mnésiques plutôt que sur les systèmes (Anderson, 1976 ; Hintzman, 1984 ; Hintzman & Ludlam, 1980 ; Whittlesea, 1987).

L'accumulation d'observations de doubles dissociations a conduit l'approche structuraliste à devenir dominante à partir des années 1980 jusqu'à nos jours (Tulving, 2002b ; Squire & Schacter, 2003 ; Squire, 2004). Cette approche permet une explication simple des troubles mnésiques observés en attribuant un type d'atteinte à un système (e.g. Eustache & Desgranges, 2008 ; Tulving, 1995). Elle permet également l'élaboration de tests de mémoire qui ciblent plus ou moins spécifiquement ces systèmes (voir Botez, 1996). Cependant, les approches fonctionnalistes suscitent un regain d'intérêt depuis une quinzaine d'années, notamment avec l'introduction des théories de la cognition dites incarnées ou situées (e.g. Glenberg, 1997 ; Versace, Nervers, & Padovan, 2002 ; Wilson, 2002). Ces théories supposent que l'activité cognitive de la personne est ancrée dans son corps et dans son environnement. Le contexte devient alors central dans le fonctionnement cognitif.

Les approches structuralistes et incarnées de la mémoire s'opposent sur l'organisation de la mémoire (système unique versus multisystèmes), mais surtout sur la question des représentations et de leur nature. Opérationnellement, la question se centre sur la nature des connaissances en mémoire. Ainsi, les approches multisystèmes définissent l'existence de différentes formes de connaissances (représentations) qui sont abstraites de leurs propriétés modales (essentiellement sensori-motrices), en particulier pour les connaissances dites sémantiques. À l'inverse, les théories incarnées supposent que les connaissances demeurent ancrées dans leurs propriétés modales. Cette opposition place en exergue la question des interactions entre mémoire et perception au cœur du débat. Les approches structurales définissent

des étapes de traitements hiérarchiques et relativement indépendantes entre la perception et la mémoire (Driver & Spence, 2000 ; Maillard et al., 2011), alors que les approches situées supposent un lien étroit, voire un chevauchement, entre la perception, l'action et la mémoire (Brouillet, Heurley, Martin, & Brouillet, 2010 ; Riou, Lesourd, Brunel, & Versace, 2011).

Le nombre croissant d'études publiées s'inscrivant dans le cadre des théories incarnées de la cognition témoignent de la popularité grandissante de ces approches (e.g. Borghi & Cimatti, 2010). Toutefois, cet intérêt demeure restreint aux domaines de la psychologie sociale (Kitayama & Park, 2010) et expérimentale (Barsalou, 2008) et ces théories sont très rarement appliquées à la neuropsychologie (mais voir par exemple, Carbonnel, 2000 ; Murre, Graham, & Hodges, 2001).

0.2 Vieillesse normale et maladie d'Alzheimer

Le manque d'application des approches incarnées à la neuropsychologie apparaît surprenant, puisque certaines problématiques neuropsychologiques semblent particulièrement pertinentes pour ces approches. D'un point de vue fondamental, des populations présentant des altérations sensorielles et mnésiques concomitantes représentent un modèle expérimental de choix pour tester les liens entre perception et mémoire et donc la modalité des connaissances. D'un point de vue clinique, l'emphasis sur des processus au sein d'un système unique, ainsi que la définition de liens entre la mémoire et la perception, devraient ouvrir de nouvelles pistes cliniques tant pour l'évaluation que la prise en charge. Par exemple, une définition plus précise des mécanismes impliqués dans le dysfonctionnement mnésique permettrait d'améliorer le diagnostic différentiel (voir Metzler-Baddeley, 2007, pour une application aux démences). De même, des liens étroits entre perception et mémoire suggèrent qu'il soit possible de travailler sur la perception afin d'optimiser la mémoire dans les programmes d'intervention (e.g. Baker et al., 2001).

Parmi les différentes populations qui présentent à la fois une altération sensorielle et mnésique, le vieillissement normal et pathologique, apparaît être une cible de recherche particulièrement pertinente. La spécificité de leur tableau cognitif respectif rassemble les différents critères qui permettent de tester les hypothèses évoquées précédemment, tout en représentant un enjeu clinique non négligeable.

0.2.1 Vieillessement cognitif sain et maladie d'Alzheimer

Il est communément admis que le vieillissement normal est caractérisé par une dégradation globale touchant notamment les sens et la cognition. L'altération sensorielle se manifeste d'abord à un niveau périphérique avec des changements physiologiques des organes, comme la presbytie l'illustre, mais elle touche également le système nerveux central occasionnant certaines difficultés perceptives (Wood et al., 2005). Fait particulièrement saillant pour ce projet de thèse, cette altération sensorielle est régulièrement rapportée comme associée à l'altération cognitive, dont celle de la mémoire (e.g. Valentijn et al., 2005). Néanmoins, le traitement perceptif de plus haut niveau, comme l'identification ou l'intégration multisensorielle, demeure préservé (Laurienti, Burdette, Maldjian, & Wallace, 2006).

La mémoire occupe aussi une place centrale pour les personnes âgées puisque la mémoire constitue leur première préoccupation au niveau de leur fonctionnement cognitif (Minett, Da Silva, Ortiz, & Bertolucci, 2008). Cette plainte de leur part est objectivable par les tests cliniques. En effet, la mémoire déclarative, surtout celle dite épisodique, est de fait classiquement rapportée comme altérée avec l'avancée en âge (Luo & Craik, 2008 ; Isingrini & Tacconnat, 2008). La mémoire n'est pas la seule fonction à être concernée puisque les personnes âgées présentent également une altération des fonctions exécutives (Troyer, Graves, & Cullum, 1994) et un ralentissement global. Ce ralentissement est suffisamment conséquent pour que certains chercheurs supposent qu'il puisse expliquer l'ensemble des effets du vieillissement (Salthouse, 1996).

Le vieillissement constitue le premier facteur de risque de la maladie d'Alzheimer, première cause de démence dans le monde (Chen, Lin, & Chen, 2009). Ces patients présentent comme principale atteinte un déficit de leur mémoire épisodique (Nestor, Fryer, & Hodges, 2006 ; Budson, Wolk, Chong, & Waring, 2006). Cette atteinte était considérée comme relativement isolée dans les premiers stades de la maladie, et c'est pourquoi la maladie d'Alzheimer est souvent contrastée avec la démence sémantique qui est marquée par une atteinte prépondérante de la mémoire sémantique (Hodges & Patterson, 2007 ; Binney, Embleton, Jefferies, Parker, & Lambon Ralph, 2010). Les patients Alzheimer présentent une altération sensorielle qui apparaît plus conséquente que celle observée dans le vieillissement normal, surtout pour l'olfaction (Meshulam, Moberg, Mahr, & Doty, 1998). Néanmoins, les tâches de perceptions de bas niveau (voir, Joubert et al., 2010), ou les amorçages perceptifs (Fleischman, Wilson, Gabrieli, & Schneider, 2005) sont préservés. Contrairement au vieillissement normal, l'intégration multisensorielle est altérée dans la maladie d'Alzheimer (Festa et al., 2005).

0.2.2 Intérêts de recherche

L'intérêt de travailler avec des personnes âgées cognitivement saines et des patients souffrant de la maladie d'Alzheimer est multiple. Avant tout, il est à noter que les personnes âgées constituent le groupe contrôle préférentiel des patients Alzheimer avec un appariement au niveau de l'âge, du niveau socio-culturel et aussi des effets du vieillissement. L'intérêt au niveau fondamental réside dans le fait que ces populations présentent à la fois des atteintes sensorielles et mnésiques concomitantes. Ces deux populations se distinguent alors par une différence de degré d'atteinte pour les aspects sensoriels en défaveur pour les patients Alzheimer. Ces patients présentent également une atteinte qualitative différente pour les aspects de plus haut niveau avec une altération de l'intégration multisensorielle. Les troubles mnésiques sont eux aussi plus importants et qualitativement différents dans la maladie d'Alzheimer. Par conséquent, il sera ainsi possible de tester les liens entre mémoire et perception selon des degrés d'altération sensorielle et perceptive d'une part et mnésique d'autre part, d'un point de vue quantitatif et qualitatif. L'intérêt clinique est également présent puisque ces deux populations présentent une plainte et une altération de la mémoire ayant des répercussions sur leur qualité de vie. Une meilleure compréhension de l'origine et de la manifestation de leurs troubles mnésiques permettra de mieux cibler leurs difficultés. Cette étape est nécessaire pour élaborer des prises en charge adaptées à ces difficultés. La démonstration de liens étroits entre mémoire et perception ouvrirait la voie à l'élaboration de programmes de stimulation ou remédiation cognitive centrés sur ces liens.

0.3 Objectifs généraux et organisation de la thèse

Ce travail de recherche se propose de tester les approches fonctionnelles de la mémoire en les confrontant aux problématiques du vieillissement normal et pathologique, plus particulièrement la maladie d'Alzheimer. L'objectif visé est triple. Tout d'abord, il s'agit de tester les approches incarnées à travers de nouveaux paradigmes. Ensuite, il s'agira de vérifier si les approches fonctionnelles peuvent s'appliquer au vieillissement normal et pathologique, condition sine qua non de la validation des théories incarnées. En effet, celles-ci doivent démontrer leurs capacités à rendre compte des phénomènes cognitifs et mnésiques qui sortent de la cognition normale classiquement testée chez les jeunes adultes. Enfin, ce travail vise à proposer des explications alternatives à certains résultats rapportés pour ces populations, comme les associations statistiques entre mémoire et perception dans le vieillissement, ou encore l'altération de certains effets d'amorçage dans le vieillissement tant normal que pathologique. La trame de fond qui guidera ce travail propose une réflexion sur la mémoire et sa modélisation. Cette réflexion

s'articule autour de la notion de représentation, notion sous-jacente aux approches structuralistes ou incarnées.

Ce travail s'appuie par conséquent à la fois sur la psychologie cognitive pour l'étude des modèles théoriques et les paradigmes expérimentaux qui en découlent, et sur la neuropsychologie dans l'approche vis-à-vis des populations ciblées et des méthodes d'évaluation clinique de la cognition (incluant la perception). La partie **I** exposera les aspects théoriques nécessaires à la compréhension des travaux expérimentaux. Dans cette partie, le chapitre **1** sera consacré à la question des représentations, question qui sous-tend les conceptions structuralistes ou fonctionnalistes de la mémoire. Les chapitres **2** et **3** présenteront davantage le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer. Les aspects mnésiques et sensoriels seront particulièrement détaillés. La partie suivante se centrera sur la présentation de deux modèles particuliers de mémoire qui opérationnalisent les approches structuralistes et fonctionnalistes (voir partie **II**). Le chapitre **4** présentera le modèle Sériel – Parallèle – Indépendant (SPI), et le chapitre **5** le modèle Activation-Intégration (Act-In). Il est à noter que cette thèse s'inscrit dans ce dernier modèle. Ces modèles illustrent de quelle manière ces approches se distinguent sur les interactions entre mémoire et perception. Puisque ces interactions sont au coeur du débat entre ces deux types d'approches, les paradigmes employés dans cette thèse devront démontrer le caractère modal des connaissances en mémoire afin de démontrer que les paradigmes employés s'inscrivent bien dans une approche incarnée. Les effets du vieillissement normal seront évalués sur ces paradigmes (partie **III**) afin de savoir si les personnes âgées, comme les jeunes adultes, présentent des connaissances modales (chapitres **6** et **7**). Les liens entre la perception et la mémoire observés chez les personnes âgées pourront également être explorés. Enfin, ces paradigmes seront testés auprès de patients souffrant de la maladie d'Alzheimer (partie **IV**, chapitre **8**). À la vue de l'importance des troubles mnésiques dans cette maladie, les effets devraient être qualitativement différents. Enfin, la dernière partie de cette thèse sera consacrée à la discussion des différents résultats et proposera une réflexion plus générale sur la mémoire.

Le cheminement de cette thèse est ancré dans les différences entre le structuralisme et le fonctionnalisme. Au-delà des oppositions théoriques, cette différence trouve son origine dans le questionnement épistémologique autour de la notion de représentations, questionnement présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre 1

Une histoire de représentations

1.1 Représentations mentales ?

La problématique de ce travail de thèse est centrée sur les approches incarnées de la mémoire humaine. Ces conceptions théoriques sont classiquement opposées aux approches dites structuralistes, ou représentationnelles, de la mémoire. Plus qu'une simple opposition théorique, ces deux types d'approches se différencient par essence à un niveau épistémologique autour de la question centrale des représentations (e.g. [Chiaramonte & Rousset, 2011](#)). Les deux types d'approches s'accordent sur le fait que la cognition opère sur des représentations (i.e. un objet psychique et cognitif). Ces représentations peuvent être issues de l'environnement (la réalité) ou bien être internes à l'individu (psychologiques). Le débat porte sur la nature de ces représentations, et plus particulièrement sur le fait qu'elles puissent être stockées ou non, plaçant la mémoire et sa nature au centre de la question.

Ainsi, les représentations mnésiques, autrement dit les connaissances, pourraient être soit stockées dans le système cognitif sous forme d'entités abstraites de leurs propriétés modales ([Fodor, 1975](#)), soit être une activation temporaire d'un réseau dynamique ([Hinton, McClelland, & Rumelhart, 1986](#)). Ces possibilités sont décrites en ces termes par [Gallina \(2011, p.21\)](#) :

[...] les représentations mentales auront été considérées soit comme une entité cognitive dotée d'une signification et inscrite en mémoire sous forme variable selon les auteurs (cognitivism classique), soit comme un état neuronal singulier, une configuration de connexions acquises ou apprises par le réseau (connexionnisme), ou bien encore comme une activité relationnelle où le sujet et l'objet d'une « visée intentionnelle » co-adviennent (énactionnisme).

Selon la conception considérée, la structure des modèles de la mémoire devient nécessairement structuraliste ou fonctionnaliste. En effet, définir l'existence de représentations stockées implique que les différentes manifestations de la mémoire se basent sur différentes natures de code et donc de multiples systèmes mnésiques (voir le cognitivisme développé ci-dessous). Au contraire, des représentations dynamiques (i.e. non stockées) supposent que les connaissances émergent sur la base d'un système de mémoire unique (voir le connexionnisme). Les connaissances gardent alors leurs propriétés modales, principalement celles sensori-motrices. Afin de situer ce travail de recherche, la compréhension de ces conceptions de représentations apparaît essentielle puisque sous-jacente à ces modélisations de la mémoire. Ce débat est avant tout du ressort de la philosophie et c'est pourquoi des données tant philosophiques que psychologiques seront présentées. Loin de réaliser un travail exhaustif sur les différents courants de pensée et auteurs ayant réfléchi à la notion de représentation et de mémoire, l'objectif visé est plutôt de mettre en avant certains travaux qui permettent de comprendre comment la notion de représentations a évolué au fil du temps et comment se sont construites les approches structuralistes et fonctionnelles de la mémoire.

1.2 Approches représentationnelles

1.2.1 Du monde des Idées à la vision topographique de la mémoire

Les premiers philosophes à avoir travaillé sur la mémoire se sont davantage intéressés à la connaissance elle-même qu'à la mémoire. Selon la théorie innéiste que Platon développe à travers un dialogue avec Socrate, les connaissances sur le monde existeraient dans un monde éthéré – le monde des Idées – opposable à notre environnement, le monde sensible (Platon, -369 av. J.-C.). Les connaissances, ou ce qu'il appelle l'Essence, précèderaient l'Existence. Chaque être humain avant de naître visiterait ce monde, mais l'oublierait. Il faut alors un travail de remémoration pour retrouver, ou accéder à ces connaissances. Autrement dit, les Idées sont figées, car elles existent *a priori* dans un monde indépendant de celui des Hommes. Ces connaissances s'étudient par conséquent par la philosophie, c'est-à-dire de quelle manière l'Homme, par sa pensée, peut accéder à ce monde ou du moins aux éléments qui le compose.

Ces connaissances existent indépendamment de l'Homme et influenceraient notre perception du monde. Néanmoins, puisque ces connaissances n'existent pas dans le monde tangible, elles ne relèvent pas réellement de notre mémoire. L'existence d'un

mode éthéré ne permet pas non plus de statuer sur l'existence de représentations. Qu'en est-il alors de notre mémoire? Celle-ci était pensée comme un phénomène passif plutôt que comme une fonction. En effet, selon Platon ou même encore Aristote, le fonctionnement mnésique était assimilé à celui de l'écriture, ce qui a conduit à désigner ce type de modèle sous le nom de « tablette » comme illustrée dans la Figure 1.1. Ainsi, Platon décrit la mémoire comme une tablette de cire dans laquelle les expériences se gravent (Platon, -369 av. J.-C.). Les traces laissées sur la tablette correspondent alors à nos souvenirs, mais non à nos connaissances. Puisque ces souvenirs sont gravés, ils devraient demeurer inchangés au fil du temps. Cette idée est à la base du représentationnalisme, conception selon laquelle notre esprit ne traite que des représentations du monde, représentations pouvant être stockées de manière durable en mémoire. Toutefois, et tout comme pour l'écriture, la qualité de la pierre, ou du souvenir, définirait sa pérennité et sa « lisibilité ». Avec le passage du temps, ou en raison d'autres événements extérieurs, les souvenirs peuvent s'altérer ou même s'effacer, mais ils ne devraient pas se modifier.



FIGURE 1.1 – Illustration des modèles tablettes de la mémoire. Chaque expérience serait gravée/écrite sur une surface psychique malléable, la mémoire.

Cette approche réduit l'intérêt d'étudier la mémoire en tant que telle, puisqu'elle est envisagée comme une conséquence quasi mécanique de nos expériences. La mémoire est alors davantage un support qu'un processus ou une fonction. En d'autres termes, la mémoire est un espace passif. Cette métaphore d'espace psychique malléable est développée plus avant par Saint Augustin (Augustin, 401). Puisque la mémoire est un phénomène passif, il est plus pertinent de s'intéresser aux processus qui gravitent autour de la mémoire. Saint Augustin fait alors référence à trois dimensions. En premier lieu, l'entrepôt, métaphore pour la mémoire, serait l'élément central où les souvenirs sont stockés. Cet entrepôt est rempli par les souvenirs qui y sont déposés, ce qui correspond au second processus. Enfin, l'entrepôt est aussi l'endroit où les souvenirs pourront être (re)cherchés pour être rappelés. Ces dimensions font clairement apparaître trois processus distincts : l'encodage, le stockage et la récupération (voir Figure 1.2). Ces trois processus font la quasi-unanimité (Eysenck, 1977) chez les chercheurs en psychologie de la mémoire et cette conception prévaut toujours actuellement (Winters, Saksida, & Bussey, 2008). L'encodage consiste à déposer l'information à apprendre dans cet espace mnésique, le stockage représente cet espace qui contient l'ensemble des souvenirs, et enfin la

récupération est le voyage de cet espace vers l'extérieur, c'est-à-dire l'évocation du souvenir.

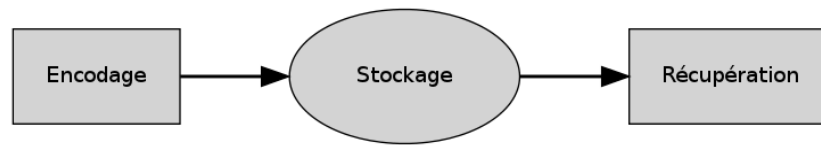


FIGURE 1.2 – Illustration du fonctionnement mnésique selon une vision représentationnelle. Le stockage est central. L'encodage permet de transformer un souvenir en un code qui sera stocké. La récupération permet d'accéder à ces souvenirs – code

1.2.2 Des représentations et des modules

Cette définition de la mémoire place le stockage comme l'élément central du fonctionnement mnésique auquel les deux autres processus sont rattachés. L'existence d'un stockage est corollaire à l'existence de représentations, c'est-à-dire une transformation d'une information (i.e. situation) en un code compréhensible pour le système. Cette transformation était imagée de la manière suivante par Saint Augustin : « Ces sortes de réalités ne s'introduisent pas dans la mémoire ; seules leurs images sont captées avec une rapidité étonnante, et étonnamment disposées comme dans des cases d'où elles sont extraites par le miracle du souvenir. » (Augustin, 401, cité dans *Mémoire et Vie*, 2011).

La notion de représentation sera davantage travaillée bien des années après par Jerry Fodor (Fodor, 1975). Ainsi, Fodor a proposé un cadre théorique exhaustif pour décrire le fonctionnement cognitif, le computationnisme. Partant de la métaphore de l'ordinateur, cette approche décrit le fonctionnement cognitif comme une série de traitements, c'est-à-dire de calculs, effectués par des modules indépendants. La première étape est l'entrée du système qui est essentiellement la perception. La perception traite des percepts qui sont issus de la transduction de la réalité par les organes sensoriels, appelés transducteurs. Le percept est alors transformé par la perception qui est un système périphérique en un code compréhensible par les systèmes centraux. Les systèmes centraux opèrent sur des représentations (codes) amodales, c'est-à-dire abstraites des propriétés sensori-motrices. L'interprétation du monde qui nous entoure nécessite des rétro-actions des systèmes centraux sur la sortie de la perception. Ces rétro-actions sont supposées par Fodor, mais ne peuvent en aucun cas intervenir sur la perception elle-même puisqu'elle représente un système périphérique.

Fodor suppose que les modules sont innés et sont identiques pour chaque individu.

Il définit également certaines caractéristiques de ces modules ([Fodor, 1981](#)) dont voici les principales :

- un module est domaine-spécifique, c'est-à-dire qu'il opère sur des entrées particulières,
- un module est indépendant des autres, il est encapsulé ;
- le traitement par le module doit être rapide ;
- un module doit produire une sortie simple ;
- un module possède une architecture neuronale particulière et fixe.

Ces caractéristiques sont à l'origine des visions modernes multisystémiques de la mémoire (e.g. [Tulving, 1995](#)). Ainsi, si la mémoire se manifeste de différentes manières, chaque manifestation doit dépendre d'un module différent puisque ceux-ci ne peuvent produire qu'une seule sortie qui doit demeurer simple. En outre, le fait que chaque module soit domaine-spécifique suppose qu'il opère sur un code particulier. Autrement dit, les représentations mnésiques sont de différentes natures. Enfin, chaque module devrait dépendre d'une architecture neuronale particulière qui combinée au fait que ces modules soient encapsulés conduits à définir des doubles dissociations neuropsychologiques. Par conséquent, une lésion cérébrale particulière devrait se traduire par une atteinte d'un module spécifique, et ce relativement indépendamment des autres modules.

1.2.3 Approches multisystèmes

Cette idée de différentes natures de représentations n'est pas récente (pour une revue sur les approches multisystèmes, voir [Squire, 2004](#)). Comme exposé en introduction de cette section, Platon évoquait le monde des Idées qu'il distinguait des souvenirs, c'est-à-dire notre mémoire. Dans ce cas précis, il ne s'agit pas de deux systèmes de mémoire différents puisque le monde des Idées n'est pas humain et ne peut donc pas s'inscrire dans le fonctionnement cognitif de l'individu. Toutefois, cette idée de connaissances innées fut reprise par d'autres philosophes tels que René Descartes par exemple ([Descartes, 1644](#)). Ces connaissances sont accessibles à l'âme alors que les passions et autres mouvements du corps sont dépendants de l'esprit animal ([Descartes, 1649](#)). Il existerait bien selon cette approche différents types de connaissances qui dépendraient de systèmes eux aussi distincts.

Cette distinction entre une mémoire corporelle et une mémoire plus psychologique a été développée plus récemment de manière moderne et scientifique. Ainsi, le

philosophe Henri Bergson décrira deux types de mémoire que sont la « mémoire pure » et la « mémoire-habitude » (Bergson, 1896). La mémoire pure désigne la mémoire dans le sens usuel du terme, c'est-à-dire qui garde des « souvenirs-images », alors que la mémoire-habitude désigne une mémoire automatique des gestes et des apprentissages très répétitifs. Cette notion d'une mémoire des habitudes est aussi retrouvée chez Édouard Claparède, neurologue et psychologue suisse avec l'anecdote très connue de l'épingle (Claparède, 1911). Alors qu'il avait dans son service une patiente souffrant d'amnésie antérograde¹, Claparède eut l'idée de lui serrer un jour la main en cachant une épingle. Le lendemain, lorsque Claparède se présenta à nouveau à la patiente pour lui serrer la main, elle marqua un temps d'hésitation. Cette réaction fut interprétée comme une mémoire du corps à un traumatisme douloureux, puisque la patiente ne rapportait aucun souvenir conscient de l'épisode de l'aiguille.

Cette anecdote illustre l'idée que certaines connaissances sont accessibles inconsciemment et automatiquement, et ce même chez des patients amnésiques (Claparède, 1907), distinction connue sous le nom d'implicite/explicite (Graf & Schacter, 1985). Les connaissances implicites seraient accessibles sans effort volontaire (automatiquement) et inconsciemment, par l'individu, alors que celles explicites nécessitent un effort conscient pour être récupérées (voir Eustache & Desgranges, 1998, pour synthèse). Cette dissociation n'est cependant pas interprétée comme une différence de systèmes, mais plutôt comme un mode d'expression de la mémoire (Schacter, Chiu, & Ochsner, 1993). Par contre, ces modes d'expression pourraient être rattachés à des systèmes de mémoire particuliers. Ainsi, les connaissances procédurales, essentiellement perceptivo-motrices, s'opposent à celles plus déclaratives (Cohen & Squire, 1980), distinction d'ailleurs plus connue sous le nom de mémoire déclarative et non-déclarative (Squire, 1982).

D'un point de vue expérimental, la contribution primordiale du chercheur allemand Hermann Ebbinghaus a mis en lumière deux autres types de mémoire. Ebbinghaus est généralement considéré comme le pionnier des travaux expérimentaux sur la mémoire (Ebbinghaus, 1885). Parmi ses contributions les plus notables, Ebbinghaus a développé la notion de position sérielle, qui distingue l'effet de récence pour un meilleur rappel des items en dernières positions, et l'effet de primauté pour un meilleur rappel des items en premières positions. Ces effets sont classiquement interprétés comme dépendant de deux systèmes de mémoire distincts, une mémoire à court terme (les derniers mots sont récapitulés en boucle) et une mémoire à long terme (les premiers mots sont appris durablement). Ce travail expérimental est l'un des premiers à montrer une différence de systèmes mnésiques. Cette distinction est reprise par le philosophe américain William James dans son ouvrage sur les

¹Troubles de mémoire pour les événements qui surviennent depuis l'incident responsable de l'amnésie.

principes de la psychologie (James, 1890). Il distinguera la mémoire primaire de celle secondaire. La mémoire primaire est une mémoire à court terme, limitée dans sa capacité et dans le temps, alors que la mémoire secondaire est une mémoire à long terme, pratiquement illimitée dans sa capacité de stockage et dans le temps. Les souvenirs dans la mémoire secondaire auraient besoin d'un effort particulier pour être rappelés. Le concept de mémoire primaire évoluera vers celui de mémoire de travail qui introduit l'idée que les informations en mémoire à court terme sont manipulables (Baddeley, 2000).

Presque cent ans après les travaux d'Ebbinghaus, Endel Tulving introduira une nouvelle distinction, cette fois entre mémoire sémantique et mémoire épisodique (Tulving, 1972). La mémoire sémantique désigne nos connaissances générales sur le monde (Paris est la capitale de la France) ou personnelles (notre nom, notre date de naissance), ou encore le langage. La mémoire épisodique regroupe nos souvenirs personnels qui sont inscrits dans un contexte temporo-spatial particulier et sont accompagnés d'un sentiment de reviviscence. Cette distinction sera également appliquée à la mémoire autobiographique, mémoire des informations et souvenirs qui nous concernent (relié au « self »). Celle-ci aurait une composante épisodique et sémantique (Conway & Pleydell-Pearce, 2000).

Il est à noter que la plupart des travaux sur la mémoire, tant ceux expérimentaux, neuropsychologiques ou neuroscientifiques, s'inscrivent dans une approche multisystémique. Ces arguments ne seront pas détaillés ici, car ils le seront dans le premier article inclus dans cette thèse (voir Chapitre 4 page 55). L'introduction de ce chapitre a souligné que la distinction entre les approches structurelles et fonctionnelles de la mémoire se centre sur la question des représentations et de la nature des connaissances. Un premier pas vers une approche fonctionnelle est de définir l'origine des connaissances par l'expérience, mouvement philosophique connu sous le nom d'empirisme.

1.3 Approches incarnées

1.3.1 Empirisme

L'histoire se construit sur l'opposition d'idées et de théories. Face à l'existentialisme soutenu par Platon, un monde des idées, Aristote oppose une ardoise vierge² (Aristote, -330 av. J.-C.). L'opposition entre les deux philosophes sur la connaissance pourrait alors se résumer par cette phrase de Jean Philocon : « Aristote la représente

²« Tabula rasa. »

par une tablette non écrite et la nomme au sens propre faculté d'apprendre. Platon, cependant, la représente par une tablette écrite et la nomme faculté de s'instruire par remémoration » (Philopon, 1934). Cette conception de l'esprit humain d'Aristote met en avant l'importance de l'expérience dans la construction et la constitution de nos savoirs. D'ailleurs, cette importance de l'expérience était soulevée par Protagoras dans le dialogue avec Socrate qui n'acceptait comme connaissance que la connaissance par les sens, c'est-à-dire issue du monde sensible (voir Salzi, 1934). Autrement dit, savoir c'est sentir.

Cette approche a donné lieu bien des siècles plus tard au courant philosophique de l'empirisme. Celui-ci n'est cependant pas synonyme d'absence de représentation. Par exemple, John Locke, pour qui toute connaissance est issue de la perception, considérait que toute expérience, externe ou interne à l'individu, se traduit par une idée (Locke, 1689). L'esprit opère ensuite sur ces idées, idées assimilables à des représentations au sens cognitif. Ces idées peuvent être simples ou complexes. Une idée simple est indivisible et brute, c'est-à-dire qu'elle est un percept indescriptible ; une idée complexe est une combinaison d'idées simples. Cette combinaison est en fait une comparaison, ou une évaluation, d'idées simples regroupées, et compose nos connaissances. Les idées simples pourraient être assimilées à la notion de transduction développée par Fodor. Des idées de différentes complexités est relativement transposables à la pensée humienne qui considère les impressions et les idées (voir, Hume, 1730). Les impressions désignent les sensations directes (perception) ainsi que les émotions ou les passions. Elles peuvent être affaiblies par la pensée et deviennent des idées, c'est-à-dire des impressions évoquées (imagerie mentale). Avec un intérêt particulier pour notre étude, les impressions et les idées ne se distinguent pas par des natures différentes, mais plutôt selon un degré d'intensité : les impressions sont plus vivaces que les idées. Là encore, des idées simples sont différenciées de celles complexes par le fait que les idées complexes désignent plusieurs impressions ou idées reliées entre elles. Cette mise en relation se fait automatiquement par l'esprit.

L'empirisme permet d'expliquer intuitivement l'origine, ou la création des connaissances concrètes, mais cette théorie ne semble pas à même de comprendre l'existence de connaissances abstraites, comme « Justice ». Une réponse est apportée par Hume pour qui ces connaissances se basent sur une idée d'un objet (une connaissance ou expérience) particulière. Ces connaissances proviennent donc d'une même origine empirique, mais l'abstraction des propriétés spécifiques se fait par l'ajout d'une qualité à cette idée par le rassemblement d'idées semblables issues elles aussi de notre expérience. Ainsi, l'empirisme se veut à même d'expliquer l'origine de toutes nos connaissances. Néanmoins, l'empirisme ne statue pas sur le format, c'est-à-dire la nature des connaissances ou des représentations. Alors qu'une vision innéiste est inéluctablement représentationnelle, une approche empirique peut s'inscrire soit dans une approche représentationnelle soit dans une approche non-représentationnelle qu'elle soit connexionniste ou énative.

1.3.2 Du connexionnisme aux théories incarnées ou situées de la cognition

Un premier pas vers les approches non-représentationnelle est fait par Francis Bacon. Considéré comme le père de l'empirisme et de la science moderne, Bacon suppose que nos connaissances proviennent d'objets de la nature (Bacon, 1620). Cependant, cette perception n'est pas pure puisqu'elle est sujette à notre interprétation sur ces objets, interprétations désignées sous le nom d'anticipations. Une reformulation possible de cette hypothèse est de considérer l'influence de nos expériences passées, i.e. notre mémoire, sur la perception. Autrement dit, la perception n'est plus une représentation fidèle d'une réalité externe objective.

Ces anticipations, bien que possible dans le cognitivisme, sont tout de même difficilement explicables dans ce cadre théorique. Ainsi, Fodor considère que nos organes sensoriels transcendent la réalité en un premier code traité par la perception qui est un système périphérique (Fodor, 1975). Celle-ci doit fournir en sortie un code compréhensible par les autres systèmes, comme celui de la mémoire. Des effets descendants (top-down) sont possibles, mais ne doivent s'observer que sur la sortie de la perception et non sur la perception elle-même. En outre, Fodor considère que l'analyse des représentations mentales devrait dépendre d'un système (ou langage) universel (Fodor, 1975). Autrement dit, la perception d'un même événement par différentes personnes devrait aboutir à un code de sortie parfaitement identique (perception), mais des connaissances possiblement différentes (interprétation).

Ce postulat implique que les modules sont les mêmes pour tous les individus et que la perception est le reflet (i.e. la transduction) d'une réalité objectivable. Or, l'existence d'une réalité objective demeure controversée comme l'illustre Berkeley. Ce dernier stipule que les idées n'existent pas en dehors d'un esprit qui les perçoit (Berkeley, 1710). Par conséquent les connaissances ne reflètent plus nécessairement une réalité objective et objectivable, mais sont au contraire soumises aux contraintes du système qui les crée (i.e. les perçoit). Cette idée est fondatrice pour les approches connexionnistes (voir Victorri, 2008). Ce courant de pensée est avant tout constitué des méthodes informatiques représentant le fonctionnement cognitif sous la forme de réseaux de neurones plus ou moins complexes. Inspiré des travaux fondateurs de Donald Hebb sur l'importance des connexions entre les unités de traitement, voire les synapses hebbiennes (Hebb, 1949), le connexionnisme donne une importance nouvelle au système, et ses particularités, dans lequel prend place l'activité cognitive. Ce champ de recherche est à la frontière de l'intelligence artificielle et de la modélisation informatique, de la neurophysiologie et de la psychologie. Les travaux du groupe de recherche sur le traitement parallèle et distribué (McClelland & Rumelhart, 1986) ont popularisé cette approche de la cognition tout en introduisant cette idée que l'activité cognitive émerge de l'état d'activation particulier du système.

L'activation représente alors un concept clé pour ces approches où chaque unité possède un niveau d'activation particulier à un moment t . De plus, une activation peut se propager aux unités associées et ce serait le profil d'activation particulier qui expliquerait l'émergence d'une connaissance. Cette propagation est applicable à la mémoire comme le supposait déjà Spinoza dans l'Éthique : « si l'esprit a été affecté par deux émotions au même moment, quand il est affecté plus tard par l'une d'elles, il sera affecté par l'autre. » (Spinoza, 1677, p.14).

L'idée d'une émergence de la cognition, et par extension de nos connaissances, selon un profil d'activité particulier va à l'encontre de représentations stockées (voir la Figure 1.3). En effet, si c'était le cas, celles-ci devraient être simplement activées, et ce relativement localement (une représentation stockée est localisée selon les règles définies par Fodor sur les modules). Au contraire, cette approche connexionniste suppose que nos représentations sont distribuées (Hinton et al., 1986). Bien que l'approche connexionniste soit essentiellement informatique, elle demeure plausible au niveau neuro-biologique comme le suggère le darwinisme neuronal (Edelman, 1987). Cette théorie suppose que les neurones et leurs connexions vont s'organiser à partir de processus biologiques pré-déterminés, i.e. expression du génome, mais aussi d'une sélection (compétition) entre les neurones. Ces derniers, ainsi que leurs connexions, subsistent s'ils sont renforcés. Cette sélection s'opère à partir des besoins primaires de l'individu pour sa survie (e.g. se nourrir), mais aussi selon les contraintes de l'environnement. Par conséquent, le réseau neuronal est dépendent de l'interaction entre le système lui-même et l'environnement. Cette interaction devient alors centrale dans la compréhension du fonctionnement cognitif, idée à la base de l'énaction.

L'énaction est une idée développée par Bruner (1966) et qui désigne le fait d'apprendre en faisant. Toutefois, l'acception moderne du terme est attribuée à Fransesco Varela qui est considéré comme le père de l'énactionnisme. Philosophe et neuroscientifique, il a développé une pensée incarnée de la cognition (e.g. Varela, Thompson, & Rosch, 1991). Ainsi, le fonctionnement cognitif d'un individu ne peut se concevoir qu'en considérant les propriétés du système dans lequel il opère, c'est-à-dire le cerveau et plus largement le corps. La connaissance se crée alors par l'expérience (empirisme), mais selon une action de l'individu (perception active, geste, etc.). Autrement dit, l'interaction entre l'individu et son environnement.

Issus de ce courant de pensée, les théories incarnées (Glenberg, 1997) et situées de la cognition³ (Barsalou, 2008) s'intéressent aux interactions réciproques de l'environnement et la cognition. L'environnement est alors à entendre dans une définition large qui regroupe aussi bien l'environnement social que physique, mais aussi les états internes du corps et de l'esprit comme les attentes de l'individu ou encore la

³ « Embodied » et « grounded cognition ».

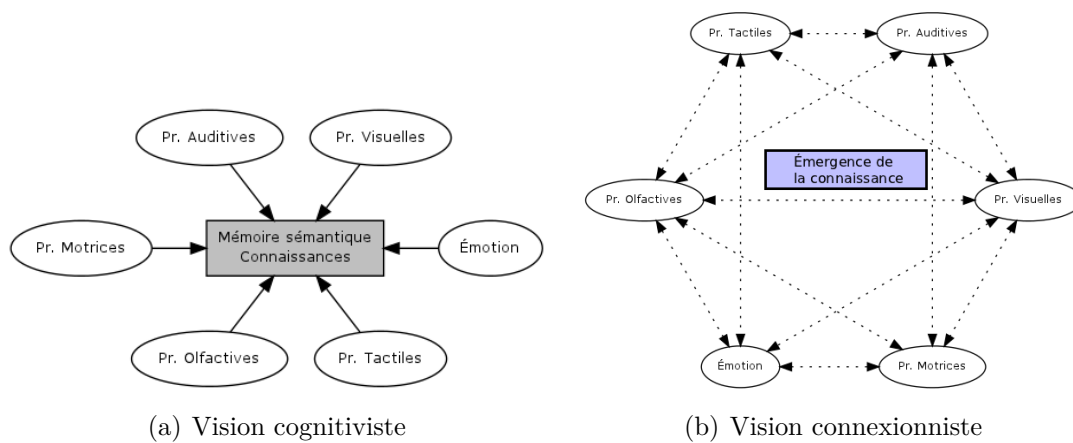


FIGURE 1.3 – Schématisations de la vision abstractionniste (cognitivism) (a) et connexionniste (b) des connaissances. Selon le cognitivism, les propriétés (abrégées Pr.) modales sont abstraites (flèches) dans un concept sémantique amodal. Au contraire, le connexionnisme définit une émergence de la connaissance selon le profil d’activité du système. Toutes les propriétés peuvent être théoriquement reliées les unes aux autres.

métacognition (Barsalou, 2008). L’activité cognitive d’un individu est affectée par son activité physique et son état psychologique, et ceux-ci sont réciproquement influencés par l’activité cognitive. Pour ces approches, les connaissances sont modales (i.e. elles gardent leurs propriétés sensori-motrices) puisqu’elles émergent d’un profil d’activation du système. Par conséquent, la mémoire et la perception (e.g. Riou et al., 2011), mais aussi l’attention (voir Cowan, 1998) se chevauchent en grande partie voir sont confondues.

La popularité de ces approches tend à croître exponentiellement depuis une dizaine d’années en particulier dans le champ de la psychologie sociale et cognitive. Ces données seront présentées plus en détail dans le Chapitre 5 (voir page 93). Paradoxalement, ces approches ne sont quasiment pas appliquées aux problématiques de la neuropsychologie alors qu’elles apparaissent particulièrement pertinentes pour ces approches. En effet, la question des représentations est intimement liée à la question de la modalité des connaissances mnésiques et donc du rôle des propriétés sensorielles dans ces connaissances. Selon les approches incarnées, la perception et la mémoire se chevauchent, par conséquent une altération sensorielle devrait se répercuter sur la cognition et donc la mémoire. Ainsi, des populations présentant des altérations sensorielles et/ou mnésiques, comme le vieillissement normal et pathologique, constitueraient des modèles expérimentaux tout désignés pour tester ces hypothèses.

Synthèse intermédiaire

La mémoire est généralement conceptualisée comme une fonction cognitive qui garderait (i.e. stockerait) nos connaissances et souvenirs. Cette vision topographique définit nécessairement trois processus que sont l'encodage, le stockage et la récupération. L'existence d'un stockage est corollaire de l'existence de représentations stockées, représentations supposées abstraites de leurs propriétés modales au sens fodorien. Par conséquent, les différentes manifestations de la mémoire, comme nos souvenirs personnels (mémoire épisodique ou autobiographique) ou nos connaissances générales (mémoire sémantique), devraient dépendre de différents codes (différentes natures de représentations) et donc de différents systèmes de mémoire. L'approche théorique de la mémoire qui en découle est alors qualifiée de structuraliste, car elle s'intéresse à décrire ces systèmes.

Opposé à ce représentationnalisme, le connexionnisme a introduit l'idée d'une émergence des représentations, et donc des connaissances, selon un profil d'activité dynamique du système. Les représentations mnésiques n'existent plus en tant que telles, mais se (re)créent à chaque fois que le système s'active selon les profils spécifiques. Les connaissances gardent leurs propriétés modales puisqu'il n'existe plus d'étape d'abstraction de celles-ci (encodage). Le connexionnisme a abouti à des visions interactives de la cognition, où l'activité du sujet est dépendante des caractéristiques de son système, mais aussi de l'environnement. Cet éactionnisme philosophique est à l'origine des approches dites incarnées ou situées de la cognition. Ces approches mettent en avant les aspects sensori-moteurs comme constituants essentiels de nos connaissances. Les modélisations de la mémoire qui en résultent peuvent alors être qualifiées de fonctionnelles, car elles s'intéressent aux processus responsables de l'émergence de nos connaissances.

Il découle de cette présentation que l'essence de l'opposition entre le structuralisme et le fonctionnalisme est la notion de représentation. L'opérationnalisation de cette opposition trouve comme point d'exergue la question de la modalité des connaissances. Des connaissances modales impliquent que la perception et la mémoire partagent un grand nombre de processus et de structures neuronales. Par conséquent, l'étude de populations présentant des difficultés sensorielles ou perceptives concomitantes à des altérations mnésiques apparaît particulièrement pertinente. Ces conditions sont rencontrées dans le vieillissement normal.

Chapitre 2

Vieillesse normale

2.1 Généralités

La démographie mondiale continue de connaître une forte croissance qui résulte à la fois d'une augmentation du nombre global des naissances, mais aussi de l'augmentation de l'âge moyen de la population. Ce vieillissement de la population est encore plus marqué dans les pays occidentaux ([Lutz, Sanderson, & Scherbov, 2008](#)) et n'est pas anodin. Il signifie en premier lieu une amélioration des conditions de vie se traduisant par une plus grande espérance de vie. Cependant, ce vieillissement a aussi des répercussions majeures dans presque toutes les sphères de la société. Au premier plan, les conséquences économiques et de santé publique apparaissent les plus lourdes ([Freund & Smeeding, 2010](#)). En effet, le vieillissement est associé à des changements tant sociaux, physiques que cognitifs qui se traduisent par une diminution ou un arrêt de l'activité économique, une fragilité croissante aux maladies et un possible déclin cognitif.

Le vieillissement, ou sénescence, est un processus naturel et indissociable de la vie. Il est caractérisé par l'évolution de toutes les sphères constituant un individu – biologique, psychologique et sociale – au fil du temps. Il en va de même pour la cognition dont le développement s'instaure chez le fœtus et se termine vers la vingtaine ([Anderson, 2003](#)). La vingtaine serait aussi l'âge critique à partir duquel certaines de ces fonctions, dont essentiellement les fonctions dites exécutives, commencent à décliner ([Salthouse, 2009](#)). Autrement dit, les capacités cognitives d'un individu sont en perpétuelle évolution. Malgré cette définition développementale du vieillissement, la vieillesse désigne communément les personnes âgées. L'organisation mondiale pour la santé (OMS) définit l'entrée dans la vieillesse à partir de 65 ans, mais une définition sociale place ce seuil à partir de l'arrêt de l'activité professionnelle, soit aux alentours de 60 ans pour la France et le Canada (e.g. [Mahieu, 2001](#) ; [Rapoport,](#)

2006). Le travail mené dans cette thèse suivra globalement ces définitions. Nous entendrons par vieillissement l'ensemble des changements qui surviennent pour un individu et qui s'expliquent par son avancé en âge, en interaction avec les facteurs internes à l'individu comme ceux génétiques ou psychologiques, et externes, comme l'environnement social et physique. Nous désignerons sous le terme de personnes âgées, les personnes ayant un âge de 60 ans et plus.

Les changements organiques dus au vieillissement se combinent aux changements sociaux, comme l'arrêt de l'activité professionnelle, entraînant des modifications de nombreuses fonctions de l'individu, dont la cognition (Bonsang, Adam, Germain, & Perelman, 2007). Ces modifications se traduisent le plus souvent par une altération, ou un déclin, ce qui a amené une vision négative du vieillissement pouvant aller jusqu'à l'âgisme. Toutefois, cette vision est parcellaire et dans le cas de l'âgisme, péjorative. Ainsi, le vieillissement se manifeste également par l'amélioration de certaines fonctions et par la mise en place de stratégies efficaces pour compenser ces difficultés (voir pour revue, Hertzog, Kramer, Wilson, & Lindenberger, 2009).

L'étude des effets de l'âge peut s'envisager selon deux méthodologies que sont les approches transversales ou longitudinales (e.g. Schaie, 1965). Dans les approches transversales, un groupe de jeunes adultes est directement comparé à un groupe de personnes âgées à un moment t . Au contraire, les approches longitudinales compareront l'évolution au fil du temps d'un même groupe de participants ($t2$ par rapport à $t1$). La seconde approche semblerait la plus valide puisque ce sont les mêmes personnes qui sont évaluées au cours du temps. Cette méthodologie est cependant rarement utilisée en raison des difficultés logistiques (recrutement, attrition de l'échantillon, suivi) et des coûts (économiques et temporels). De plus, les deux méthodes présentent des inconvénients méthodologiques d'ordre équivalent. En effet, dans le cas des études transversales, les variables de l'âge chronologique et de la génération sont confondues alors que dans les études longitudinales, ce sont les variables du temps de mesure (environnement) et de l'âge chronologique qui le sont (Baltes & Nesselroade, 1968). L'idéal serait par conséquent de combiner les deux types d'approche (e.g. Sliwinski & Buschke, 1999), bien que les coûts en soient encore alourdis. En raison de ces coûts, la plupart des travaux présentés dans ce document s'inscrivent dans des méthodologies transversales. Afin de mieux différencier les possibles effets relatifs à une méthodologie par rapport à l'autre, il sera précisé qu'une méthodologie longitudinale a été utilisée le cas échéant.

Avec un intérêt particulier pour notre propos, le cerveau, et par là même la cognition, subissent aussi les effets de l'âge (Grady, 2008). Parmi les modifications observées, les voies de neuro-transmission dont essentiellement la voie dopaminergique (Ollat, 1993), se trouvent affectées. La matière blanche (Kennedy & Raz, 2009; Nordahl et al., 2006), tout comme la grise (Kalpouzos et al., 2009), connaît une altération significative (Giorgio et al., 2010). De manière plus ciblée, le déve-

l'augmentation des radicaux libres altère principalement les hippocampes et les lobes frontaux (Fontaine, 2007). Ces deux régions cérébrales sont d'ailleurs les plus atrophiées avec le vieillissement (Daselaar, Fleck, Dobbins, Madden, & Cabeza, 2006 ; Elderkin-Thompson, Ballmaier, Hellemann, Pham, & Kumar, 2008).

Les répercussions des effets de l'âge sur la cognition seront détaillées dans la section suivante. Avant cela, il est important de noter qu'il est couramment rapporté une accélération du déclin après 70 ans (e.g. Park & Gutches, 2002, 2006) et par conséquent les effets du vieillissement sur la cognition ne sont pas linéaires. En outre, l'évolution de la cognition avec l'âge n'est pas indépendante de l'évolution d'autres facteurs. Ainsi, la recherche prend de plus en plus en compte l'ensemble des facteurs pouvant être impliqués dans ces changements cognitifs constituant une approche plus holistique. Parmi les exemples les plus flagrants, il a été montré des liens étroits dans le vieillissement entre la condition physique et la cognition (e.g. Hillman, Weiss, Hagberg, & Hatfield, 2002 ; Verhaegen, Borchelt, & Smith, 2003). De même, le concept de réserve cognitive semble primordial (voir pour revue, Stern, 2009). Ce concept suppose que certains individus ont de meilleures ressources et capacités de compensation de leurs difficultés, dépendant essentiellement du niveau socio-culturel de la personne. Enfin, il nous semble important de souligner que les effets du vieillissement ne sont pas seulement d'ordre quantitatif comme la diminution des performances. L'approche qualitative permet de penser le vieillissement autrement. Certaines différences associées à l'avancée en âge et interprétées comme un déclin pourraient s'expliquer par des différences stratégiques (Lemaire, 2010). Le contrôle des stratégies utilisées montre alors que les personnes âgées peuvent réussir une tâche de manière similaire à de jeunes adultes pour des tâches de très bas niveau comme les temps de réaction simple (e.g. Vallet, Fortin, & Simard, sous presse), mais aussi de plus haut niveau comme des tâches de mémoire épisodique (e.g. Naveh-Benjamin, Brav, & Levy, 2007).

Ces changements et leurs possibles retentissements montrent l'importance d'une meilleure compréhension du vieillissement cognitif (voir Lemaire & Bherer, 2005, pour synthèse). Puisque les approches fonctionnelles de la mémoire sont quasiment inappliquées à la neuropsychologie, cette description demeurera dans des termes structuralistes. La compréhension du fonctionnement cognitif dans le vieillissement peut s'inscrire au sein d'hypothèses générales, appelées globales, tenant compte tant des changements physiologiques que ceux cognitifs ; ou alors au sein d'hypothèses analytiques se centrant sur des changements plus spécifiques (Brouillet & Syssau, 2000 ; Syssau, 1998).

2.2 Vieillessement cognitif et théories explicatives

2.2.1 Les théories globales

La littérature rapporte quatre grandes hypothèses globales. Parmi celles-ci, la théorie dite du ralentissement global est certainement la théorie dominante (e.g. [Salthouse, 1996](#) ; [Salthouse, 2000](#)). Cette théorie se base sur le constat de la dégradation de la myéline au cours du vieillissement. La myéline, sorte de gaine isolante des neurones, permet notamment l'accélération de la transmission nerveuse. Sa dégradation se traduirait alors par un ralentissement non spécifique et général touchant tous les systèmes de l'individu impliquant une transmission nerveuse (perceptif, moteur, cognitif, etc.). Le ralentissement n'est pas limité aux tâches impliquant la rapidité, puisque le traitement cognitif lui-même est ralenti, dégradant l'acuité et les performances des participants. La dégradation de la myéline suggère également que le rapport signal sur bruit est altéré, hypothèse reprise par la théorie d'un déficit d'inhibition.

Cette deuxième théorie, d'un déficit général d'inhibition ([Dempster, 1992](#) ; [Lustig, Hasher, & Zacks, 2007](#)), suppose que les effets délétères du vieillissement s'expliquent par une sensibilité accrue aux informations non pertinentes pour la tâche en cours (pour revue voir [Fournet, Mosca, & Moreaud, 2007](#)). Cette dégradation du traitement de l'information entraînerait un ralentissement et des déficits pour les tâches les plus exigeantes. Cette hypothèse est la plus à même pour expliquer pourquoi les personnes âgées ne présentent pas systématiquement une baisse de performance ou un ralentissement (e.g. [Vallet, Fortin, & Simard, sous presse](#) ; [Welford, 1988](#)).

Une troisième théorie met en avant un déficit relatif à la mémoire de travail ([Inglis & Caird, 1963](#)). Plus précisément, il s'agirait d'une baisse globale des ressources attentionnelles disponibles pour le traitement cognitif ([Craik & Byrd, 1982](#)). Cette diminution des ressources entraînerait à la fois un ralentissement du traitement (diminution du traitement en parallèle remplacé par un travail séquentiel) et expliquerait aussi les baisses de performances plus marquées pour les tâches les plus exigeantes.

Enfin, une dernière hypothèse suppose que le déclin sensoriel généralisé constaté dans le vieillissement normal pourrait rendre compte des effets cognitifs associés à l'âge (e.g. [Valentijn et al., 2005](#)). Les difficultés sensorielles pourraient alors causer une gêne dans le traitement de l'information se traduisant par un ralentissement des performances et une baisse des performances. Cette hypothèse sera davantage développée à la fin de ce chapitre en raison de sa pertinence pour les approches non abstractives de la mémoire.

2.2.2 Les théories analytiques

Les théories analytiques se basent sur le constat que certaines fonctions dans le vieillissement sont préservées alors que d'autres déclinent. Ce constat met en avant l'étude des fonctions et des tâches utilisées pour comprendre les effets du vieillissement.

Tableau cognitif global

Une première étape est de s'intéresser au tableau cognitif global des personnes âgées (par exemple, [Park & Gutchess, 2002](#) ; [Park, Polk, Mikels, Taylor, & Marshuetz, 2001](#)). Les résultats indiquent une altération des fonctions cognitives, bien qu'une lecture plus approfondie des données montre un tableau plus complexe. Par exemple, alors que l'intelligence globale semble préservée, une analyse plus fine montre cependant une baisse du quotient intellectuel de performance associée à une augmentation du quotient intellectuel verbal (voir [Baltes, 1993](#)).

Les fonctions dites instrumentales, c'est-à-dire le langage, les praxies et les gnosies, seraient parfaitement fonctionnelles. Il en irait de même pour les aspects automatiques comme la mémoire procédurale, mais ce point sera davantage discuté ci-dessous. Cette hypothèse apparaît valable pour les aspects automatiques de l'attention qui semblent bons alors que les aspects plus contrôlés semblent décliner (voir [Verhaeghen & Cerella, 2002](#), pour revue). Ainsi, les personnes âgées montreraient des difficultés lors du partage de ressources, de l'inhibition d'informations non pertinentes ou encore lors de désengagement/réengagement de l'attention¹ ([Commodari & Guarnera, 2008](#) ; [Martin, Brouillet, Guerdoux, & Tarrago, 2006](#)).

En revanche, les fonctions exécutives semblent globalement s'altérer avec l'avancée en âge. D'ailleurs, Belleville et collaborateurs ([Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996](#)) évoquent une hypothèse frontale du vieillissement qui définit une sensibilité des lobes frontaux aux processus du vieillissement normal (voir [Greenwood, 2000](#), pour discussion). L'atteinte de ces lobes entraînerait une altération des fonctions exécutives, fonctions principalement sous-tendues par ces structures cérébrales ([Miyake et al., 2000](#) ; [Elderkin-Thompson et al., 2008](#)). Cette altération toucherait à la fois les fonctions cognitives, comme la mise à jour ou l'inhibition, mais aussi les fonctions reliées aux émotions comme la prise de décision ([Baena, Allen, Kaut, & Hall, 2010](#)).

Malgré ce déficit exécutif, la première plainte cognitive des aînés concerne leur

¹ « Attention shift ».

fonctionnement mnésique (Glodzik-Sobanska et al., 2007). Cette plainte viserait plus spécifiquement leurs connaissances épisodiques. Cependant, le tableau mnésique des personnes âgées n'est pas homogène puisque certaines connaissances sont préservées et d'autres non (voir Balota, Dolan, & Duchek, 2000 ; Grady & Craik, 2000, pour revues sur la mémoire).

Mémoires préservées

Il est communément admis que la mémoire procédurale serait préservée chez les personnes âgées comme dans la plupart des maladies neurologiques corticales (Fleischman, Wilson, Gabrieli, Bienias, & Bennett, 2004 ; Fleischman, 2007). Supportant ce postulat, les procédures simples ne sont pas altérées avec l'avancée en âge. Cependant, un examen plus précis montre que l'apprentissage procédural cognitif ne semble pas aussi performant que chez les sujets jeunes (Hubert et al., 2009). L'apprentissage des personnes âgées est en effet plus lent et moins efficient, notamment en raison de l'implication des fonctions exécutives dans ce type d'apprentissage.

Quant aux effets d'amorçage, le tableau est lui aussi variable. Les amorçages de répétition – un stimulus répété – semblent bien préservés (e.g. Light & Singh, 1987 ; La Voie & Light, 1994). Il en serait de même pour les amorçages sémantiques, puisque les personnes âgées présenteraient des effets équivalents, voire supérieurs, à ceux observés chez les sujets jeunes (Laver & Burke, 1993). Toutefois, ils semblent perturbés pour de nouveaux items, dans le cas d'amorçages associatifs (Ergis, Van der Linden, & Deweer, 1995 ; Soldan, Hilton, Cooper, & Stern, 2009). Enfin, la littérature sur les effets d'amorçage intersensoriel – amorce dans une modalité, cible sémantiquement reliée à une autre – rapporte des résultats contradictoires (pour revue, voir Vallet, Simard, & Versace, sous presse). Certaines études montrent des effets similaires à ceux des personnes jeunes (Balota, Watson, Duchek, & Ferraro, 1999 ; Ballesteros & Mayas, 2009), alors que d'autres ne constatent pas d'effets significatifs (Habib, Jelacic, & Craik, 1996 ; McGeorge, Taylor, Della Sala, & Shanks, 2002). Soulignons que ces résultats contradictoires pourraient provenir de problèmes méthodologiques (pour discussion voir, Mitchell & Bruss, 2003).

La mémoire sémantique est généralement rapportée comme étant préservée, voire même améliorée puisque l'ensemble des connaissances acquises croît avec l'avancée en âge (e.g. Grady & Craik, 2000 ; Nyberg, Bäckman, Erngrund, Olofsson, & Nilsson, 1996). Cette particularité expliquerait les bonnes performances des aînés pour les tests d'intelligence cristallisée et pour le langage.

Mémoire épisodique

Les personnes âgées se plaignent de leur mémoire épisodique, plainte objectivable par l'examen neuropsychologique. Pourtant, il est généralement admis que les connaissances mnésiques demeurent préservées – le stockage – dans le vieillissement, y compris pour les connaissances épisodiques (Syssau, 1998). C'est pourquoi la littérature s'est davantage focalisée sur les processus d'encodage et de récupération pour rendre compte des difficultés mnésiques des personnes âgées. Différentes hypothèses interviennent alors et supposent soit une compensation soit un déclin avec l'avancée en âge (voir par exemple, Cabeza, 2002 ; Grady, 2008 ; Vallesi, McIntosh, & Stuss, 2011).

Un premier point à souligner est qu'il est difficile de tester l'encodage indépendamment de la récupération puisque les manipulations à l'encodage ne peuvent s'observer comportementalement que lors de la récupération de l'information. Toutefois, certains auteurs avancent l'hypothèse que ce serait davantage l'encodage, par rapport à la récupération, qui poserait problème aux personnes âgées (Friedman, Nessler, & Johnson, 2007). Ainsi, Craik (1986) a proposé l'hypothèse d'un déficit d'auto-initiation dans le vieillissement. Selon cette hypothèse, les personnes âgées souffriraient d'un manque global de ressources cognitives qui se traduirait principalement par une difficulté accrue à entreprendre une action. Au niveau mnésique, ce déficit entraînerait alors un moins bon recours aux stratégies efficaces nécessaires à un bon apprentissage (e.g. Tacconnat et al., 2009). La question est alors de savoir si les personnes âgées n'utiliseraient plus spontanément ces stratégies adaptées, mais si elles pourraient en bénéficier (Craik & Simon, 1980) ; ou alors si elles ont perdu cette capacité (Eysenck, 1974). Il semblerait que ce soit la première hypothèse qui soit valide, puisque forcer l'usage de stratégies efficaces permet aux personnes âgées de s'améliorer significativement (Craik & Tulving, 1975 ; Naveh-Benjamin et al., 2007). Rappelons ici que des travaux récents montrent qu'une partie des déficits cognitifs observés dans le vieillissement pourrait s'expliquer par des variations stratégiques avec l'avancée en âge (Lemaire, 2010).

Au contraire, d'autres auteurs ont souligné les difficultés de récupération en mémoire comme problème central des personnes âgées (Burke & Light, 1981). Ainsi, il est reconnu que les personnes âgées rappellent généralement moins d'items que les jeunes adultes (Craik & McDowd, 1987). Cette difficulté de rappel est encore plus marquée pour le rappel du contexte associé à l'item (Spencer & Raz, 1995) dont la source du souvenir (Glisky, Rubin, & Davidson, 2001). Ce problème lié au contexte et à la source pourrait expliquer la baisse de la qualité de leur rappel. En effet, leurs souvenirs épisodiques sont moins vivaces que ceux des jeunes adultes (e.g. Friedman, de Chastelaine, Nessler, & Malcolm, 2010), c'est-à-dire moins de réponses « Remember » selon le paradigme R/K de (Gardiner, 1988). Ce même

profil est retrouvé pour la mémoire autobiographique qui serait bien préservée, mais avec une baisse des réponses « Remember » au profit de réponses de type « Know » (Piolino et al., 2006).

Concernant la reconnaissance, elle est souvent rapportée comme préservée dans le vieillissement normal. Néanmoins, certaines données démontrent des difficultés pour les personnes les plus âgées – après 70 ans (Isingrini, 1995), ou lorsque la tâche est rendue plus difficile avec l'augmentation du nombre d'items, ou du délai entre l'apprentissage et la reconnaissance (Davis et al., 2003). Il en va de même lorsque les aspects plus qualitatifs sont considérés comme les fausses reconnaissances (Schacter, Koutstaal, & Norman, 1997; Kensinger & Schacter, 1999). Les personnes âgées ont davantage tendance à commettre des fausses reconnaissances (Jacoby, Bishara, Hessels, & Toth, 2005) et portent également un plus haut jugement de confiance dans celles-ci comparativement aux jeunes adultes (voir pour revue, Jacoby & Rhodes, 2006).

Quant aux aspects prospectifs, ils semblent globalement altérés par rapport aux sujets jeunes tant pour les items basés sur le temps que ceux basés sur les faits (voir, Henry, Macleod, Phillips, & Crawford, 2004, pour revue). Néanmoins, cette revue de la littérature montre que les personnes âgées obtiennent de meilleures performances que les jeunes pour les situations plus écologiques comme penser à appeler l'expérimentateur depuis leur domicile.

Ces données suggèrent que les troubles de la mémoire épisodique rapportés dans le vieillissement – récupération des souvenirs, contexte et source, etc. – sont notamment en lien avec une altération des fonctions exécutives (Clarys, Bugajska, Tapia, & Baudouin, 2009; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003; Troyer et al., 1994). En effet, les rappels libres reflètent la capacité de recherche volontaire en mémoire² et sollicitent davantage de ressources que celles nécessaires à la reconnaissance (Craik & McDowd, 1987). D'ailleurs, les aînés bénéficient davantage de la méthode de rappel indicé que des adultes plus jeunes (Sauzeon, N'kaoua, Lespinet, Guillem, & Claverie, 2000). Dans la même idée, l'attribution de la source ou l'élimination des fausses reconnaissances dépend des capacités de contrôle (Dodson & Schacter, 2002), soulignons que ce rôle des fonctions exécutives dans la mémoire est bien connu (voir, Ozen & Rezaki, 2007, pour une synthèse sur ce sujet).

Plus récemment, l'hypothèse d'un déficit d'association a été proposée par Naveh-Benjamin (2000) afin de rendre compte des difficultés épisodiques des personnes âgées (pour revue, voir Old & Naveh-Benjamin, 2008). À travers différentes séries d'expériences, l'auteur a démontré que les personnes âgées présentaient un déficit marqué pour la reconnaissance d'associations comparativement aux items isolés

²Les rappels libres sont parfois qualifiés de recherche stratégique.

(Naveh-Benjamin, 2000). Soulignons que ce résultat nuance encore une fois l'idée reçue d'une reconnaissance toujours performante chez les aînés. Ce déficit trouve un support dans les modifications biologiques liées à la sénescence (Li, Naveh-Benjamin, & Lindenberger, 2005) et est valable pour différents types de matériel et persiste lorsque les items sont naturellement reliés entre eux (Naveh-Benjamin, Hussain, Guez, & Bar-On, 2003), mais l'amplitude du déficit diminue significativement. Cette difficulté d'association est croissante avec l'avancée en âge supportant l'hypothèse d'un déficit intimement relié au vieillissement (Bender, Naveh-Benjamin, & Raz, 2010). Cette hypothèse permettrait alors d'expliquer assez parcimonieusement des difficultés épisodiques des personnes âgées. En effet, leurs difficultés particulières pour rappeler les détails associés, la source ou encore le contexte s'inscrivent dans des situations de rappels d'associations (mais voir, Dew & Giovanello, 2010, pour un avis plus mitigé).

2.3 Aspects sensoriels et intégration

L'introduction de ce document a pointé le rôle de la perception dans la mémoire comme une des principales différences entre les approches structuralistes et fonctionnalistes. C'est pourquoi nous détaillerons dans une section à part entière les effets du vieillissement sur la perception. La perception n'est cependant pas un objet d'étude uniforme puisque le traitement perceptif peut s'étudier à différents niveaux, du système nerveux périphérique à l'intégration multisensorielle dans les aires cérébrales associatives de haut niveau (e.g. Driver & Spence, 2000).

2.3.1 Sens et perception

Le vieillissement normal se caractérise par une série de modifications qui touchent l'individu dans son ensemble. Parmi ces changements, les sens et la perception ne sont pas épargnés (voir pour revue, Corso, 1971 ; Raschilas, 2006). Cette altération touche en premier lieu le système périphérique avec la dégénérescence de certains neurones sensoriels (voir pour revue, Ulfhake, Bergman, & Fundin, 2002), mais aussi le système nerveux central (Nusbaum, 1999). Il en va de même pour les organes sensoriels. Les yeux se fragilisent avec par exemple une opacification du cristallin et une augmentation importante des risques de maladie de l'oeil comme le glaucome ou la dégénérescence maculaire liée à l'âge (voir Loh & Ogle, 2004). Les capacités auditives sont elles aussi amoindries avec une presbyacousie et parfois une surdité qui s'installe avec l'avancée en âge provenant de modifications tant mécaniques que physiologiques de l'oreille et du système nerveux (Huang & Tang, 2010).

La perception des aînés est donc logiquement dégradée (Schneider & Pichora-Fuller, 2000). D'ailleurs, les personnes âgées présentent des seuils perceptifs significativement plus élevés que ceux des jeunes adultes pour tous les sens (Corso, 1971). Soulignons tout de même que les effets sont beaucoup plus marqués pour la vision et l'audition (e.g. Fozard & Gordon-Salant, 2001).

2.3.2 Liens entre perceptions et cognition

Cette dégradation de la perception semble concomitante avec la détérioration cognitive telle que rapportée depuis longtemps dans le vieillissement (e.g. Corso, 1971). Point intéressant ici, l'idée d'une association entre perception et intelligence, indépendamment de la question du vieillissement, remonte au XIX^{ième} siècle avec Galton (1883). Cet auteur évoquait l'hypothèse « senses-intelligence » qui suppose que plus les sens sont affûtés, plus grande est la possibilité de développer son intelligence et son jugement. Cette hypothèse n'a cependant pas trouvé d'appui expérimental avant les années 1960 et l'étude du vieillissement (e.g. Schaie, Baltes, & Strother, 1964).

L'étude plus systématique de ces liens dans le vieillissement remonte au milieu des années 1990 (e.g. Baltes & Lindenberger, 1997 ; Salthouse, Hancock, Meinz, & Hambrick, 1996 ; Stevens, Cruz, Marks, & Lakatos, 1998) et démontre un intérêt toujours actuel (Baldwin & Ash, 2011 ; Lin et al., 2011). La contribution majeure à ce champ d'études provient de l'équipe de Lindenberger au Max Planck Institute en Allemagne. Son équipe est notamment impliquée dans l'étude épidémiologique sur la population âgée de Berlin. Ainsi, ils ont démontré que l'acuité visuelle et auditive combinées permettaient d'expliquer près de la moitié de la variance observée pour les tests d'intelligence (Lindenberger & Baltes, 1994). Les capacités visuelles et auditives représentaient même des meilleurs prédicteurs de l'intelligence que les variables socio-biographiques (Lindenberger & Baltes, 1997). La modalité tactile serait, elle aussi, impliquée dans le fonctionnement cognitif et pourrait expliquer environ 20% de la variance observée dans les tests d'intelligence (Li, Jordanova, & Lindenberger, 1998).

Ces liens semblent confirmés dans les études longitudinales. Ainsi, les troubles visuels seraient associés à des troubles exécutifs et mnésiques d'une part, et d'autre part les troubles auditifs seraient associés à des troubles mnésiques (Valentijn et al., 2005). Néanmoins, les liens entre les capacités visuelles ou auditives avec la mémoire ne sont pas toujours rapportés. Ainsi, les capacités visuelles ont pu être impliquées dans des tâches mnésiques (Gussekloo, de Craen, Oduber, van Boxtel, & Westendorp, 2005), mais les auteurs n'ont pas constaté d'association entre les tests cognitifs et les performances auditives. À l'inverse, l'étude longitudinale BOLSA

(Bonn Longitudinal Study on Aging) rapporte des liens significatifs entre audition et mémoire, mais pas pour la vision (voir [Rott, 1995](#), cité dans [Wahl & Heyl, 2003](#)).

La question de l'interprétation de ces liens demeure. La littérature permet d'identifier quatre grandes hypothèses. Les deux premières stipulent un lien direct entre l'altération des sens et le fonctionnement cognitif. Selon la « sensory deprivation hypothesis³ » (hypothèse de déprivation sensorielle), un manque prolongé de stimulation sensorielle causerait une déprivation du système nerveux menant à une atrophie cérébrale. Celle-ci expliquerait alors les troubles cognitifs ([Lindenberger & Baltes, 1994](#)). La deuxième hypothèse directe concerne la théorie des ressources attentionnelles. La baisse d'acuité sensorielle demanderait à la personne davantage d'attention pour réaliser les tâches cognitives ce qui diminuerait les ressources disponibles pour effectuer la tâche ([Baltes & Lindenberger, 1997](#)). Une troisième hypothèse qui propose l'existence d'un facteur commun est connue sous le nom de « common cause theory ». Ce facteur commun pourrait être par exemple une détérioration non spécifique du système nerveux central ([Christensen et al., 2000](#) ; [Christensen, Mackinnon, Korten, & Jorm, 2001](#)). Enfin, la dernière hypothèse suppose que l'altération sensorielle perturberait tout simplement le bon déroulement psychométrique des épreuves : entendre et voir moins bien se traduiraient alors par un ralentissement et une baisse de la performance ([van Boxtel et al., 2000](#) ; [van Boxtel, ten Tusscher, Metsemakers, Willems, & Jolles, 2001](#)). Toutefois, cette hypothèse semble moins probable au vu de certains résultats expérimentaux. Ainsi, lorsque des participants adultes (entre 40 et 60 ans) sont mis dans des conditions de perceptions dégradées, équivalentes à celles des personnes plus âgées, les performances cognitives sont ralenties, mais non diminuées qualitativement ou quantitativement ([Lindenberger, Scherer, & Baltes, 2001](#) ; [Scialfa, 2002](#)). Par conséquent l'altération cognitive des personnes âgées ne semble pas provenir d'une simple baisse de l'acuité visuelle et auditive.

Ces possibles associations soulèvent toutefois la nécessité d'une prise en compte des capacités perceptives dans les performances cognitives des personnes âgées ([Scialfa, 2002](#)). Un autre intérêt de l'étude de ces liens est qu'ils pourraient être prédictifs ou caractéristiques de certaines maladies. Ainsi, des difficultés significatives d'identification des odeurs ont été montrées comme prédictives du risque de déclarer un trouble cognitif léger – TCL ([Wilson et al., 2007](#)).

³Parfois appelée « Cascade hypothesis ».

2.3.3 Intégration multisensorielle

La section précédente a montré que les effets du vieillissement se répercutaient aussi sur la perception. La baisse d'acuité et celle de perception de bas niveau s'expliqueraient par une atteinte du système nerveux périphérique, mais aussi central. Il semblerait que les capacités d'identification de bas niveau, comme évaluées par la « Visual Object and Space Battery » (Warrington & James, 1991), soit également amoindries avec l'âge (Bonello, Rapport, & Millis, 1997; Herrera-Guzmán, Peña Casanova, Lara, Gudayol-Ferré, & Böhm, 2004). Pourtant, les arguments évoqués plus haut montrent que les personnes âgées ne présentent pas d'agnosie ce qui suggère que les capacités perceptives de plus haut niveau seraient préservées.

Supportant cette idée, l'intégration multisensorielle apparaît préservée dans le vieillissement normal. Rappelons que l'intégration multisensorielle désigne la capacité du système cognitif à créer une représentation multidimensionnelle de haut niveau, c'est-à-dire qui soit plus que la somme de ses composantes unimodales (e.g. Driver & Spence, 2000). Les capacités d'intégration de stimuli sans signification chez les personnes âgées seraient similaires à celle des jeunes adultes (Spehar, Tye-Murray, & Sommers, 2008). Plus intéressant, certains travaux rapportent une capacité d'intégration multisensorielle supérieure dans le vieillissement pour des stimuli ayant un sens (Delbeuck, Collette, & Van der Linden, 2007; Laurienti et al., 2006). Ce bénéfice reste valable lors de situations en attention divisée (Hugenschmidt, Mozolic, & Laurienti, 2009). Une autre étude rapporte une intégration supérieure chez les personnes âgées, résultats étendus au traitement sensoriel périphérique (Diederich, Colonius, & Schomburg, 2008). Les auteurs montrent alors que le ralentissement existant pour ce traitement périphérique est trop important pour être pleinement compensé par cette meilleure intégration.

Une première interprétation serait que cette amélioration provienne du ralentissement des personnes âgées. En effet, le ralentissement global rapporté chez les aînés devrait se traduire par une différence de plus grande amplitude entre les conditions. Cependant, ce bénéfice multisensoriel irait au-delà des conséquences du ralentissement comme illustré par le RACE model (Peiffer, Mozolic, Hugenschmidt, & Laurienti, 2007). Cet outil d'analyse (Miller, 1982) compare les capacités de traitement des individus dans les conditions unimodales et multimodales. Un gain multisensoriel est rapporté lorsque la condition multimodale est supérieure à la somme des conditions unimodales. Ce dépassement signifierait que l'intégration va au-delà d'une simple convergence des modalités sensorielles. Le gain pourrait s'expliquer en raison de difficultés plus marquées pour l'attention unimodale (Hugenschmidt, Peiffer, McCoy, Hayasaka, & Laurienti, 2009). Les jeunes adultes seraient davantage engagés dans chaque modalité et présenteraient un plus grand coût de désengagement entre les modalités.

2.4 Approches incarnées et vieillissement normal

Les approches incarnées de la cognition et de la mémoire n'ont presque pas été appliquées à la neuropsychologie et encore moins au vieillissement normal. Toutefois, ces approches permettent d'émettre un certain nombre d'hypothèses et de prédictions concernant les effets du vieillissement.

Le premier point qui ressort de la présentation du profil mnésique des personnes âgées est l'atteinte surtout qualitative et exécutive de la mémoire épisodique. Pour des approches incarnées, cette altération fait écho à l'altération sensorielle qui caractérise aussi le vieillissement. Ces approches placent le corps et l'environnement au centre de la cognition et définissent les connaissances comme ancrées dans leurs propriétés sensori-motrices. D'ailleurs, plusieurs études ont rapporté des liens forts (corrélations) entre les atteintes sensorielles et mnésiques. En conséquence, une altération de la perception devrait se répercuter au niveau des connaissances (i.e., des représentations). Percevoir moins bien, c'est faire émerger des connaissances de moins bonnes qualités. D'ailleurs, le manque de détails épisodiques peut être mis en lien avec une capacité d'imagination réduite chez les personnes âgées (Gaesser, Sacchetti, Addis, & Schacter, 2011).

Cette hypothèse permet alors d'expliquer pourquoi les personnes âgées présentent une moins bonne reviviscence, mais également leurs difficultés de rappel libre, de rappel du contexte et de la source ou encore les fausses reconnaissances. La raison sous-jacente est identique pour tous ces cas de figure. Une moins bonne qualité des connaissances induit que ces connaissances, ainsi que les souvenirs, puisque ceux-ci émergent (et ne sont pas stockés), deviennent moins discriminables les uns des autres. Autrement dit, le rapport signal sur bruit est affaibli rendant la récupération d'un souvenir, ou d'une trace mnésique, moins efficace. Ce flou mnésique, i.e. ce bruit, se traduit aussi par une interférence plus conséquente des autres signaux, i.e. les autres traces, favorisant l'émergence de faux souvenirs.

Cette hypothèse est donc parcimonieuse puisqu'à partir d'un seul phénomène qu'est la dégradation de la qualité de la perception/des connaissances, elle rend compte d'un ensemble de phénomènes mnésiques. Néanmoins, cette hypothèse ne permet pas d'expliquer les cas d'amnésie, c'est-à-dire les situations où les connaissances mnésiques semblent perdues. C'est le cas de la maladie d'Alzheimer, dégénérescence touchant en premier lieu la mémoire épisodique.

Synthèse intermédiaire

Le vieillissement normal est caractérisé par des modifications structurelles et fonctionnelles touchant l'ensemble des sphères de l'individu. Le cerveau et la cognition sont également concernés. Il est communément admis que les personnes âgées présentent un ralentissement global, mais aussi des troubles exécutifs et mnésiques. Une analyse plus fine de la littérature montre que les altérations mnésiques concernent essentiellement les aspects exécutifs et qualitatifs de la mémoire épisodique. Ainsi, la vivacité des souvenirs ou même les capacités de rappel du contexte sont significativement diminuées avec l'âge. Les personnes âgées sont aussi davantage susceptibles de commettre des fausses reconnaissances. En revanche, les aspects plus automatiques de la mémoire semblent préservés. Les rappels indicés et la reconnaissance sont par exemple régulièrement rapportés comme équivalents à ceux des jeunes adultes. Il en va de même pour les effets d'amorçage, bien que certaines études rapportent des altérations dans le cas d'amorçage pour de nouvelles associations ou pour des situations inter-sensorielles.

Le vieillissement est aussi caractérisé par une altération sensorielle et perceptive, tant périphérique que centrale. En revanche, le traitement perceptif semble suffisamment efficace pour permettre la bonne réalisation des tests perceptifs. En outre, l'intégration multisensorielle est préservée, voire même plus efficace que pour de jeunes adultes. Cette altération sensorielle a été régulièrement mise en lien avec les troubles cognitifs, et pourrait même être prédictive de la conversion vers une démence. Cependant, les différentes hypothèses explicatives de ces liens demeurent discutées et aucune hypothèse ne semble l'emporter sur les autres.

Cependant, ces liens semblent s'inscrire naturellement dans les approches incarnées de la cognition qui définissent des connaissances modales. Ces approches permettent de supposer qu'une altération de la perception devrait se traduire par une altération des représentations, c'est-à-dire des connaissances. Par conséquent, la qualité des représentations et donc la discriminabilité des traces mnésiques (souvenirs) entre elles devrait être affectée. L'altération sensorielle/perceptive expliquerait alors les difficultés de rappel par soi-même, de rappel du contexte ou encore l'augmentation du nombre de fausses reconnaissances observées dans le vieillissement normal.

Cette hypothèse s'avère malgré tout insuffisante pour expliquer les cas d'altération mnésique plus conséquents, comme ceux caractérisant la maladie d'Alzheimer. Cette maladie est particulièrement intéressante pour la problématique de cette thèse puisque le vieillissement est également le premier facteur de risque de cette maladie. Les personnes âgées cognitivement saines constituent alors un groupe contrôle tout désigné pour l'inclusion de patients souffrant de la maladie d'Alzheimer.

Chapitre 3

La maladie d'Alzheimer

Le vieillissement est associé à de nombreuses maladies, tant physiques que psychologiques ou cognitives. D'ailleurs, l'avancée en âge constitue le premier facteur de risque de la démence la plus fréquente au monde, la maladie d'Alzheimer – MA (Chen et al., 2009). Avec l'augmentation de l'espérance de vie, l'impact de ce type de maladie sur la société croît considérablement (Ballard et al., 2011). Ce phénomène, couplé aux particularités pathologiques et cognitives de la maladie, explique l'imposante quantité d'articles publiés sur le sujet, allant des études génétiques aux études épidémiologiques et sociales. Cette section détaillera quelques données sélectionnées afin de présenter la maladie d'Alzheimer et les troubles cognitifs qui lui sont associés.

3.1 Généralités et épidémiologie

Le syndrome démentiel d'Alzheimer, ou maladie d'Alzheimer, a été décrit au début du XIX^{ème} siècle par le médecin allemand Aloïs Alzheimer (Alzheimer, 1906)¹. Il a rapporté le cas d'une patiente présentant des troubles cognitifs, dont une atteinte conséquente de la mémoire épisodique, se dégradant au fil du temps. Cette maladie représente la première cause de démence dans le monde avec une prévalence mondiale estimée à 23 millions de personnes en 2006 (Brookmeyer, Johnson, Ziegler-Graham, & Arrighi, 2007). L'extrapolation de ces données à aujourd'hui, porte ce nombre à 34 millions (Barnes & Yaffe, 2011). Pour 2050, ce serait quatre fois plus de personnes qui seraient touchées par la MA représentant environ 1 personne sur 85. En France, ce serait environ 700 000 personnes qui seraient atteintes par cette maladie avec une incidence de 220 000 nouveaux cas par an (Helmer et al., 2006).

¹Pour une présentation générale de la maladie d'Alzheimer, voir Ballard et al. (2011) ; Cummings (2004) ; Hyman, Damasio, Damasio, and Van Hoesen (1989)

Ce type d'études estime que ce nombre devrait atteindre les 2 millions en 2040. Quant au Canada, le nombre de patients ayant une MA serait de 480 600 avec une incidence de 103 700 par an en 2008 selon le rapport de la société d'Alzheimer du Canada ([Société Alzheimer du Canada, 2009](#)). Ce rapport prévoit que le nombre de personnes atteintes de la MA dépassera le million et que le coût économique sera multiplié par 10 en 2038.

3.1.1 Critères diagnostiques actuels

Depuis ces travaux fondateurs, les connaissances sur la MA ont énormément progressé bien que des questions fondamentales subsistent. La caractérisation et le dépistage de cette maladie peuvent se faire à partir de différentes classifications. Quelle que soit la classification envisagée, il est admis que la démence de type Alzheimer est une maladie du sénium, c'est-à-dire touchant les personnes âgées de 65 ans et plus. Par conséquent, les altérations existantes dans le vieillissement normal sont aussi à considérer dans la MA. La classification la plus couramment utilisée est sans aucun doute celle proposée dans le « Diagnostic and Statistical Manual (DSM-IV-R) » sur la démence ([American Psychiatric Association, 2004](#)). Les critères diagnostiques de démence sont rencontrés lorsque le début de la maladie est insidieux et que les troubles cognitifs évoluent avec le temps. De plus, au moins deux fonctions cognitives, dont la mémoire épisodique, doivent être objectivement altérées. Ces atteintes cognitives doivent avoir des répercussions significatives sur l'autonomie de la personne, c'est-à-dire un retentissement sur les activités de la vie quotidienne. Enfin, soulignons qu'il s'agit uniquement d'un diagnostic probable et que par conséquent il faut exclure toute autre explication possible de ces troubles. Une autopsie est nécessaire pour affirmer le diagnostic de MA. Une limite importante de cette caractérisation est qu'elle n'est pas spécifique à la MA. C'est pourquoi, il est préférable de se référer aux critères du « National Institute of Neurological and Communicative Disorders and Stroke and the Alzheimer's Disease and Related Disorders Association » (NINCDS-ADRDA, [McKhann et al., 1984](#)). Ceux-ci précisent que soit une agnosie, une aphasie ou une apraxie (les trois A) doit être objectivée en plus de l'atteinte de la mémoire épisodique.

3.1.2 Nouveaux critères diagnostiques

Néanmoins, ces critères sont assez anciens et ne tiennent pas compte des avancées de la recherche à propos de la MA. Le problème de dépistage précoce fait partie des points très régulièrement soulevés. En effet, une atteinte concomitante d'au moins deux fonctions cognitives associée à un retentissement fonctionnel représente

des personnes à des stades déjà modérés de la maladie. Différentes tentatives de redéfinition de ces critères ont alors vu le jour. Par exemple, le concept de trouble cognitif léger (TCL) fut élaboré pour désigner les personnes présentant une atteinte isolée d'une fonction cognitive et se situant entre le vieillissement normal et une maladie de type démentiel (Petersen et al., 1997 ; Petersen, 2004). Il est alors supposé que le TCL représenterait le stade prodromique de la MA lorsque c'est la mémoire épisodique qui est altérée. Au niveau français, l'équipe du Pr. Dubois à la Salpêtrière a mené différents travaux afin de favoriser le diagnostic précoce de la MA et aussi d'inclure les résultats des études en neuro-imagerie ou les marqueurs bio-médicaux dans les critères diagnostiques (e.g., Dubois et al., 2007 ; Dubois, 2008). Plus récemment encore, l'« Alzheimer's Association » et le « National Institute on Aging (NIA) » ont proposé à la communauté scientifique de nouveaux critères (Jack et al., 2011 ; McKhann et al., 2011). Ceux-ci définissent trois stades possibles que sont le stade présymptomatique, le stade de TCL et enfin le stade de démence. Le premier stade serait caractérisé par des changements légers des biomarqueurs sans manifestations comportementales notables. Il n'existe pas encore de critère diagnostique pour ce stade. Le TCL serait marqué par un déficit de mémoire épisodique et possiblement d'autres fonctions, mais à un niveau non pathologique (typiquement des scores z inférieurs à -1.65) et sans répercussion dans la vie quotidienne. Enfin, le stade de MA correspondrait à une dégradation des fonctions cognitives plus importante ayant des répercussions notables dans la vie de la personne. Les auteurs mettent en avant l'importance des techniques de neuro-imagerie et de l'étude des marqueurs physiologiques dans le diagnostic.

3.1.3 Atteintes cérébrales

La maladie d'Alzheimer est aussi caractérisée par une atteinte cérébrale particulière (e.g., Weiner et al., 2010). Au niveau physiologique, les analyses post-mortem de cerveaux de personnes diagnostiquées avec une maladie d'Alzheimer probable montrent la présence et le développement croissant de plaques séniles et de dégénérescences neurofibrillaires (Finder, 2010). Ces deux phénomènes sont intimement liés à la plaque amyloïde et à la protéine tau. C'est pourquoi la MA est appelée taupathie. La répartition et l'évolution de ces altérations biologiques sont décrites selon des stades particuliers (Delacourte et al., 1999 ; Braak & Braak, 1991). Globalement, l'atteinte structurale touche en premier lieu les hippocampes, puis les zones parahippocampiques avant d'atteindre les régions temporales externes. L'évolution de la maladie continue en se propageant aux régions pariétales et frontales (e.g., Fox & Freeborough, 2005 ; Whitwell, 2010). Les mêmes phénomènes de plaques séniles et de dégénérescences neurofibrillaires existent dans le vieillissement normal, mais ces atteintes seraient cantonnées aux lobes temporaux internes (e.g., Guillozet, Weintraub, Mash, & Mesulam, 2003). La maladie d'Alzheimer se distingue donc par

une atteinte du cortex (zones associatives) par ces processus biologiques (Duyckaerts, Colle, Delatour, & Hauw, 1999).

Notons tout de même que les régions hippocampiques sont reconnues comme les principales zones atrophiées dans la MA (Barnes, Bartlett, van de Pol, & Loy, 2009; De Toledo-Morrell, Stoub, & Wang, 2007). Toutefois, certains auteurs évoquent un paradoxe hippocampique (Mevel, Chetelat, Desgranges, & Eustache, 2006) puisqu'au niveau fonctionnel, l'hippocampe n'est pas précocement hypométabolique par rapport à une atrophie structurale déjà notable. Ces possibles spécificités des atteintes physiologiques dans la MA laissent supposer que la maladie d'Alzheimer est bien une maladie distincte des effets normaux du vieillissement. Cette question a fait l'objet de débats dès le début de la recherche sur la MA, et continue aujourd'hui. Ainsi, la majorité des chercheurs semblent soutenir une approche catégorique différenciant quantitativement et surtout qualitativement le vieillissement et la MA (e.g., Carlesimo et al., 1998; Kalpouzos & Eustache, 2010; Nelson et al., 2011). Au contraire, un nombre croissant d'études suggèrent davantage un continuum entre les deux (e.g., Neill, 2011; Walters, 2010), puisqu'une importante partie des phénomènes impliqués dans la MA, comme les plaques séniles, le sont dans le vieillissement (Mondragon-Rodriguez et al., 2010). Une implication des facteurs vasculaires à travers la cascade amyloïde pourrait rendre compte de l'évolution entre vieillissement normal et une dégradation cliniquement significative (Herrup, 2010). Nous explorerons plus en détail ce débat en discussion de ce travail de thèse.

3.2 Tableau cognitif

La MA se caractérise par un déclin progressif de la plupart des fonctions cognitives. Le rythme et le moment initial du déclin des diverses fonctions sont cependant très hétérogènes d'une fonction à l'autre et d'un individu à l'autre questionnant l'existence d'une forme typique de la MA (von Gunten, Bouras, Kövari, Giannakopoulos, & Hof, 2006). Cette hétérogénéité des profils cognitifs de ces patients est d'ailleurs connue depuis longtemps (e.g., Martin, Cox, Brouwers, & Fedio, 1985) et questionne la caractérisation de la MA (Bäckman, Jones, Berger, Laukka, & Small, 2005). La MA est classiquement considérée selon trois stades (léger, modéré et sévère) qui correspondent notamment à des scores moyens obtenus au MMSE (Folstein, 1975) avec respectivement un score compris entre 24 et 18; 18 à 10 et 10 à 0. Selon ces stades, les troubles observés seront variables tout comme leur gravité. Le déclin cognitif est également associé à des troubles du comportement (e.g., Burns, 1992; Steinberg et al., 2008) qui pourraient être présents avant l'apparition des symptômes cognitifs (Feldman et al., 2004). Là encore, il est incertain si ces troubles du comportement s'inscrivent dans un continuum du vieillissement à la

MA ou s'ils sont caractéristiques de la maladie seulement (Panza et al., 2010). Ces aspects ne seront pas développés plus avant ici puisque ce travail se concentre sur la mémoire et la cognition.

3.2.1 Approche classique

Les approches historiques de la MA définissent un ordre d'apparition des déficits relativement linéaire. Les fonctions touchées étaient elles aussi relativement bien spécifiées. Ainsi, et comme souligné dans les critères diagnostiques (McKhann et al., 1984), la MA devrait se caractériser par une atteinte de la mémoire épisodique et d'un des trois A – apraxie, agnosie, aphasie (Yesavage, Brooks, Taylor, & Tinklenberg, 1993).

L'atteinte de la mémoire épisodique serait la principale caractéristique de la MA et est par conséquent opposée aux troubles essentiellement sémantiques observés dans la démence sémantique (e.g., Nestor et al., 2006). Contrairement au vieillissement normal, les difficultés de mémoire des patients atteints de la MA semblent toucher tous les aspects de la mémoire épisodique (Salthouse, 2003 ; Yubero, Gil, Paul, & Maestú, 2011). D'ailleurs, Buschke parlera d'une atteinte « authentique » de la mémoire puisque les patients présentent des difficultés à la fois pour le rappel, l'encodage, la récupération, et la reconnaissance (voir Fleischman & Gabrieli, 1999, pour revue). Cette différence se répercute également au niveau cérébral, tant d'un point de vue structural que fonctionnel (e.g., Rémy, Mirrashed, Campbell, & Richter, 2005). Ce déficit est constaté pour les différents types de matériel qu'ils soient verbaux ou visuels (voir Iachini, Iavarone, Senese, Ruotolo, & Ruggiero, 2009, pour revue). Cependant, un effet de supériorité pour les images équivalent à celui des participants contrôles persiste chez les patients Alzheimer tout comme dans le TCL (Ally, Gold, & Budson, 2009). La présence d'indices, et moindrement celle d'une organisation sémantique (i.e. items regroupables en catégories), permettent d'améliorer leurs performances des patients Alzheimer sans pour autant normaliser les performances (Herlitz & Viitanen, 1991). Les résultats apparaissent similaires pour la mémoire autobiographique et plus particulièrement dans ses aspects épisodiques (Leyhe, Müller, Milian, Eschweiler, & Saur, 2009 ; Meulbroek, Rijpkema, Kessels, Rikkert, & Fernández, 2010). La reconnaissance n'est pas épargnée et le déficit serait déjà présent dans la période prodromique de la maladie, soit le TCL (Wolk, Signoff, & Dekosky, 2008).

Ces difficultés de mémoire s'observent également au niveau qualitatif. Ainsi, les patients Alzheimer présentent davantage de fausses reconnaissances (Balota et al., 1999) et commettent également plus d'intrusions (Helkala, Laulumaa, Soininen, & Riekkinen, 1989) que les personnes âgées. Il en va de même pour la qualité

des souvenirs puisqu'une étude de 2007 (Rauchs et al., 2007) rapporte un nombre de réponses « Remember » inférieur à celui des sujets âgés contrôles. Ces mêmes auteurs soulignent les difficultés du rappel libre différé comme étant l'indice le plus sensible.

Contrairement à la mémoire épisodique, lesgnosies, praxies et phasies sont relativement peu étudiées dans la littérature alors qu'elles le sont systématiquement en clinique. Ainsi, ces patients présenteraient régulièrement une apraxie (Crutch, Rossor, & Warrington, 2007 ; Edwards, Deuel, Baum, & Morris, 1991) y compris pour les praxies constructives comme reproduire la figure complexe de Rey (Cherrier, Mendez, Dave, & Perryman, 1999). L'apraxie idéatoire, problèmes dans la succession des gestes nécessaires pour atteindre un but, apparaît plus conséquente que l'apraxie idéomotrice, mimer un mouvement (Lucchelli, Lopez, Faglioni, & Boller, 1993). Le langage et les phasies sont aussi altérés (Delazer, Semenza, Reiner, Hofer, & Benke, 2003). Une agnosie est régulièrement rapportée et semble s'expliquer tant par des aspects perceptifs que sémantiques (Goudour, Samson, Bakchine, & Ehrle, 2011). Les patients Alzheimer présentent également des atteintes de plus haut niveau, comme une anosognosie (e.g., Vogel, Hasselbalch, Gade, Ziebell, & Waldemar, 2005). Celle-ci peut-être mise en lien avec la notion de self (Mograbi, Brown, & Morris, 2009), ce qui questionne à son tour les capacités métacognitives des patients (Souhay, 2007). Il est toutefois important de souligner ici que ces déficits des trois A ne semblent pas spécifiques que ce soit par rapport au vieillissement (voir Helmes & Ostbye, 2002), ou encore par rapport à démence associée à la maladie de Parkinson (Kramer & Duffy, 1996). Cette absence de spécificité réduit significativement l'intérêt clinique de ces syndromes.

Les approches classiques de la MA considèrent que les autres fonctions cognitives, comme la mémoire sémantique ou les fonctions exécutives, devraient être préservées au tout début de la maladie et ne s'altéreraient que par la suite. En revanche, certaines fonctions cognitives demeureraient préservées, et ce même dans des stades avancés de la maladie, comme la mémoire dite non déclarative ou la mémoire procédurale. Par exemple, l'usage des procédures (Cohen & Squire, 1980) comme la lecture en miroir (Deweert, Pillon, Michon, & Dubois, 1993) ainsi que les effets d'amorçages perceptifs apparaissent bien fonctionnels (Abbenhuis, Raaijmakers, Raaijmakers, & Van Woerden, 1990 ; Meiran & Jellic, 1995 ; Verfaellie, Keane, & Johnson, 2000), y compris pour des délais importants (Cave & Squire, 1992).

Un nombre croissant d'études vient toutefois remettre en question cette approche de la MA. Ainsi, presque toutes les fonctions cognitives pourraient être altérées, et ce même à des stades très précoces de la maladie. De même, certains aspects de mémoire implicite ne seraient pas préservés comme détaillés ci-dessous.

3.2.2 Approche moderne

Les travaux menés depuis la fin des années 1990 apportent un regard différent sur les troubles cognitifs existants dans la MA. Un premier constat est l'hétérogénéité des atteintes cognitives possibles (Bäckman et al., 2005) alors que les approches classiques supposaient que seulement la mémoire épisodique et les trois A devaient être altérés, du moins au début de la maladie (Cummings, 2000). Cette diversité a poussé certains auteurs à qualifier ces formes de la MA comme atypique (Galton, 2000; von Gunten et al., 2006). De plus, ces altérations sont supposées survenir en premier et précéder toute autre possible atteinte. Pourtant, des atteintes cognitives, et pas nécessairement mnésiques, peuvent être décelées jusqu'à neuf années avant le diagnostic (Amieva et al., 2005). De même, les fonctions exécutives pourraient être altérées dès les premiers stades de la maladie (McGuinness, Barrett, Craig, Lawson, & Passmore, 2010). Cette atteinte exécutive a bien entendu une répercussion sur la mémoire épisodique (Baudic et al., 2006), mais aussi sur les troubles du comportement (McPherson, Faibanks, Tiken, Cummings, & Back-Madruga, 2002). La mémoire de travail est inégalement touchée avec les aspects phonologiques relativement préservés alors que les éléments visuo-spatiaux semblent altérés (voir Huntley & Howard, 2010, pour revue).

Il en irait de même pour la mémoire sémantique (Hodges & Patterson, 1995; Salmon, Butters, & Chan, 1999; Giffard et al., 2001). Bien que le langage lui-même soit affecté (Taler & Phillips, 2008), les difficultés s'observent également pour la mémoire sémantique elle-même (Altmann & Mcclung, 2008). Les problèmes sémantiques se constatent pour les modalités visuelles et verbales (Joubert et al., 2010) ce qui implique un problème global de stockage et non pas seulement d'accès (Hodges, Salmon, & Butters, 1992). Les tâches les plus difficiles seraient la fluence catégorielle (i.e. trouver le plus d'items possible appartenant à une catégorie donnée) et la dénomination de visages célèbres (Vogel, Gade, Stokholm, & Waldemar, 2005). Il semblerait aussi que les patients Alzheimer présentent un déficit catégorie-spécifique en défaveur des items vivants (pour revue, voir Chertkow, Whatmough, Saumier, & Duong, 2008). Cet effet catégorie-spécifique pourrait s'expliquer partiellement par l'atteinte préférentielle des caractéristiques sensorielles alors que celles dites fonctionnelles demeurent préservées (e.g., Peraita, Diaz, & Anllo-Vento, 2008).

Néanmoins, certains auteurs avancent l'idée que l'altération des processus de contrôle expliquerait une partie importante des troubles constatés lors des tâches sémantiques (Peraita et al., 2008). D'ailleurs, il est reconnu que les processus contrôlés sont altérés, tant dans le vieillissement normal que dans la MA, alors que les aspects automatiques seraient globalement préservés dans le vieillissement et seulement partiellement atteints dans la MA (e.g., Hudson, 2008). La relative préservation des processus automatiques expliquerait en partie le constat d'une

mémoire implicite préservée. Cependant, l'apprentissage de nouvelles compétences apparaît moins efficace que pour des personnes âgées contrôles (Grober, Ausubel, Sliwinski, & Gordon, 1992). L'amorçage sémantique aurait également dû être préservé, mais les résultats paraissent plus contradictoires. Ainsi, certaines recherches démontrent des effets d'amorçages perturbés (Fleischman et al., 2005; Keane, Gabrieli, Fennema, Growdon, & Corkin, 1991). Au contraire, d'autres constatent des effets équivalents à ceux observés dans le vieillissement normal (Ergis et al., 1995; Nakamura, Nakanishi, Hamanaka, Nakaaki, & Yoshida, 2000; Ober, Shenaut, Jagust, & Stillman, 1991), et enfin, certains constatent un hyper-amorçage en début de maladie (Chertkow, Bub, & Seidenberg, 1989; Giffard, Desgranges, Kerrouche, Piolino, & Eustache, 2003; Laisney et al., 2011). Toutefois, cet hyper-amorçage pourrait provenir d'un artefact méthodologique dû à un SOA (stimulus onset asynchrony) court (Shenaut & Ober, 1996). Cette contradiction pourrait aussi trouver son origine dans les tâches impliquées puisqu'une tâche de mots-associés est réussie là où une tâche de production d'exemplaires est échouée (Vaidya, Gabrieli, Monti, Tinklenberg, & Yesavage, 1999). En outre, la question des effets d'amorçage pour du matériel nouveau reste d'actualité puisque certaines études démontrent une altération de l'amorçage dans cette condition d'apprentissages nouveaux (Ergis, Van der Linden, & Deweer, 1998; Shimamura & Squire, 1989) alors que d'autres constatent des effets préservés (Postle, Corkin, & Growdon, 1996).

Enfin, les résultats pour les amorçages inter-sensoriels semblent encore plus contradictoires. Comme dans le vieillissement normal, peu d'études ont été menées sur ce sujet, réduisant la possibilité de tirer des conclusions. Selon certains travaux, les patients Alzheimer ne présenteraient pas d'amorçage inter-sensoriel (McGeorge et al., 2002). Ce résultat est toutefois à nuancer puisque lorsque le lien sémantique qui unit les deux stimuli est fort, les patients Alzheimer peuvent présenter un effet d'amorçage (Balota et al., 1999). Dans cette dernière étude, les auteurs ont manipulé la force de la relation sémantique entre les items, i.e. des mots. Les amorces étaient présentées auditivement et les cibles visuellement. Lorsque les deux types d'items étaient sémantiquement reliés, ils pouvaient l'être selon une association non-ambiguë (sens dominant : lit – oreiller) ou selon une association moins fréquente et ambiguë (lit – rivière). Les patients présentent un effet d'amorçage significatif dans la condition sens dominant, mais une absence d'effet dans l'autre condition. Ces résultats suggèrent que la complexité, ou la difficulté de la tâche joue un rôle déterminant (voir aussi Stam, Jones, Nolte, Breakspear, & Scheltens, 2007). À l'opposé, d'autres travaux rapportent des effets préservés (voir Carlesimo, Mauri, Fadda, Turriziani, & Caltagirone, 2001, mais voir Carlesimo et al., 1999 pour des résultats plus mitigés). Les effets préservés furent observés lorsque les participants étaient exposés à la lecture ou à l'écoute d'un texte, qu'il devait (re)lire par la suite. L'exposition visuelle ou auditive a facilité de manière équivalente les patients et les participants contrôles pour la lecture successive du texte.

3.3 Perception et intégration multisensorielle

3.3.1 Sens et perception

Les patients atteints de la MA présentent une altération sensorielle plus conséquente que celle rapportée dans le vieillissement normal. Ainsi, le toucher (Muller, Richter, Weisbord, & Klingberg, 1992; Stephen et al., 2010), l'audition (Gates, Anderson, & McCurry, 2011) et la vision (voir Kirby, Bandelow, & Hogervorst, 2010; Valenti, 2010, pour une revue critique) sont significativement plus dégradées en raison d'une atteinte du système nerveux périphérique. L'atteinte cérébrale supplémentaire constatée dans la MA laisse supposer que le système nerveux central soit également affecté. Cependant, les zones cérébrales impliquées dans la perception comme les régions postérieures pour la vision et la jonction temporo-pariétale pour l'audition demeurent préservées assez longtemps dans la MA (Braak & Braak, 1991). Par conséquent, les fonctions sensorielles élémentaires paraissent suffisamment bien préservées pour effectuer des tâches de perception de relativement bas niveau comme évalué par la VOSP (voir la partie tests neuropsychologiques de Joubert et al., 2010). Il en va de même pour les tâches d'amorçages perceptifs puisqu'ils sont reconnus comme équivalents à ceux observés chez les participants contrôles (voir pour revue Fleischman et al., 2005) tant pour les amorçages de répétition visuels (Koivisto, Portin, & Rinne, 1996) que pour les amorçages de répétitions auditifs (Verfaellie et al., 2000) ou même tactiles (Ballesteros & Reales, 2004). Au contraire, les agnosies s'expliqueraient par une détérioration des zones cérébrales davantage impliquées dans le traitement sémantique, comme les cortex périrhinaux (Joubert et al., 2010).

L'olfaction aurait un statut particulier. En effet, de nombreuses études ont pu rapporter une altération significative de l'olfaction et des bulbes olfactifs (Nordin & Murphy, 1996; Mesholam et al., 1998). Ce trouble olfactif a pu être montré comme significatif dans différentes démences et troubles neurologiques (Murphy, 1999; Thompson, Knee, & Golden, 1998), mais selon des profils d'atteinte différents. D'ailleurs, la reconnaissance d'odeurs pourrait participer au diagnostic différentiel (Luzzi et al., 2007). Concernant plus particulièrement la MA, ce trouble olfactif précéderait l'altération cognitive (Djordjevic, Jones-Gotman, De Sousa, & Chertkow, 2008) et serait même prédictif pour les patients TCL d'une conversion vers la MA (Devanand et al., 2000).

3.3.2 Liens entre perception et cognition

Comme dans le vieillissement normal, des liens entre cognition et perception ont pu être rapportés, et ce depuis les années 1980 (e.g., [Uhlmann, Larson, Rees, Koepsell, & Duckert, 1989](#)). Toutefois, les études ont davantage cherché l'association entre trouble perceptif et risque de démence. Ainsi, plus l'audition ([Pouchain et al., 2007](#); [Lin et al., 2011](#); [Uhlmann et al., 1989](#)), la vision ([Uhlmann, Larson, Koepsell, Rees, & Duckert, 1991](#)) et l'olfaction ([Schubert et al., 2009](#)) sont dégradées, plus grandes sont les chances de développer une démence. D'ailleurs, la manipulation de la qualité de l'information visuelle permettrait d'expliquer les différences de performances aux tâches d'identification entre des personnes âgées cognitivement saines et les patients Alzheimer ([Cronin-Golomb, Gilmore, Neargarder, Morrison, & Laudate, 2007](#)). Ces liens permettent de rendre compte logiquement d'une partie des performances pour des tâches d'identifications (entre 25 et 50% de la variance, [Cronin-Golomb, Corkin, & Growdon, 1995](#)).

D'autres études ont aussi rapporté des liens plus étroits entre cognition et perception. Ainsi, l'atteinte cognitive serait proportionnelle à l'atteinte visuelle ([Rizzo, 2000](#)) ou auditive ([Gennis, Garry, & Haaland, 1991](#)). De même, les patients souffrant de troubles auditifs ont des performances qui déclinent plus rapidement aux tests cognitifs par rapport à ceux ne présentant pas de difficultés auditives ([Peters, Potter, & Scholer, 1988](#); [Uhlmann, Larson, & Koepsell, 1986](#)).

3.3.3 Intégration multisensorielle

Les altérations sensorielles rapportées dans la MA apparaissent relativement similaires à celles observées dans le vieillissement normal. Cependant, ces patients se distinguent des personnes âgées au niveau de l'intégration multisensorielle. Ainsi, l'intégration visuo-motrice ([Tippett & Sergio, 2006](#)) tout comme celle de stimuli avec signification ([Delbeuck et al., 2007](#)) et sans signification ([Festa et al., 2005](#)) sont déficitaires. Ce déficit se constate également au niveau de l'activité cérébrale puisque les patients Alzheimer ne présentent pas d'effet réfractaire lors de potentiels évoqués inter-sensoriels dû à l'intégration multisensorielle contrairement aux sujets contrôles ([Golob, Miranda, Johnson, & Starr, 2001](#)). D'ailleurs, ce déficit d'intégration multisensorielle peut s'interpréter comme la conséquence d'une déconnexion cérébrale, principalement entre les aires corticales. Cette déconnexion se traduit aussi au niveau des oscillations (méthode d'analyse temps/fréquences en EEG) et signe là encore le déficit d'intégration multisensorielle ([Uhlhaas & Singer, 2006](#)). Ces données ajoutées aux caractéristiques neuropathologiques de la MA font de l'hypothèse d'une déconnexion cérébrale une piste explicative pertinente de la MA

(voir pour revue, [Delbeuck, Van der Linden, & Collette, 2003](#)).

Ce syndrome de déconnexion est à entendre davantage comme une dégradation de la communication cérébrale que comme une rupture complète des communications. Avec un intérêt tout particulier pour cette thèse, ce syndrome de déconnexion pourrait expliquer les difficultés mnésiques tant épisodiques ([Stoub, Stebbins, Leurgans, Bennett, & Shah, 2006](#)) que de mémoire de travail ([Parra et al., 2009](#)). Cette déconnexion expliquerait aussi pourquoi l'intégration demeure fonctionnelle lorsqu'elle requiert moins de ressources ([Festa et al., 2005](#)). Cette dernière étude a montré que les patients Alzheimer pouvaient intégrer des stimuli de différentes modalités si la demande intégrative était plus simple (mouvement / luminance) comparativement à une situation plus exigeante (mouvement / couleur). Cette hypothèse est confirmée par les études de connectivité en EEG chez ces patients. Ainsi, il apparaît que les réseaux de connexions locales (i.e. intra-modale) demeurent préservés dans la maladie alors que les réseaux plus globaux sont altérés ([Stam et al., 2007](#)). Par conséquent, l'intégration de multiples dimensions serait altérée alors que l'intégration intramodale demeure préservée. Cette hypothèse de déconnexion sera détaillée dans le chapitre 8 et en discussion générale.

3.4 Approches incarnées et maladie d'Alzheimer

La même limite d'un manque de travaux s'inscrivant dans une approche incarnée évoquée dans la partie sur le vieillissement est valable pour la maladie d'Alzheimer. Là encore, ces théories permettent tout de même d'établir quelques hypothèses.

En suivant la même logique que dans la section sur le vieillissement normal, il est notable que les patients Alzheimer présentent eux aussi une altération concomitante de leur perception et de leur mémoire. Toutefois, les troubles mnésiques constatés dans la MA sont à la fois plus importants d'un point de vue quantitatif, mais également différent d'un point de vue qualitatif. Ainsi, les rappels indicés comme la reconnaissance sont altérés contrairement au vieillissement normal. Pour autant, l'altération perceptive ne semble pas aux premiers abords être elle aussi quantitativement et qualitativement différente de celle observée dans le vieillissement. Par conséquent, l'explication des troubles mnésiques du vieillissement par une altération de la perception apparaît insuffisante pour rendre compte des effets observés dans la MA. L'importance des différences mnésiques entre le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer ne se retrouve pas au niveau perceptif.

Une première piste de réponse provient d'une idée assez ancienne sur la notion de force de la trace (ou du souvenir). Ainsi, et comme souligné par Van der Linden

(Van der Linden & Bruyer, 1991), les patients amnésiques pourraient ne souffrir que d'un problème d'activation, ou de force, de la trace. Cette hypothèse a été forgée sur le constat que de jeunes adultes pouvaient obtenir des performances équivalentes à celles de patients amnésiques lorsque la difficulté de la tâche ou le délai étaient augmentés. Les atteintes cérébrales expliqueraient la diminution de la force ou des possibilités d'activation. Cette idée a été reprise plus récemment par Nosofsky qui a introduit la notion de sensibilité de la tâche². Avec son équipe, ils ont pu montrer que la dissociation classiquement observée entre une tâche de catégorisation réussie et une tâche de reconnaissance échouée chez les patients amnésiques provenait de la difficulté de la tâche (Zaki, 1998). Ce résultat est également valable pour des patients souffrant de la maladie d'Alzheimer (Zaki, Nosofsky, & Jessup, 2003). Cette démonstration s'inscrit dans le cadre des théories fonctionnelles de la mémoire, car elle permet de rendre compte selon une approche système unique d'une dissociation classiquement interprétée comme preuve de l'existence de deux systèmes mnésiques.

Une seconde piste provient de l'atteinte des hippocampes, structures qui figurent parmi les plus touchées dans la MA (Barnes et al., 2009). Les hippocampes possèdent de nombreuses connexions, directes et indirectes, avec presque l'ensemble du cerveau (e.g., De Toledo-Morrell et al., 2007; Sirota & Buzsáki, 2005; Traub & Miles, 1991). L'hippocampe joue alors un rôle décisif dans l'intégration des différentes composantes d'un épisode (Aggleton, sous presse). D'ailleurs, l'hippocampe est reconnu pour être très impliqué dans le traitement spatial (Bird & Burgess, 2008) et temporel (Tulving, 2002a), dimensions déterminantes dans les souvenirs épisodiques (e.g., Eichenbaum & Fortin, 2003). Encore une fois, les théories incarnées supposent une émergence des connaissances, par conséquent, si la dimension temporo-spatiale ne peut plus être traitée correctement, alors l'émergence des connaissances, tant pour les nouvelles connaissances que pour les anciens souvenirs, sera altérée sur cette dimension. Les patients souffrant de lésions hippocampiques présenteront alors un trouble de mémoire épisodique, puisque ces connaissances sont définies comme contextualisées (Tulving, 1972).

Dans le même ordre d'idée, les travaux menés par Alice Gomez dans sa thèse de doctorat ont questionné le rôle de l'hippocampe dans les connaissances épisodiques (Gomez, 2011). S'inscrivant dans une approche incarnée, les auteurs défendent une implication de l'hippocampe dans le traitement spatial égocentré mis à jour. Ce traitement est défini par les auteurs comme le calcul mis à jour de la « position, orientation et le déplacement de son corps dans l'environnement ». Les résultats démontrent que ce traitement est dépendant surtout des hippocampes et est prédictif des performances épisodiques (Gomez, Rousset, & Baciú, 2009). Il est également impliqué dans les troubles épisodiques de patients souffrant de lésions bihippocampiques. Ces deux hypothèses expliquent les difficultés de rappel par soi-même

²Les auteurs parlent de « Sensitivity ».

ainsi que la perte de sentiment de reviviscence. Elle peut également rendre compte des fausses reconnaissances et des intrusions puisque les souvenirs perdent leurs spécificités contextuelles. Toutefois, elle n'explique que partiellement les difficultés de reconnaissance, tâche qui ne nécessite pas, ou peu, de recourir à un contexte temporo-spatial particulier.

Cette piste hippocampique peut être élargie à l'ensemble du cerveau, puisque la MA peut être caractérisée comme un syndrome de déconnexion ([Delbeuck et al., 2003](#)). Ainsi, ce serait l'ensemble des processus qui implique une coopération entre différentes aires cérébrales ou différentes zones du cerveau qui seraient altérées. Cette hypothèse suppose que le déficit d'intégration soit en réalité un déficit d'intégration multimodale, c'est-à-dire une intégration impliquant les différents sens (multisensorielle), mais aussi les autres domaines comme les aspects moteurs, temporo-spatiaux et émotionnels. La conséquence de ce déficit se répercuterait dans toutes les tâches cognitives impliquant une coopération allant au-delà d'une communication basique entre les aires corticales. Ainsi, les tests plus sémantiques de la mémoire pourraient être préservés si l'intégration nécessaire à l'émergence de la connaissance reste cantonnée à un domaine particulier (e.g., [Stam et al., 2007](#); [Stoub et al., 2006](#)).

Synthèse intermédiaire

La maladie d'Alzheimer représente la première cause de démence dans le monde. Bien que les critères diagnostiques soient discutés, un consensus demeure sur l'atteinte de la mémoire dite épisodique comme altération centrale dans cette maladie. Cette atteinte concerne tous les processus de la mémoire et se manifeste tant pour l'apprentissage, les capacités de rappel et la reconnaissance. L'amnésie constatée était supposée être relativement isolée, du moins au début de la maladie. Pourtant, le profil cognitif des patients Alzheimer apparaît beaucoup plus complexe qu'initialement supposé. Ainsi, presque toutes les fonctions cognitives peuvent être touchées en plus de la mémoire épisodique, et ce, même à des stades précoces de la maladie.

La diversité des troubles questionne la spécificité de la maladie ce qui alimente le débat sur le continuum avec le vieillissement normal. En effet, le fait que l'avancée en âge constitue le premier facteur de risque de cette maladie laisse supposer que la MA ne soit que l'évolution logique et inéluctable du vieillissement, ou même une évolution naturelle à laquelle se sur-ajouterait des troubles vasculaires.

Le parallèle avec le vieillissement se constate également au niveau sensoriel et perceptif. Ces altérations semblent plus importantes que celles rapportées dans le vieillissement et se répercutent également sur l'intégration multisensorielle. D'ailleurs, certains auteurs parleront d'un syndrome de déconnexion cérébrale pour caractériser la MA. Cette déconnexion expliquerait à la fois les troubles intégratifs multisensoriels, ainsi que les troubles mnésiques.

L'importance des troubles mnésiques semble disproportionnée par rapport à l'importance des difficultés sensorielles et perceptives dans la MA comparativement au tableau existant dans le vieillissement normal. Les approches incarnées de la mémoire ne peuvent par conséquent expliquer les troubles mnésiques par une relation simple entre perception et connaissance. Cependant, la considération d'un trouble intégratif multimodal, résultant du syndrome de déconnexion pourrait répondre à cette limite. En effet, l'émergence de connaissances sous forme épisodique nécessiterait une (ré)intégration des différentes composantes, intégration multimodale qui serait déficitaire chez ces patients. Cette hypothèse permettrait d'expliquer pourquoi les tests plus sémantiques, nécessitant surtout une intégration unimodale, seraient relativement préservés.

Problématique

Le premier chapitre de cette thèse a introduit l'idée que l'essence des différences entre les approches structuralistes et incarnées de la mémoire s'articule autour de la conception de représentations mnésiques ([Chiaramonte & Rousset, 2011](#)). Une approche représentationnelle, dont sont issus les modèles structuraux, supposera l'existence de représentations stockées dans le système cognitif. Le cognitivisme fodorien implique que ces représentations soient abstraites de leurs propriétés sensorielles. Cette abstraction, ainsi que les règles de traitement modulaire, conduit à définir de multiples systèmes de mémoire afin de rendre compte des différentes manifestations mnésiques, chaque système devant traiter des représentations de différentes natures.

À l'opposé de ce représentationnalisme, les approches connexionnistes soutiennent l'idée d'une émergence des connaissances. Ainsi, les représentations au lieu d'être stockées émergent dynamiquement du patron d'activité du système. À partir de cette émergence, les approches incarnées se sont centrées sur l'importance du corps et de l'interaction entre l'individu et son environnement. La perception et l'action jouent alors un rôle prépondérant dans la cognition et dans la mémoire. L'absence de représentations stockées et l'importance des aspects sensori-moteurs ont pour corollaires de définir des connaissances modales, puisqu'il n'existe plus d'abstraction des connaissances afin de les stocker (e.g. [Barsalou, 2008](#)).

Ces différences entre ces approches placent la question de la modalité des connaissances au coeur du débat sur la nature et l'organisation des modèles de mémoire. Cette modalité des connaissances peut s'opérationnaliser avec la question des interactions entre mémoire et perception. Ainsi, toutes les connaissances demeurent ancrées dans leurs propriétés pour les approches incarnées ([Barsalou, 2008](#)), alors qu'elles en sont extraites pour les approches structuralistes, surtout pour les connaissances dites sémantiques ([Tulving, 1972](#)). Une approche incarnée de la cognition permet de formuler les hypothèses suivantes :

1. les connaissances sont modales, c'est-à-dire ancrées dans leurs propriétés sensori-motrices ;

2. la mémoire et la perception partagent un grand nombre de processus et de structures, voire sont confondues ;
3. le traitement (perception) d'une propriété d'une connaissance devrait donc co-activer les autres propriétés associées à cette connaissance, dont les propriétés dans les autres modalités sensorielles ;
4. cette co-activation devrait se faire directement, c'est-à-dire sans intermédiaire sémantique, et à un niveau perceptif.

Cette argumentation démontre l'intérêt d'étudier pour les approches incarnées les co-activations de propriétés associées en mémoire. Plus précisément, la problématique générale de ce travail de thèse sera d'étudier la nature des interactions multisensorielles pour des stimuli reliés sémantiquement afin de tester les approches incarnées. Ainsi, les approches structuralistes supposent que ces interactions se font à travers un concept amodal au sein de la mémoire sémantique, alors que les approches incarnées définissent une interaction directe et de nature perceptive (voir Figure 3.1). Cette question est déjà en cours d'exploration dans le domaine de la psychologie cognitive auprès de jeunes adultes sans difficulté cognitive (e.g. Brunel, Labeye, Lesourd, & Versace, 2009). Néanmoins, ces approches demeurent quasiment inexplorées en neuropsychologie, alors que les profils cognitifs constatés dans certaines populations représentent un intérêt tout désigné pour tester ces hypothèses autour des interactions entre mémoire et perception. Inversement, ces approches offrent des alternatives novatrices à l'explication des déficits cognitifs tout en ouvrant la voie pour le développement de nouvelles prises en charge de la mémoire.

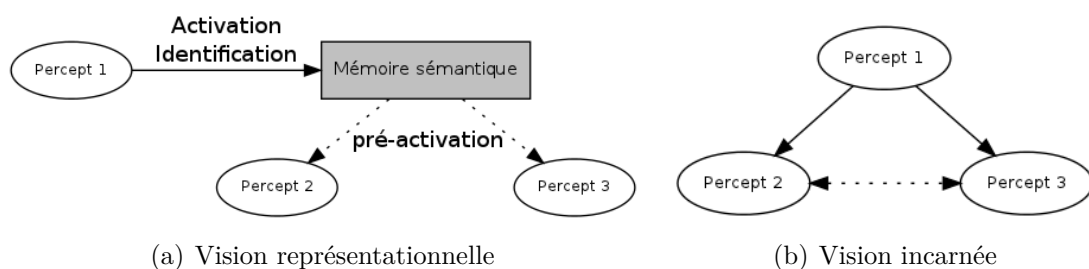


FIGURE 3.1 – Schématisation des interactions multisensorielles selon les approches abstractionnistes (a) et incarnées (b). La perception d'un stimulus (percept 1) dans une modalité (i.e. visuelle) va pré-activer le traitement de stimuli qui lui sont reliés en mémoire (percept 2 et 3), soit à travers la mémoire sémantique (a) soit directement (b). Les interactions multi-sensorielles sont respectivement soit sémantiques et indirectes soit perceptives et directes.

Parmi les différentes populations, celles présentant une altération concomitante de la mémoire et de la perception sont les plus à même de permettre d'explorer

les liens entre ces fonctions/phénomènes. Le vieillissement, tant normal que pathologique, représente un modèle d'étude théorique particulièrement pertinent en plus de représenter un enjeu clinique grandissant. Ainsi, le vieillissement cognitif normal est caractérisé par une altération de la mémoire dite épisodique (Grady & Craik, 2000). Cette altération ne semble pas concerner le contenu du souvenir lui-même (Syssau, 1998), mais serait plutôt d'ordre qualitatif et exécutif. La qualité des souvenirs (Friedman et al., 2010) comme le rappel de la source et du contexte sont amoindries tout comme le sont les capacités de rappel par soi-même. En outre, le vieillissement normal est caractérisé par une dégradation sensorielle et perceptive de bas niveau (Raschilas, 2006). Cette dégradation est statistiquement associée aux atteintes cognitives et mnésiques (Valentijn et al., 2005). Toutefois, les capacités perceptives de plus haut niveau, tout comme l'intégration multisensorielle, demeurent préservées avec l'âge (Laurienti et al., 2006).

Ce profil peut être contrasté avec celui observé dans la maladie d'Alzheimer. La MA, bien que proche du vieillissement normal, se distingue de ce dernier tant sur un plan quantitatif que qualitatif pour la mémoire et la perception. Ces patients présentent en effet une atteinte de la mémoire épisodique massive se traduisant par des déficits de rappel, mais également de reconnaissance associée à la présence d'intrusions (Fleischman & Gabrieli, 1999). Ce déficit de mémoire épisodique était supposé être relativement isolé dans les premières phases de la maladie, bien que la recherche menée ces vingt dernières années démontre un tableau beaucoup plus complexe (e.g. Bäckman et al., 2005). L'altération sensorielle semble un peu plus marquée que celle rapportée dans le vieillissement normal, mais la perception de bas niveau demeure relativement équivalente pour ces deux populations (Fleischman et al., 2005 ; Joubert et al., 2010). Contrairement au vieillissement normal, l'intégration multisensorielle et multimodale sont significativement touchées (Delbeuck et al., 2007 ; Stoub et al., 2006).

Ces données appliquées aux problématiques du vieillissement conduisent aux hypothèses suivantes :

1. les personnes âgées saines devraient avoir des connaissances modales si les théories incarnées de la cognition sont valables pour l'ensemble de la cognition ;
2. une altération sensorielle, comme celle existant dans le vieillissement normal, devrait être significativement associée, et ce de manière directe, aux tests de mémoire ;
3. cette altération sensorielle devrait se répercuter sur la qualité des connaissances puisque la perception et la mémoire sont confondues ;
4. des connaissances de moins bonnes qualités devraient se traduire par une plus

grande difficulté pour les récupérer, puisque les connaissances émergent de manière dynamique ;

5. l'accès au contexte associé au souvenir doit être plus difficile pour ces mêmes raisons (rapport signal sur bruit diminué) ;
6. un déficit d'intégration multisensorielle ou multimodale devrait se répercuter par une altération globale de la mémoire épisodique qui est caractérisée par l'intégration de multiples dimensions (temporo-spatiale, émotion, multisensorielle).

La problématique de la nature des interactions multisensorielle pour des stimuli sémantiquement reliés sera abordée à la lumière de deux modèles de la mémoire, l'un issu des théories structuralistes et l'autre de celles incarnées. Ces modèles seront présentés dans les chapitres suivants avec tout d'abord le modèle SPI ([Tulving, 1995](#)), qui est probablement le modèle le plus important du structuralisme, et ensuite le modèle Act-In ([Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009](#)) dans lequel s'inscrit ce travail.

Deuxième partie

Du structuralisme au fonctionnalisme des modèles mnésiques : le modèle SPI et Act-In

Chapitre 4

An overview of the Serial, Parallel, Independent Model.

Guillaume T. Vallet^{1,2}, Martine Simard¹, and Rémy Versace²

¹ School of Psychology, Laval University, Quebec City, Canada

² Laboratoire EMC, Lyon2 University, Lyon, France

Soumis au Journal of Cognitive Psychology le 01/12/2011

Acknowledgements

Guillaume Vallet and Rémy Versace are supported by a grant from the Rhône-Alpes Region in the cluster "Handicap, Aging, and Neurosciences".

Abstract

Memory is a critical function that allows the use of past experiences to deal with present and future situations. While the nature and organisation of memory are still debated ([Versace et al., 2009](#)), it is commonly accepted that memory is formed by different memory systems. In the multiple system framework, the most popular model is probably the Serial, Parallel, Independent (SPI) model proposed by Tulving ([Tulving, 1995, 2001](#)). According to the SPI model, five memory systems interact with encoding, storage and recuperation processes. The SPI model is widely used in both clinical and research purposes. However, despite the fact that numerous studies rely directly or indirectly on this model and its assumptions, there is no comprehensive synthesis published to date. The aim of the present paper is, therefore, to provide an overview of the SPI model from its origins in the multiple system framework data to its more recent criticisms.

Keywords: SPI; Memory; Review; Multiple systems memory model.

4.1 Introduction

Researchers have debated human memory since the origins of psychology (e.g. [James, 1890](#)). Before 1980, the unitary view of memory, i.e. the functionalist approach had as many defenders as the multiple system approach, i.e. the structuralist approach, (for a discussion on this topic, see [Ashby & Ell, 2002](#)). However, in the 1980s and 1990s, the multiple system approach gained much support due to accumulation of clinical and neuroimaging evidence over the years. This evidence has been so convincing that although the functionalist approach has continued to challenge the structuralist approach since the 1960s, structuralism has become and remains the most popular and most used approach in clinical and research settings. According to the multiple system theory, memory is formed by different systems that are supposed to be relatively independent from each other. Each of the systems stores specific representations of different natures.

One of the best-known and used model is probably the SPI (Serial – Parallel – Independent) model developed by Endel Tulving ([Tulving, 1995, 2001](#)). Surprisingly, no synthesis has been published to date to present the origins to the limits of the SPI model. The goal of the present synthesis is, therefore, to provide a comprehensive review of the SPI model from its origin until now. The key points regarding this model will be highlighted. The origins of the SPI model will first be presented. The SPI model relies on the dissociation paradigm that has led to the multiple system theory, as well as on Tulving's earlier work about the definition and organisation of the memory systems. The possible brain substrates of the memory systems will then be described. These studies produced considerable data on the dissociations between the memory systems and provided new insights into brain functioning. The arguments in favour of the SPI, besides the criticisms that have been addressed to this model over the years will be detailed. Finally, the MNESIS model will be briefly presented since it takes into account much of the criticisms that have been formulated against the SPI model.

4.2 The origins of the SPI Model

Tulving introduced the Serial, Parallel & Independent (SPI) model in 1995 ([Tulving, 1995](#)) and proposed a modified version in 2001 ([Tulving, 2001](#)). This model is the result of several previous studies on the multisystemic nature of memory (e.g. [Baddeley, 1984](#); [Cohen & Squire, 1980](#); [Graf & Schacter, 1985](#); [Tulving, 1972](#); [Tulving, Voi, Routh, & Loftus, 1983](#); [Tulving, 1985](#)). This model found significant support in the field of neuroscience that has described the brain substrates of the

systems defined by the model. Similarly, the clinical utility of the SPI model was confirmed by numerous studies in neuropsychology. Yet, it is important to note that surprisingly, very few works in neuroimaging and in neuropsychology explicitly claimed that they relied, partially or not, on the SPI model. With its growing popularity, it appears that this theoretical model became an implicit framework rather than an explicit reference for most of the investigators and clinicians.

Regarding the origins of the SPI model, one of the most important assumptions was the multiple system nature of memory, called structuralism. The word refers to the focus on the structures (or systems) in this approach. Multiple system theory is principally based on the dissociation method. Dissociation refers to different patterns of results observed between related tasks such as two tasks on memory. For instance, we can mention the classical distinction between short-term and long-term memory systems (see [Ranganath & Blumenfeld, 2005](#), for a discussion on this topic). Thus in the very well known case of patient HM ([Scoville & Milner, 1957](#)) was able to recall information after a short delay (task A OK), but unable to do so following a more important delay (task B OUT). In comparison, patient KF ([Shallice & Warrington, 1970](#)) was able to recall information from the past (task B OK), but he was unable to recall information presented just before (task A OUT).

Although the SPI model is derived from earlier works on dissociations between memory systems (e.g. [Baddeley, 1984](#); [Cohen & Squire, 1980](#); [Hirsh, 1974](#); [Moscovitch, 1982](#)), the history of the distinction between the memory systems will not be discussed here because many studies previously provided such information (e.g. [Schacter & Tulving, 1994](#); [Sherry & Schacter, 1987](#); [Squire, 2004](#)). Among the important distinctions, we can mention, in addition to the short/long term dissociation, implicit and explicit forms of memory ([Graf & Schacter, 1985](#)) or the procedural and declarative memory systems ([Cohen & Squire, 1980](#)). Tulving made an important contribution ([Tulving, 1972](#)) by distinguishing semantic memory from episodic memory (see also [Kinsbourne & Wood, 1982](#)). Semantic memory was defined as "the memory necessary for the use of language. It is a mental thesaurus, organized knowledge a person possesses about words and other verbal symbols, their meaning and referents, about relations among them, and about rules, formulas, and algorithms for the manipulation of these symbols, concepts, and relations" (p.386), whereas "episodic memory receives and stores information about temporally dated episodes or events, and temporal-spatial relations among these events" (p.385). Consequently, episodic memory is linked with the concept of "self", which leads to the development of specific models on autobiographical memory ([Conway, 1992](#)). The concept of autobiographical memory in episodic memory is implicitly included in the SPI model by Tulving.

Based on the above-mentioned studies, Tulving proposed a first model in 1985 (cf. Figure 4.1). This model described three memory systems which were – from the lowest level to the highest one – procedural, semantic and episodic. The definition of the episodic and semantic memory systems has remained unchanged since 1972. The procedural memory system was defined in 1985 as representing habits and cognitive skills. This model was characterised as mono-hierarchical, which means that the higher systems are dependent on the lower ones, while the reverse is not true. In addition, Tulving proposed to link the sequential organisation of these systems with their chronology of development in the ontogenetic and phylogenetic orders. In other words, the different systems would appear according to species' evolution and hence the growing needs to adapt to the environment (i.e., phylogenetic development). However, this order of development would also correspond to the order of implementation of structural and functional systems in the development of each individual (i.e., ontogenetic development).

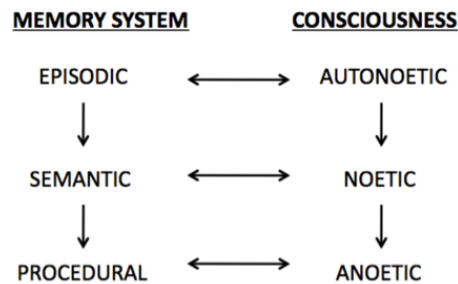


Figure 4.1: Adaptation of the model proposed by Tulving in 1985. An arrow means implies.

In addition, this model stated different levels of consciousness associated with each system. Relying on previous works defining declarative memory versus non-declarative memory (Squire, 1982), and explicit versus implicit memory (Graf & Schacter, 1985), Tulving (1985) proposed to associate with each memory system specific forms of expression of knowledge. Procedural memory was defined as anoetic, i.e. an unconscious system. *Anoetic* consciousness is the ability to perceive and react automatically to internal or external stimuli. Semantic memory was associated with a *noetic* level of knowledge – "knowing". *Noetic* consciousness represents a conscious access (by introspection) to the information stored in this system. Finally, episodic memory was qualified as *autonoetic*. *Autonoetic* consciousness refers to a conscious access to the information stored in this system, but this access is associated with a specific lived-feeling called "remembering" or "recollection" or revival. A revival experience allows the individual to be aware of his/her own existence (reflective consciousness) in the subjective time. Consequently, recollecting a memory is more than just retrieving it, since you have access to the memory and in addition you revive the experience. According to this model, procedural and semantic memory

systems have an implicit form of expression while episodic memory has an explicit expression.

4.3 The SPI model

The SPI model, proposed by [Tulving \(1995\)](#), is a structural model that defined five hierarchical memory systems (cf. [Figure 4.2](#)). This model is based on the previous model proposed by [Tulving \(1985\)](#), with the addition of two new systems: the working memory system (called primary memory in 1995) and the perceptual representation system ([Tulving & Schacter, 1990](#)). As in 1985, the most phylogenetic and ontogenetic recent system is supposed to rely on the older ones, but not vice versa. The systems are, from the oldest to the newest, the procedural memory, the perceptual representation system (PRS), the semantic memory, the working memory and the episodic memory systems.

The PRS is defined as a system dealing with perceptions at a low level, reflecting the effects of perceptual priming. The second system added, working memory, is a short-term memory system which can handle ongoing the information. This system is directly inspired by the work of Alan Baddeley (e.g. [Baddeley, 1984, 1996, 2010](#)). Finally, the procedural memory system is the only system defined as an action system, with no representation. The other systems are defined as representation systems. In other words, they store and deal with mental representations of reality in memory. A representation can be defined in the structural models as the following: "according to standard theories, representations in modal systems are transduced into amodal symbols that represent knowledge about experience in semantic memory" ([Barsalou, 2008](#), p. 619). Therefore, knowledge in memory is considered in the SPI model as amodal (abstract, context-free), except for episodic memory.

The levels of consciousness proposed in 1985 remained unchanged in 1995: procedural memory was associated with an anoetic conscience, semantic memory with a noetic conscience, and episodic memory with an autothetic conscience. In addition to levels of consciousness, Tulving specified the retrieval mechanisms forms associated with each system. The procedural memory, PRS and semantic memory systems were associated with an implicit level of retrieval, whereas working memory and episodic memory relied on an explicit retrieval mechanism.

The main addition in the SPI model compared with the previous model is the integration of three memory processes: encoding, storage and retrieval. The description of these processes is the result of the consensus in the scientific community about memory functioning (for a review see [Craik, 1979](#); [Eysenck, 1977](#)). In the SPI

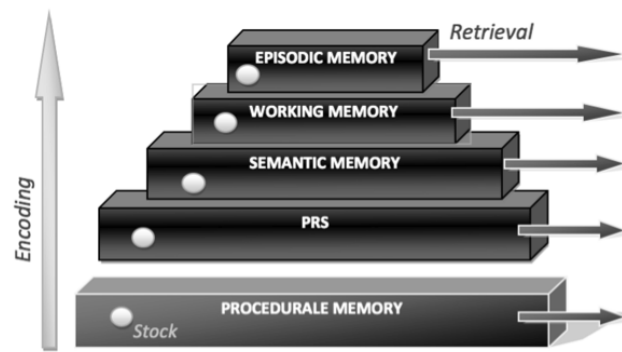


Figure 4.2: Adaptation of the SPI model developed by Tulving (1995). PRS = Perceptual Representation System.

model, the processes are defined according to their interaction with the different memory systems. Tulving considers encoding as being serial – realised in one system after another – storage as being parallel – simultaneous in all systems involved and retrieval as being independent – performed in one system only: hence the name "Serial, Parallel, Independent". Encoding of new information is first done by the PRS and, if relevant (information more complex, making sense), this information will be processed by semantic memory, and so on to the episodic memory system (if the encoded event is in a specific spatio-temporal context, and involves the "self"). Each system encodes a specific representation of a specific nature. Storage is parallel since the same information is stored in the different systems according to the different parts of the event. Finally, information can be retrieved independently in each system.

The SPI model was slightly modified in 2001 (cf. Figure 4.3) considering again three systems namely, the PRS, semantic and episodic memory systems. The definitions and roles of the different systems remained unchanged compared with previous publications of Tulving: "the semantic system does with 'facts' what PRS does with perceptual features of objects, and the episodic system extends the processing of objects and facts to the 'self' in subjective time " (Tulving, 2001, p. 1509). Interestingly, Tulving did not explain in this new conceptualisation the reasons for the abandonment of the working and procedural memory systems.

4.4 Brain data and neuroimaging studies

It should be noted that Tulving did not originally specify the cerebral substrates underlying the different memory systems since the SPI model was regarded as a pure cognitive model (Tulving, 1995). Later, other authors, and Tulving himself, worked

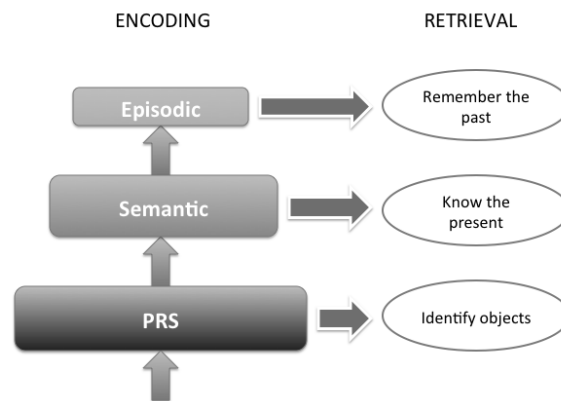


Figure 4.3: Adaptation of SPI model proposed by Tulving (2001). PRS =Perceptual Representation System.

to describe the cerebral substrates underlying the integrity of the functioning of the different memory systems. Several authors have proposed synthetic reviews of the literature on the brain networks underlying learning and memory in general (e.g. [Cabeza & Nyberg, 2000](#); [Squire & Schacter, 2003](#)). Yet, these reviews did not focus specifically on the SPI's memory systems.

4.4.1 Episodic memory

"Hemispheric Encoding/Retrieval Asymmetry" (HERA) model

Starting in 1994, Tulving and his colleagues worked to elucidate the neural substrates of episodic memory using different techniques of neuroimaging. They proposed two neurofunctional models of episodic memory. The first model focused on the encoding and retrieval processes and was called the "Hemispheric Encoding / Retrieval Asymmetry" model (HERA: [Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle, 1994](#)). The HERA model was defined based on the results of studies using Positron Emission Tomography (PET). This model showed that encoding new information preferentially involves the left prefrontal area, whereas retrieval of episodic memories depends mainly on the activation of the right prefrontal area. We can mention here that the same pattern is supposed to be valid for semantic memory. This pattern of cerebral activations was confirmed by several other studies in PET (for a review, see [Lepage, Ghaffar, Nyberg, & Tulving, 2000](#)) and also in functional Magnetic Resonance Imaging –fMRI (for a review, see [Cabeza & Nyberg, 2000](#)).

The HERA model encountered major criticisms. The principal criticism focuses on the nature of the material involved. The functional asymmetry for encoding would be valid only for verbal material (see [Lee, 2000](#); [Miller, Kingstone, & Gazzaniga,](#)

2002; Wagner et al., 1998, for reviews). Nevertheless, another study showed that the processes were independent of the nature of material (Nyberg, Habib, McIntosh, & Tulving, 2000), which supports the revised version of the HERA model. Habib, Nyberg, and Tulving (2003) provided more specific criteria regarding the model. For instance, they argued that the only valid reference condition for an encoding task is a retrieval task and not a rest condition or a fixation condition. The activations should be assessed only in the difference between the two hemispheres and not according to absolute activations, or activations by hemispheres. Following these criteria, the authors concluded that the HERA model is valid for episodic memories using verbal and non-verbal material.

Finally, recent neurophysiological studies (e.g. Babiloni et al., 2006) confirmed this hemispheric asymmetry using the electroencephalogram (EEG) method. The results showed coherent electric activities in the gamma-band for encoding in the left hemisphere, and for retrieval in the right hemisphere. It should be highlighted that the material was visuo-spatial and not verbal. However, the results obtained by these authors also involved more brain structures than those originally described in the HERA model. Babiloni et al. (2006) found a parietal activation following a particular dynamic time. According to their results, the activation might start from the parietal lobe and go to the frontal lobe both in encoding and retrieval tasks. The activations were observed in the right hemisphere during encoding, and in the left hemisphere during retrieval. The involvement of parietal areas was also observed by other authors, as discussed below (e.g. Wagner, Shannon, Kahn, & Buckner, 2005, in fMRI).

"Hippocampus Encoding/Retrieval" (HIPER) model

The second brain-based model proposed by Tulving and his colleagues focussed on the hippocampus and was called the "Hippocampus Encoding / Retrieval" model (HIPER: Lepage, Habib, & Tulving, 1998). The HIPER model was described based on the results of PET studies. The model supposed a stronger activation of the anterior part of the hippocampus during encoding and a more important activation of the posterior part of the hippocampus during retrieval of episodic information. Notably, the hippocampus is the key cerebral structure associated with episodic memory (see Eichenbaum & Fortin, 2003; Fletcher, Frith, & Rugg, 1997; Squire, 1992, for reviews).

Episodic memory and other brain substrates

The role of the frontal lobes in episodic memory is beyond the HERA model. For instance, frontal activations were also associated with autobiographical memory in both encoding and retrieval processes (Moscovitch & Winocur, 2002). The frontal lobes play a role in the perception of time and, therefore, in the processing of temporo-spatial context, as well as in the processing of episodic event (Tulving, 2002a). The functional neuroanatomy of episodic memory cannot be reduced to the hippocampus and frontal lobes.

A first example is provided by a partial double dissociation observed in two case studies (Buccione, Fadda, Serra, Caltagirone, & Carlesimo, 2008). Two patients with a diagnosis of herpes simplex encephalitis presented specific neurological disorders in the temporal lobes. The neuropsychological testing indicated that the patient with a more pronounced lesion in the anterior and ventral portions of the right temporal lobes suffered from an important alteration of the episodic autobiographical memory. He was unable to recollect precise personal events. In contrast, the patient with more severe lesions in the left hemisphere exhibited, less important alteration of his autobiographical memory. The results suggest that other regions in the temporal lobes, mainly in the right hemisphere, such as the anterior and ventral portions, play a significant role in episodic memory. The preferential role of the right temporal lobe in autobiographical memory is confirmed by other studies (e.g. Lah, Lee, Grayson, & Miller, 2006).

Moreover, a growing number of studies have shown the implication of the parietal lobes in the qualitative aspects of episodic retrieval (for a review, see Wagner et al., 2005). A successful episodic retrieval would be supported by a more important activity of the left parietal lobe (in fMRI, Konishi, Wheeler, Donaldson, & Buckner, 2000). In the same way, a successful recollection would be supported by the parietal lobes (MRI, Berryhill, Phuong, Picasso, Cabeza, & Olson, 2007). Recollection is also associated with a more pronounced activation of the anterior fusiform gyrus (fMRI, Woodruff, Johnson, Uncapher, & Rugg, 2005) as well as of the primary sensory areas (fMRI, Wheeler, 2000; Wheeler & Buckner, 2004). The activation of the sensory areas might mean that the participant has a revival of the component present at encoding, which might partially explain the auto-noetic consciousness.

A larger number of cerebral areas, including subcortical brain structures, may also be involved in episodic memory according to different studies. For instance, episodic memory might involve the bilateral retrosplenial cortex, the thalamus, the cerebellum (PET study, Wiggs, Weisberg, & Martin, 1999), and the mammillary bodies (involved in the amnesic Korsakoff syndrome; Crosson, 1992). These structures are known to underlie attention and sensory processing among other functions. The

anterior cingulate and the occipital lobes (Desgranges, Baron, & Eustache, 1998) are associated with episodic processing as well. The anterior cingulate might reflect the emotional component of a memory, whereas the occipital lobe could sign the activation of the visual components of the recollection experience. Consequently, episodic memory depends on a large brain network in which the hippocampus is the main and key structure whereas the prefrontal areas may be more specifically involved in encoding and retrieval (for a review, see Wheeler, Stuss, & Tulving, 1997).

For a more general review about episodic memory, supporting the SPI model and presenting the data of neuropsychological and neuroimaging studies, Tulving (2002b) work on episodic memory associated with subjective time is of particular relevance.

4.4.2 Working memory

The neural substrates associated with working memory can be divided according to the different part defined in this system. Working memory is often described as being composed of two sub-systems, one verbal – the phonological loop including a phonological buffer – and the other spatial – the visuo-spatial sketchpad (Baddeley & Hitch, 1974). In agreement with the model proposed by Alan Baddeley (Baddeley, 1996), these two subsystems are directed by a central executive system. In 2000, the episodic buffer was added to the model (Baddeley, 2000). The episodic buffer is supposed to bind the visuo-spatial and verbal data in connection with long-term memory. Recent investigations indicate that the episodic buffer might passively store binded representations, but does not actively bind them (Baddeley, Allen, & Hitch, 2010). The substrates associated with working memory could be assessed by the means of three different angles.

A first possible approach regards the nature of the material. As traditionally reported, the left hemisphere of the frontal lobes is more involved in the processing of verbal material, whereas the right hemisphere is more involved in the processing of spatial material. This distinction generally represents the phonological and visuo-spatial sub-systems respectively (D'Esposito et al., 1998; Smith & Jonides, 1997).

A second approach is based on the passive versus active storage of the stimuli in working memory. Passive storage has been shown to depend upon the posterior brain areas while the actively maintenance of information in memory has been shown to depend upon the frontal regions (Smith & Jonides, 1997). This antero-posterior distinction seems not to exist in the brain for visuo-spatial material. Indeed, the

visuo-spatial material depends on a larger network (fMRI, [Gruber & Cramon, 2003](#)).

A final approach would be to test the cerebral substrates associated with each sub-system of working memory ([Repovs & Baddeley, 2006](#)). The integrity of the phonological loop was shown to be dependent upon the left inferior prefrontal cortex ([Gabrieli, Poldrack, & Desmond, 1998](#)), the Broca's area, the pre-motor cortex, the supplementary motor area and the left posterior parietal cortex ([Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993](#)). The integrity of the visuo-spatial sketchpad was shown to depend upon bi-hemispheric activation from the superior frontal sulcus and along the intraparietal sulcus ([Gruber & Cramon, 2003](#), p. 806). More precisely, the visuo-spatial aspect of working memory would depend upon the inferior prefrontal areas, motor and pre-motor cortices, the lower area and the upper right posterior parietal lobe and the anterior occipital cortex (for a review, see [Smith & Jonides, 1997](#)). As regards to the action involved, the visual features would be processed by the ventral occipital lobe, the mental rotation by the parietal lobe, and finally, the mental imagery would depend upon the ventral occipital-temporal sulcus ([Zimmer, 2008](#)).

The neural substrates underpinning the episodic buffer remain unclear. Based on the comparison between patients with Alzheimer's disease and control participants, a study found that left anterior hippocampus may contribute to the episodic buffer ([Berlingeri et al., 2008](#)). The author also indicated that the episodic buffer might be independent from the central executive component of working memory. The implication of the left anterior hippocampus is confirmed by another study, on the episodic buffer and sign language ([Rudner, Fransson, Ingvar, Nyberg, & Rönnerberg, 2007](#)). The authors found that the right middle temporal lobe was involved in the binding of phonological loop representations with semantic representations. Yet, different regions may also be involved in the episodic buffer such as the frontal and parietal lobes. More precisely, [Gruber and Cramon \(2003\)](#) found that the episodic buffer depend upon the middle frontal gyrus and the pre-motor area, as well as on the bilateral frontal operculum and by the anterior and median part of the intra-parietal sulcus. It is, however, just an hypothesis. Indeed, the episodic buffer represents a rather abstract concept. In other words, there is still no paradigm or validated test to assess it. Thus, the authors have been unable to establish a specific test protocol to assess the brain activations associated with this module. They then used a "default" condition, namely, a subtraction from other components of global activations. The lack of precision about the definition and role of this module leads to significant difficulties in exploring its possible cerebral substrates.

The supra-system of working memory, the central executive system, is the most active process in this model. The central executive system evokes the executive functions ([Baddeley, 1998](#)) and the supervisory attentional system ([Shallice, 1982](#)).

As the executive function or the controlled aspect of attention, the central executive system seems to be mainly underpinned by the frontal lobes (Alvarez & Emory, 2006; Stuss & Alexander, 2000). More specifically, the integrity of the central executive system was shown to depend upon the dorsolateral prefrontal cortex (D'Esposito, Detre, Alsop, & Shin, 1995; Robbins, 1996). However, some authors argued that there is no specific structure associated with the central executive system (Gruber & Cramon, 2003). Indeed, these authors indicated that a variety of functions, such as updating or inhibition, are grouped under the central executive system making it impossible to identify a particular brain structure underlying this supra-system. The diversity of functional aspects of the central executive system is also reported in other studies (e.g. Repovs & Baddeley, 2006). The central executive system, as executive functions, was described as updating and monitoring information in memory, inhibition, and flexibility (Miyake et al., 2000). The integrity of these functions are principally underpinned by frontal lobes according to the authors.

4.4.3 Semantic memory

Brain structures involved in the integrity of semantic memory are less consensual than those involved in episodic memory. One of the reasons that explain this issue is the lively debate on the amodal (sensori-independent or abstract) or modal (sensori-dependent) nature of knowledge in memory (cf., Patterson, Nestor, & Rogers, 2007). Depending on the amodal or modal hypothesis, the anterior temporal lobe is preferentially involved or not in semantic memory. We describe here the elements in favour of an amodal approach to knowledge, because it corresponds to that taken by the SPI model. We will further detail the opposite hypothesis in the last section of this article regarding the limitations of the SPI model.

A recent review conducted on 120 neuroimaging studies indicated that seven regions might consistently be involved in semantic memory (Binder, Desai, Graves, & Conant, 2009). The regions are the posterior inferior parietal lobe, middle temporal gyrus, fusiform and parahippocampal gyri, dorsomedial prefrontal cortex, inferior frontal gyrus, ventromedial prefrontal cortex, and posterior cingulate gyrus. These regions might be grouped under three categories: posterior multimodal and heteromodal association cortex, heteromodal prefrontal cortex and medial limbic regions. Most of these structures were also indicated as involved in semantic processing by a previous critical review (Cappa, 2008). The author highlights the fusiform gyrus, the medial temporal gyrus, the retrosplenial cortex, the inferior frontal gyrus and the dorsal pre-motor cortex as the key structures involved in the integrity of semantic memory. Nevertheless, the author demonstrates that the brain activations for semantic memory depend not only on the task (focus on the visual

properties vs. action properties) and the domain of the targets (e.g. living/non-living; concrete/abstract), but also on the modality of the stimulus (visual, auditory, etc.). The retrieval of semantic information might involve a stronger activation in the left prefrontal, the left anterior temporal and the left superior parietal cortex (Wiggs et al., 1999). The authors also noted the activation of some restricted regions in the right frontal lobe during retrieval. The lower left prefrontal cortex was involved in encoding as well (Demb et al., 1995).

The cognitive alterations in semantic dementia led researchers to defend an abstract approach to semantic memory (for review, see Lambon Ralph & Patterson, 2008). Semantic dementia is a neurodegenerative disease in which the main cognitive alteration is observed for semantic memory (Neary et al., 1999). This alteration appears relatively isolated in the first stages of the disease (Hodges & Patterson, 2007). According to the results of this literature review, the left anterior temporal lobe, especially, underlies amodal (context-free) representations. The activation of an abstract representation will then activate the modality-specific areas. However, the role of the anterior temporal lobe in semantic memory remains controversial (Simmons & Martin, 2009; Visser, Jefferies, & Lambon Ralph, 2010). A more consensual finding from neuropsychological data on semantic memory considers the role of perirhinal cortex. Data from brain imaging studies conducted among healthy elderly, patients with Alzheimer's disease and patients with semantic dementia showed a strong involvement of the perirhinal cortex in the integrity of semantic memory (e.g. Barense, Rogers, Bussey, Saksida, & Graham, 2010; Davies, Graham, Xuereb, Williams, & Hodges, 2004).

Taken together, these data demonstrated that at least a large network might support semantic memory. The common findings between all the studies on the cerebral substrates of semantic memory involve some parts of the temporal lobe such as the perirhinal cortex, and some frontal regions such as the left inferior areas. The stocking seems to be at least partially supported by the temporal lobes, whereas the encoding/retrieval processes for semantic memories are related to the frontal lobes. Yet, as highlighted by different reviews, semantic memory should be assessed by taking into account several factors such as the domains, the modalities or the tasks used.

4.4.4 Perceptual Representative System

The perceptual representative system is relatively poorly understood compared with the other systems described in the SPI model. In the reference article introducing the PRS (Tulving & Schacter, 1990), the authors focused on the role of PRS in perceptual priming. A priming effect is the facilitation of the processing

of one stimulus (the target) by the previous presentation of another stimulus (the prime). If the same stimulus is used as prime and target, the priming paradigm is called repetition priming and is supposed to be perceptual. If the two stimuli are semantically related, the paradigm is called semantic priming. Finally, if the stimuli of the primes and targets are presented in different modalities the paradigm is called cross-modal priming. The PRS is mainly defined as supporting repetition priming. The visual priming effects measured using a word completion task seem to involve the visual areas with a bilateral occipito-temporal activation (Schacter, Alpert, Savage, Rauch, & Albert, 1996). Similarly, Squire (1992) showed a decrease in brain activation signifying the priming effect in the bilateral areas of the visual extrastriate cortex during a PET study. A deactivation might be the sign of a facilitating effect since fewer resources might be required to process a second time the same stimulus.

The priming effects are the best-known effects related to the PRS, but this system is mainly supposed to underlie the sensory representations. Consequently, the PRS is believed to be strongly dependent upon the primary sensory brain areas. We will not discuss here all the studies reporting the cerebral substrates of perception, since perception is not the subject of this article. Stein and Meredith (1993), however, in their book *The Merging of the Senses* provide a detailed analysis of this particular issue. The general idea behind the PRS is that the visual features are processed by the visual perception networks and underpinned by the occipital lobes, as well as the ventral ('what') and dorsal ('where') visual stream (Ungerleider & Haxby, 1994); auditory features depend upon the temporal areas; somesthesia sensations are typically described as being underlied by the post-rolandic areas (see the homonculus of Penfield & Rasmussen, 1950), etc.

4.4.5 Procedural memory

The concept of procedural memory has not been introduced specifically in the SPI model. Tulving simply defined it as an action system (Tulving, 1985). The procedural memory was more particularly and previously introduced by other authors (Cohen & Squire, 1980). According to Cohen and Squire, procedural memory represents the habits and skills, which are motor, perceptual, verbal or cognitive. These authors also included classical conditioning and associative learning (Squire & Zola-Morgan, 1988) as functions of the procedural memory system. Classical conditioning occurs when two stimuli are regularly associated together. The behavior normally observed in reaction of a first stimulus is then observed for the presentation of the second stimulus alone due to the association. Associative learning is observed when a behaviour is modified following reinforcement (or aversive) stimulations.

The synthesis work of Squire on memory (e.g. [Squire, 1987](#)) involved mainly the basal ganglia in procedural memory (for a review on the role of basal ganglia in memory [Knowlton, 1993](#)). However, it appears that only the integrity of the striatum is a necessary condition for the good functioning of procedural memory (e.g. [Crosson, 1992](#)). Classical conditioning depends upon the structural integrity of the amygdala and cerebellum while the non-associative learning requires the integrity of reflex pathways (e.g. [Squire, 1987](#)).

The sensory-motor skills are based on the integrity of the sensory areas, motor areas (pre-motor and motor frontal areas), basal ganglia and cerebellum ([Gabrieli, 1998](#)). The basal ganglia are necessary for learning to preform repetitive sequences, whereas the cerebellum establishes the link between visual input and motor responses during the task. The non-verbal material relies more on the right hemisphere whereas the verbal material relies more on the left hemisphere. The visual perceptual skills depend on the occipital lobes with a dynamic balance between the right and left hemispheres, depending on the type of learning. Yet, other studies suggest the involvement of frontal lobes in the modulation of procedural learning ([Pascual-Leone, Grafman, & Hallett, 1995](#)). For instance, the procedural motor learning depends on the integrity of striato-cortical and cerebello-cortical networks (e.g. [Doyon & Benali, 2005](#)). In addition, Doyon and Benali propose a model specifying the learning stages and structures involved in learning, consolidation, automation and retrieval of procedures. Finally, cognitive procedural learning is dependent on the integrity of the thalamo-cortical loops with an involvement of the basal ganglia, mainly the caudate nucleus ([Alexander & Crutcher, 1990](#)). Even if studies in functional neuroimaging are rare, a recent study defined the cerebral substrates associated with cognitive procedural learning ([Hubert et al., 2007](#)).

Hubert and collaborators (2007) demonstrated the involvement of the right anterior frontal areas in the learning and retrieval of a procedure, using a PET protocol based on the three-stage model of cognitive procedural learning by [Ackerman and Cianciolo \(2000\)](#). This model defined three stages in procedural learning. In the cognitive phase (the first stage), participants rely on explicit process to execute the task. The associative stage (second phase) is characterised by an association between explicit and implicit processes. The participants start to automatise the process but they still need to use explicit knowledge. Finally, the procedural phase is fully automatized and implicit. The right precuneus and the left cerebellum (especially the vermis) are involved during the first phase of learning (the cognitive phase), while the posterior part of the brain (cerebellum and calcarin sulcus), the right thalamus and the right caudate nucleus are involved more actively in the association phase (between learning and routine).

4.5 Justification of the model

4.5.1 Phylogenetic and ontogenetic arguments

The SPI model states that the development of the different memory systems respect the mono-hierarchical order proposed in the model. The lowest system (procedural memory) should appear firstly and then the PRS, the semantic memory and so on. This order is supposed to be true regarding the species (phylogenetic) and individual (ontogenetic) evolution. Consequently, lower systems should be more resistant than higher systems. Supporting this assumption, the results of a longitudinal study of 30 years with 61 traumatic brain injury patients of variable severity demonstrated that patients improved their semantic memory performance, but the impaired episodic and working memory performance remained or declined over time (Himanen et al., 2006). These results are consistent with the mono-hierarchical organisation of the SPI model, predicting a greater vulnerability of episodic memory compared to semantic memory in case of cerebral impairments. The SPI model also supposes that procedural memory should be the most resistant system (Tulving, 1995). This hypothesis is confirmed by many studies showing the intact functioning of procedural memory compared with an alteration of episodic memory, particularly in case of anterograde and retrograde amnesia (see Gabrieli, 1998; Roediger III, 1990; Squire, 1992, for reviews).

The ontogenetic hypothesis could be assessed by studying semantic versus episodic learning. In accordance with the SPI assumption, some authors showed that semantic learning would occur before the episodic learning as shown in developmental amnesia research (Haan, Mishkin, Baldeweg, & Vargha-khadem, 2006). Vargha-Khadem and colleagues (Vargha-khadem et al., 1997; Vargha-Khadem, Gadian, & Mishkin, 2001) have studied children and young adults aged 14 to 22 years old. These patients suffered from developmental or an early acquired hippocampal impairment (at age of 4 or 9). The authors showed "a pronounced dissociation" between episodic aspects – almost nonexistent – and preserved semantic knowledge in these patients. The authors also noted preservation of recognition, but not of recall. They interpreted these findings by an impairment of "recollection" (recall) but a preservation of familiarity (recognition). In other word, episodic memory would be impaired, whereas semantic memory would be preserved as predicted by the mono-hierarchical organisation supposed by the SPI model.

The developmental hypotheses stated by the SPI model could also be confirmed by amnesic patients. The very well known evidence is the observation of preserved implicit memory (mainly priming effect) compared with impaired explicit memory (such as free recall) in amnesia (Shimamura, Salmon, Squire, & Butters, 1987). This

dissociation suggests that at least two forms of memory exist, explicit (declarative) and implicit (procedural) forms. Yet, implicit memory can also be divided into sub-systems or into different functions. For instance, patients with Alzheimer's disease show preserved perceptual priming effects while the results about semantic priming effects are more controversial – sometimes being impaired (Fleischman et al., 2005) and sometimes being preserved (Giffard et al., 2001). These results interpreted according to the SPI model indicate that the PRS (responsible for the perceptual priming effects) is preserved in most cases, whereas semantic memory (responsible for the semantic priming effects) appears to be as impaired as episodic memory (more vulnerable). This pattern first supports the multiple system organisation proposed in the SPI model. It also provides support in favour of the phylogenetic and ontogenetic development assumed by the SPI model: the more recent memory systems such as episodic and semantic memory are more vulnerable than the older ones such as the PRS and procedural memory.

In addition, the SPI model predicts preserved semantic learning in case of episodic impairment, but the reverse, i.e. preserved episodic memory, in case of an impairment of semantic memory should not be possible due to the mono-hierarchical structure of the model. These results are further detailed in the next section.

4.5.2 Data in adulthood and amnesia

Historically, the main neuropsychological findings supporting the SPI model were described in the KC case (Tulving, Schacter, McLachlan, & Moscovitch, 1988). This patient had a head injury following a road accident in 1981, when he was 30 years old. The neuroimaging data showed a bilateral alteration of the hippocampus, the para-hippocampal regions, and frontal lobes. The patient also presented various minor neurological problems such as bilateral anosmia, or a right homonymous hemianopia. The neuropsychological evaluation demonstrated that KC had principally a severe impairment of episodic memory. Rosenbaum et al. (2005) presented an extensive synthesis of this clinical case, developing the history of the patient and explaining the main results obtained following his collaboration in several studies in which he participated since his initial hospitalisation. This paper reported a major anterograde amnesia and a more restricted retrograde amnesia associated with a temporal gradient. The patient demonstrated some recognition abilities but without auto-noetic consciousness. The priming effects were normal, and KC showed a relatively preserved ability to learn new semantic information. However, this learning was not as good as it is in a healthy education – and age – matched participant. Indeed, in KC, semantic learning was possible only when specific cognitive training techniques such as vanishing cues were used. This cueing technique facilitates the retrieval of words by making the letters vanish one by one

(Glisky, Schacter, & Tulving, 1986). In the original version of this technique, the first letter of the target was presented to the patient when he was asked to recall the word he had just learned. If the person failed to recall the word correctly, then the second letter was presented, and so on until the word was correctly recalled. For instance, the target word "COMPUTER" would be tested by presenting "C_____". If the participant failed, then "CO_____" would be presented, and "COM_____", etc. However, recognising the difficulty for amnesic patients with this first form, Glisky changed it in 1995 (Glisky, 1995). Now, the inverse strategy is followed: the word is presented entirely and then the letters are progressively vanished in the reverse order (starting with the last letter of the word). For instance, "COMPUTER", then "COMPUTE_", and so on. If the participant fails to retrieve the word, the last missing letter is presented again.

4.5.3 Normal cognitive functioning

The SPI model states that recognition should be observed under different forms since a specific level of consciousness is associated with different memory systems. The most popular method to assess the level of consciousness is the Remember / Know paradigm (R/K, Gardiner, 1988). This paradigm distinguishes between two different forms of recognition. The first response, "remember" (I remember – recollection) should be chosen if the participant declares having a revival of the episode corresponding to the learning of this item (one or more specific details regarding the spatial and temporal context such as where and when the memory took place, etc.). The second response, "know" (I know – feeling of familiarity) should be chosen if the participant claims being sure of having learned the item (he knows that he knows), but he is unable to recall the specific context of learning, and he does not experience the sensations related to this learning. The judgments refer, respectively, to the autonotic and noetic consciousness. A third response is also considered. The "guess" response refers to a situation where the participant declares that he is not sure that he recognises the item.

The R/K paradigm is supposed to measure with these cues the existence of at least two separate processes of recognition (Dual Process Theory), which correspond to two different memory sources. These memory sources are themselves supported by different memory systems (R= episodic memory, K= semantic memory). The literature reports many dissociations between Remember and Know responses in young adults (Gardiner, 1988; Rajaram, 1993; Rajaram & Geraci, 2000; Yonelinas, 2002). For instance, a meta-analysis conducted on this topic (Gardiner, Ramponi, & Richardson-Klavehn, 2002) puts forward the dissociation between the R/K responses through the study of 86 experimental conditions. In addition, various studies (including, Rajaram, Brook, & York, 1998) have demonstrated the influence

of some variables only on the responses R or K, or on both, reinforcing the idea of two separated processes, and thus, of two separated memory systems.

4.5.4 Data from functional neuroimaging

Among the arguments in favour of the SPI model, some data obtained in functional brain imaging studies should be taken into account. We will not summarize the work presented in the section on brain substrates of the model, but rather emphasise that the results of this work contribute to the model. Indeed, different cerebral networks seem to underpin the different memory systems, and different patterns of brain activations for different memory tasks suggest that different memory systems may underpin these tasks. Another example is provided by the recognition data. A review of the literature on the cerebral activations of Remember and Know judgments involved the frontal lobes and the hippocampus (Skinner & Fernandes, 2007). The authors showed that the difference between R and K responses come from a difference in intensity of activation with higher activity in the frontal lobes and hippocampus for Remember judgments compared with a Know judgments. Recollection (Remember) is also associated with the activation of brain regions for specific content, which suppose that the episode was re-lived. Frontal lobes and hippocampus activations in addition to sensory regions represent a network similar to the one observed in episodic memory tasks (see the section on brain substrates). Common activations for episodic memory tasks and R judgments support the idea that R judgments reflect autonoetic consciousness. A last example of arguments from neuroimaging data is that different brain activation patterns seem to underly the priming effects and recognition (in fMRI, Schott et al., 2005). The authors concluded that different memory systems from those supporting recognition (semantic memory and episodic memory) support priming effects (PRS and semantic memory) .

4.6 Critics and limitations

Over the years, the SPI model has been heavily criticised. Yet, this criticism gradually reduced, which explains why this model became the most widely used in neuropsychology, particularly in clinical practice. We should also mentioned that a majority of neuropsychological tests developed over the past 20 years are directly or indirectly based on this model or on the idea of multiple memory systems.

According to Tulving, episodic memory is specific to humans. However, a series

of works contest this hypothesis (e.g. Clayton & Dickinson, 1998; Dere, Kart-Teke, Huston, & De Souza Silva, 2006), arguing that the concept of episodic memory should be extended to animals (such as pigeons, monkeys, etc.). As the present article focuses on human memory, we will not develop this debate further – Tulving has dealt with these criticisms and has responded to them (Tulving, 2002b). Beyond this minor limitation, the main criticism of the SPI model is the lack of relationships between the different memory systems.

4.6.1 Limits of the relationship between the memory systems of the SPI model

The major criticisms levelled at the SPI model result from the lack of links between the different systems. More particularly, the mono-hierarchical organisation between the systems supposes that a system relies on an inferior one, but it could not send to or receive from another system a feedback. Moreover, the system could not communicate with a superior system which is not directly above it.

As a consequence, the SPI model states that semantic learning shall be preserved in case of impaired episodic memory since semantic memory is below episodic memory. Nevertheless, some works showed learning difficulties with semantic knowledge in the case of episodic alteration, due to real amnesia (Bayley & Squire, 2002, 2005; McCarthy, Kopelman, & Warrington, 2005) or induced amnesia (Merritt, Hirshman, Zamani, Hsu, & Berrigan, 2006). For instance, in the study of Merritt et al. (2006), the authors tested the link between episodic and semantic learning using benzodiazepine, which is known to induce temporary anterograde amnesia. Following the benzodiazepine effect, participants demonstrated learning difficulties with new semantic facts, but they experienced fewer difficulties with semantic knowledge presented in an episodic context. These data suggest that semantic and episodic memory might maintain close links. This result supports a parallel organisation of memory as developed by Squire (Squire, 1998). This parallel model supposes that episodic and semantic memory are inter-related and constitute the declarative memory system (see also, Greenberg & Verfaellie, 2006).

The cognitive profile of patients suffering from semantic dementia constitutes a more important problem for the SPI model. Indeed, these patients demonstrate a relatively preserved episodic memory, whereas semantic memory is massively impaired (Graham, Simons, Pratt, Patterson, & Hodges, 2000; Hodges & Patterson, 2007). According to the SPI model, a semantic impairment should lead to an episodic impairment due to the mono-hierarchical organisation, since "episodic remembering of perceptual information can occur only by virtue of its mediation through semantic memory" (Tulving, 2001, p.1505). One solution proposed by the

supporters of the SPI is to add a direct link between the PRS and episodic memory (Hodges & Graham, 2001). This connection would explain how an episodic memory could be formed from the perceptual representations without semantic processing. According to this assumption, the new memories should be incomplete due to the lack of semantic information, but no empirical data seem to support this idea.

Another way to illustrate this lack of communication between the memory systems comes from studies of cognitive procedural learning. While the SPI model defines a procedural memory independent of the other systems (the only action system), the work of Beaunieux and colleagues (Beaunieux et al., 2006; Hubert et al., 2007) demonstrated the involvement of several other memory systems in young and healthy elderly adults. According to the work of Ackerman (Ackerman & Cianciolo, 2000), as detailed in the section on the neural basis of procedural memory, working memory and episodic memory are involved in the different phases of procedural learning. It should be highlighted that these results question the specificity of the serial encoding procedure in addition of the independence of procedural memory.

In summary, these data indicate that the memory systems defined in the SPI model are more interconnected than previously supposed by Tulving. The episodic and semantic memory might be interdependent, the PRS and episodic memory may also be directly connected and, finally, the representation systems might be involved in the only action system, i.e. procedural memory.

4.6.2 Dissociations

In the present article, we showed that the SPI model, as the other multiple system models of memory, is based on the dissociation method. The dissociations, whether clinical or experimental, are often interpreted as proof of multiple systems of memory. Yet, multiple system organisation (e.g. Gaffan, 2002) as well as the dissociation method (e.g. Ranganath & Blumenfeld, 2005) are criticized and thus represent one potential major limit to the SPI model (for an opposite point of view, see Ryan & Cohen, 2003).

Several articles published in a special issue of *Cortex* in 2003 highlighted the methodological restrictions related to the dissociation method. For instance, an article published in the same issue of *Cortex*, showed mathematically that a double dissociation does not allow logical and scientific conclusion that there are different systems or processes (Dunn, 2003). The demonstration was partially based on one classical article on this issue (Dunn & Kirsner, 1988). Dunn and Kirsner studied the functional dissociations and their possible interpretations based on a formal point of view. The argumentation was valuable for both processes and systems

dissociations. The authors showed that functional dissociations could not exclude the single process interpretation since it is often a co-action of variables on the two tasks studied (parallel effects). Complete independence should imply the absence of such effects. Finally, the authors indicated that the only way to prove the existence of two processes (or systems) would be to observe an inverted association. Inverted association refers to an inversion of the links between variables in two different conditions, but this kind of demonstration is rarely (if ever) observed in research on memory. Therefore, the principle of the double dissociation should be considered as a purely theoretical distinction since this method is not sufficient to conclude that different systems, cognitive functions or brain structures exist (Chater, 2003).

We can also argue that a double dissociation between tasks is compatible within a single system interpretation (Humphreys, Bain, & Pike, 1989; Sherry & Schacter, 1987). In the same way, many dissociations observed between explicit versus implicit tasks may reflect different cognitive processes rather than different memory systems. For instance, free recall may depend more on executive functions than only on memory, in contrast to the recognition task which may involve only memory (Roediger III, 1990). The comparison of tasks is also discussed by Van der Linden and Bruyer (1991). The authors devote an entire chapter on the theoretical and methodological problems related to the neuropsychology methodological framework. First, they highlight the lack of control of the strength on the trace. The comparison of healthy versus amnesic patients may reflect a memory disorder or may just be a question of availability of the memory trace. For instance, amnesic patients could perform as well as controls (cued recall, recognition, confidence in their recall) if they were tested one hour after learning and controls a week later (Shimamura & Squire, 1988, see also Jamieson, Holmes, & Mewhort, 2010; Zaki, 1998). This design created a “low” learning condition for the controls so that the memory strength may be comparable. A second point evoked by Van der Linden is the problem of the sensitivity of the memory tests. The author raised the issue of ceiling effect, especially in recognition tasks. A ceiling effect in healthy adults might hide some memory changes due to a specific context or aging effect and so on. In addition, memory impairments are very rarely (if ever) pure, and, therefore, the effects of interaction between memory and other functions should be better taken into account. Finally, van der Linden discussed the ecological validity of tests and models. He stressed that memory functioning is essentially implicit and is solicited in non-incident learning situations, whereas experimental research in memory focuses on explicit learning and testing.

In addition to the dissociation method, the existence of different nature of knowledge is often used as an argument to demonstrate dissociation between memory systems (Squire, 2004). Indeed, the definition of different natures of representations, such as abstract semantic representations and context-dependent episodic representations, lead to the consideration of different memory systems

to underly them according to the Fodor's theory (Fodor, 1975). The same should be true for visual or verbal material and so on. Yet, the nature of knowledge in memory is not a sufficient evidence to separate systems (Sherry & Schacter, 1987). Moreover, the nature of knowledge, and thus the question of the existence of only one nature or multiple nature of knowledge, is still debated nowadays as detailed below (Vallet, Brunel, & Versace, 2010).

4.6.3 Nature of knowledge in memory

The question of the nature and architecture of knowledge in memory is at the core of the memory models. The architecture of knowledge refers to the many possible models of semantic memory (network, script, etc.). The review conducted by Versace et al. (2009) stressed that for most models of semantic memory (e.g. Collins, 1975; Farah & McClelland, 1991), there is no justification and no empirical or neurobiological evidence to support their choice of one architecture over another. Consequently, the architecture of memory should be cautiously studied.

More importantly, the amodal/modal nature of knowledge is still controversial (e.g. Vallet et al., 2010). We have already mentioned the debate on the nature of knowledge in the brain substrates section of semantic memory. According to the SPI model, and to most of the semantic memory models, each memory system stores representations of different natures. For instance, semantic knowledge (in semantic memory) is amodal (abstract, context-free). Therefore, these models assume that we store abstract units of knowledge somewhere in the brain. A first issue is to know where these units are stored, a question which leads to a notable debate (e.g. Binder et al., 2009; Levy, Bayley, & Squire, 2004; Simmons & Martin, 2009; Taylor, Moss, & Tyler, 2007). A second issue regards the coding processing (encoding) and then the nature of the resulting code (e.g. Brunel et al., 2009; Carbonnel, Charnallet, & Moreaud, 2010). Coding information into different nature of representations goes against the parsimony principle. Indeed, if the same event is encoded into different representations in different memory stocks, then it produces redundant information, which means a loss of energy for the brain (Versace et al., 2009).

On the opposite side, the grounded cognition theory defines a single memory system with modal knowledge, i.e. sensory-motor dependent (for a review, Barsalou, 2008). The different expressions of memory, such as semantic or episodic, then depend on different processes in interaction with the task's demand (Barsalou, 2008; Glenberg, 1997; Versace et al., 2009). According to the grounded cognition theory, the cognitive system simulates the situation to be processed (e.g. Barsalou, 2003). In this case, seeing a dog, for example, automatically and directly activates all the associated components of the trace such as auditory (barking sound), tactile

(sensation of fur), olfactory, emotional components, etc. A growing number of studies support the modal approach of knowledge with behavioural (Brunel, Lesourd, Labeye, & Versace, 2010; Kaschak et al., 2005; Riou et al., 2011; Vallet et al., 2010), neuroimaging (Hauk, Johnsrude, & Pulvermüller, 2004; Ishai & Sagi, 1995; Molholm, Martinez, Shpaner, & Foxe, 2007; Yang & Shu, 2011) and neuropsychological data (Barense et al., 2010; Dilkina, McClelland, & Plaut, 2008; Vallet, Simard, Fortin, Versace, & Mazza, 2011; Zaki et al., 2003).

4.6.4 Recognition

In the previous section, we showed that the data from the R/K paradigm could be used to support the SPI model. However, recognition could also be interpreted in single memory system approaches. As mentioned earlier, the paradigm R/K is associated with the different levels of consciousness related to the different memory systems. This interpretation is based on a dual process approach in which the R responses refer to episodic memory and K responses to semantic memory. Recollection signs a different quantitative and qualitative experience than familiarity and thus might involve different memory systems. However, data obtained with the R/K paradigm can also be interpreted in single process approaches (for a review see Dunn, 2008). According to the supporters of a single process theory, the distinction between R and K judgments may reflect a simple difference in the strength of the memory traces. Therefore, an R or K response would result from a quantitative difference, and not from a qualitative difference (Inoue & Bellezza, 1998). The neuro-functional data (fMRI and MEG) could support this quantitative view as well (Gonsalves, Kahn, Curran, Norman, & AD, 2005). In addition, the results reported in the literature, which are interpreted in terms of "dual process theory", could also be explained in terms of a "single process theory" taking into account the strength of the trace (Squire, Wixted, & Clark, 2007). Finally, from a theoretical point of view, the independence between the two recognition processes (familiarity – K – and recollection – R) is in fact highly unlikely (Cowan, 1998; Mulligan & Hirshman, 1997). According to Cowan (1998), the strict independence between them is an aberration, since it seems impossible to imagine a recollection experience without familiarity.

4.7 Beyond the limits and conclusions

Some of the main limitations described here are known since a long time now. As a consequence, authors have tried to find answers. For instance, local

modifications were proposed such as adding a direct connection between the PRS and episodic memory to explain the episodic performances of patients suffering from semantic dementia (Hodges & Graham, 2001). Broader propositions were also made to integrate more modifications and recent results. One of the most successful approaches is certainly the MNESIS model – Memory N_EoStructural Inter-Systemic (for a review, see Eustache & Desgranges, 2008). This model offers a synthesis of the SPI model proposed by Tulving in 1995 combined with the model of working memory proposed by Baddeley (2000). This model also takes into account possible interactions between systems (feedback, semanticisation, etc.) as proposed by Hodges or by the procedural learning framework. This model illustrates the current trend to (re) establish links between different research on memory models. Another example is the addition of the episodic buffer in working memory (Baddeley, 2000). This module will feature the integration of data from different sub-modules of the working memory with data from long-term memory (episodic and semantic).

Consequently, we see attempts to combine various models to reflect more effectively the cognitive functioning. This trend echoes the functionalism approach, as opposed to the structuralism approach. In the functional approach of memory and cognition, processes, rather than systems, reflect the memory functioning. Thus, memories could be considered as dynamic entities interacting with other cognitive functions and with the environment.

References

- Ackerman, P. L., & Cianciolo, A. T. (2000). Cognitive, perceptual-speed, and psychomotor determinants of individual differences during skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *6*, 259–290.
- Alexander, G., & Crutcher, M. (1990). Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. *Trends in Neurosciences*, *13*, 266–271.
- Alvarez, J., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, *16*, 17–42.
- Ashby, F., & Ell, S. (2002). Single versus multiple systems of learning and memory. In J. Wixted & H. Pashler (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology: Methodology in experimental psychology* (Wiley ed., Vol. 4, pp. 655–691). New York.
- Babiloni, C., Vecchio, F., Cappa, S. F., Pasqualetti, P., Rossi, S., Miniussi, C., & Rossini, P. M. (2006). Functional frontoparietal connectivity during encoding and retrieval processes follows HERA model. A high-resolution study. *Brain Research Bulletin*, *68*, 203–212.
- Baddeley, A. (1984). The fractionation of human memory. *Psychological Medicine*, *14*, 259–264.
- Baddeley, A. (1996). The concept of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*, 13468–13472.
- Baddeley, A. (1998). The central executive: a concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *4*, 523–526.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417–423.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, *20*, 136–140.
- Baddeley, A., Allen, R., & Hitch, G. (2010). Investigating the episodic buffer. *Psychologica Belgica*, *50*, 223–243.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Psychology. In H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation vol. 8* (pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Barensse, M., Rogers, T., Bussey, T., Saksida, L., & Graham, K. (2010). Influence of conceptual knowledge on visual object discrimination: insights from semantic

- dementia and MTL amnesia. *Cerebral Cortex*, *20*, 2568–2582.
- Barsalou, L. W. (2003). Abstraction in perceptual symbol systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *358*, 1177–1187.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617–645.
- Bayley, P., & Squire, L. (2002). Medial temporal lobe amnesia: gradual acquisition of factual information by nondeclarative memory. *Journal of Neuroscience*, *22*, 5741–5748.
- Bayley, P., & Squire, L. (2005). Failure to acquire new semantic knowledge in patients with large medial temporal lobe lesions. *Hippocampus*, *15*, 273–280.
- Beaunieux, H., Hubert, V., Witkowski, T., Pitel, A.-L., Rossi, S., Danion, J.-M., ... Eustache, F. (2006). Which processes are involved in cognitive procedural learning? *Memory*, *14*, 521–539.
- Berlingeri, M., Bottini, G., Basilico, S., Silani, G., Zanardi, G., Sberna, M., ... Paulesu, E. (2008). Anatomy of the episodic buffer: a voxel-based morphometry study in patients with dementia. *Behavioural Neurology*, *19*, 29–34.
- Berryhill, M. E., Phuong, L., Picasso, L., Cabeza, R., & Olson, I. R. (2007). Parietal lobe and episodic memory: bilateral damage causes impaired free recall of autobiographical memory. *The Journal of Neuroscience*, *27*, 14415–14423.
- Binder, J., Desai, R., Graves, W., & Conant, L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, *19*, 2767–2796.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: sensory priming effects in semantic categorization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*, 955–964.
- Buccione, I., Fadda, L., Serra, L., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2008). Retrograde episodic and semantic memory impairment correlates with side of temporal lobe damage. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *14*, 1083–1094.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Neural bases of learning and memory: functional neuroimaging evidence. *Current Opinion in Neurology*, *13*, 415–421.
- Cappa, S. F. (2008). Imaging studies of semantic memory. *Current Opinion in Neurology*, *21*, 669–675.
- Carbonnel, S., Charnallet, A., & Moreaud, O. (2010). Organisation des connaissances sémantiques : des modèles classiques aux modèles non abstraits. *Revue de Neuropsychologie*, *2*, 22–30.
- Chater, N. (2003). How much can we learn from double dissociations? *Cortex*, *39*, 167–169.

- Clayton, N. S., & Dickinson, A. (1998). Episodic-like memory during cache recovery by scrub jays. *Nature*, *395*, 272–274.
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, *210*, 207–210.
- Collins, A. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*, 407–428.
- Conway, M. (1992). A structural model of autobiographical memory. In M. Conway, H. Spinnler, & W. Wagenaar (Eds.), *Theoretical perspectives on autobiographical memory* (pp. 167–194). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Cowan, N. (1998). *Attention and memory: an integrated framework*. Oxford: Oxford University Press.
- Craik, F. I. M. (1979). Human memory. *Annual Review of Psychology*, *30*, 63–102.
- Crosson, B. A. (1992). *Subcortical functions in language and memory*. New York: Guilford Press.
- Davies, R., Graham, K. S., Xuereb, J., Williams, G., & Hodges, J. (2004). The human perirhinal cortex and semantic memory. *European Journal of Neuroscience*, *20*, 2441–2446.
- Demb, J. B., Desmond, J. E., Wagner, A. D., Vaidya, C. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity. *The Journal of Neuroscience*, *15*, 5870–5878.
- Dere, E., Kart-Teke, E., Huston, J., & De Souza Silva, M. (2006). The case for episodic memory in animals. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *30*, 1206–1224.
- Desgranges, B., Baron, J.-C., & Eustache, F. (1998). The functional neuroanatomy of episodic memory : the role of the frontal lobes, the hippocampal formation, and other areas. *Neuroimage*, *8*, 198–213.
- D’Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., Ballard, D., Shin, R., & Lease, J. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research*, *7*, 1–13.
- D’Esposito, M., Detre, J., Alsop, D., & Shin, R. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, *378*, 279–281.
- Dilkina, K., McClelland, J. L., & Plaut, D. C. (2008). A single-system account of semantic and lexical deficits in five semantic dementia patients. *Behavioral Science*, *25*, 136–164.
- Doyon, J., & Benali, H. (2005). Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Current Opinion in Neurobiology*, *15*, 161–167.
- Dunn, J. C. (2003). The elusive dissociation. *Cortex*, *39*, 177–179.
- Dunn, J. C. (2008). The dimensionality of the remember-know task: a state-trace analysis. *Psychological Review*, *115*, 426–446.

- Dunn, J. C., & Kirsner, K. (1988). Discovering functionally independent mental processes: the principle of reversed association. *Psychological Review*, *95*, 91–101.
- Eichenbaum, H., & Fortin, N. (2003). Episodic memory and the hippocampus: it's about time. *Current Directions in Psychological Science*, *12*, 53–57.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS: towards the integration of current multisystem models of memory. *Neuropsychology Review*, *18*, 53–69.
- Eysenck, M. (1977). *Human memory: theory, research, and individual differences*. Oxford: Pergamon Press.
- Farah, M. J., & McClelland, J. L. (1991). A computational model of semantic memory impairment: modality specificity and emergent category specificity. *Journal of Experimental Psychology: General*, *120*, 339–357.
- Fleischman, D., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D. E., & Schneider, J. (2005). Implicit memory and Alzheimer's disease neuropathology. *Brain*, *128*, 2006–2015.
- Fletcher, P. C., Frith, C., & Rugg, M. D. (1997). The functional neuroanatomy of episodic memory. *Trends in Neurosciences*, *20*, 213–218.
- Fodor, J. (1975). *The language of thought* (T. Crowell, Ed.). New York.
- Gabrieli, J. D. E. (1998). Cognitive neuroscience of human memory. *Annual Review of Psychology*, *49*, 87–115.
- Gabrieli, J. D. E., Poldrack, R. A., & Desmond, J. E. (1998). The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *95*, 906–913.
- Gaffan, D. (2002). Against memory systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *357*, 1111–1121.
- Gardiner, J. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*, *16*, 309–313.
- Gardiner, J., Ramponi, C., & Richardson-Klavehn, A. (2002). A meta-analysis of remember, know, and guess responses. *Memory*, *10*, 83–98.
- Giffard, B., Desgranges, B., Nore-Mary, F., Lalevee, C., de la Sayette, V., Pasquier, F., & Eustache, F. (2001). The nature of semantic memory deficits in Alzheimer's disease: new insights from hyperpriming effects. *Brain*, *124*, 1522–1532.
- Glenberg, A. (1997). What memory is for? *The Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 1–19.
- Glisky, E. (1995). Acquisition and transfer of word processing skill by an amnesic patient. *Neuropsychological Rehabilitation*, *5*, 299–318.
- Glisky, E., Schacter, D. L., & Tulving, E. (1986). Computer learning by memory-impaired patients: acquisition and retention of complex knowledge. *Learning*, *24*, 313–328.
- Gonsalves, B. D., Kahn, I., Curran, T., Norman, K., & AD. (2005). Memory strength and repetition suppression: multimodal imaging of medial temporal cortical contributions to recognition. *Neuron*, *47*, 751–761.

- 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*, 501–518.
- Graham, K. S., Simons, J. S., Pratt, K. H., Patterson, K., & Hodges, J. R. (2000). Insights from semantic dementia on the relationship between episodic and semantic memory. *Neuropsychologia*, *38*, 313–234.
- Greenberg, D., & Verfaellie, M. (2006). Interdependence of episodic and semantic memory: evidence from neuropsychology. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *16*, 748–753.
- Gruber, O., & Cramon, D. Y. V. (2003). The functional neuroanatomy of human working memory revisited. Evidence from 3-T fMRI studies using classical domain-specific interference tasks. *Neuroimage*, *19*, 797–809.
- Haan, M. D., Mishkin, M., Baldeweg, T., & Vargha-khadem, F. (2006). Human memory development and its dysfunction after early hippocampal injury. *Trends in Neurosciences*, *29*, 374–381.
- Habib, R., Nyberg, L., & Tulving, E. (2003). Hemispheric asymmetries of memory: the HERA model revisited. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 241–245.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, *41*, 301–307.
- Himanen, L., Portin, R., Isoniemi, H., Helenius, H., Kurki, T., & Tenovuo, O. (2006). Longitudinal cognitive changes in traumatic brain injury: a 30-year follow-up study. *Neurology*, *66*, 187–192.
- Hirsh, R. (1974). The hippocampus and contextual retrieval of information from memory: a theory. *Behavioral Biology*, *12*, 421–444.
- Hodges, J., & Graham, K. S. (2001). Episodic memory: insights from semantic dementia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *356*, 1423–1434.
- Hodges, J., & Patterson, K. (2007). Semantic dementia: a unique clinicopathological syndrome. *The Lancet Neurology*, *6*, 1004–1014.
- Hubert, V., Beaunieux, H., Chételat, G., Platel, H., Landeau, B., Danion, J.-M., . . . Desgranges, B. (2007). The dynamic network subserving the three phases of cognitive procedural learning. *Human Brain Mapping*, *28*, 1415–1429.
- Humphreys, M. S., Bain, J. D., & Pike, R. (1989). Different ways to cue a coherent memory system: a theory for episodic, semantic, and procedural tasks. *Psychological Review*, *96*, 208–233.
- Inoue, C., & Bellezza, F. S. (1998). The detection model of recognition using know and remember judgments. *Memory & Cognition*, *26*, 299–308.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, *268*, 1772–1774.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. Dover Publications.
- Jamieson, R. K., Holmes, S., & Mewhort, D. J. K. (2010). Global similarity predicts dissociation of classification and recognition: evidence questioning

- the implicit-explicit learning distinction in amnesia. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *36*, 1529–1535.
- Kaschak, M., Madden, C., Theriault, D., Yaxley, R., Aveyard, M., Blanchard, A., & Zwaan, R. (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, *94*, 79–89.
- Kinsbourne, M., & Wood, F. (1982). Theoretical considerations regarding the episodic-semantic memory distinction. In L. Cermak (Ed.), *Human memory and amnesia* (pp. 195–217). Hillsdale, NJ: Erlbaum..
- Knowlton, B. (1993). The role of the basal ganglia in learning and memory. In L. R. Squire & D. L. Schacter (Eds.), *Neuropsychology of memory* (pp. 143–153). New York: Guilford Press.
- Konishi, S., Wheeler, M. E., Donaldson, D. I., & Buckner, R. L. (2000). Neural correlates of episodic retrieval success. *Neuroimage*, *12*, 276–286.
- Lah, S., Lee, T., Grayson, S., & Miller, L. (2006). Effects of temporal lobe epilepsy on retrograde memory. *Epilepsia*, *47*, 615–625.
- Lambon Ralph, M. A., & Patterson, K. (2008). Generalization and differentiation in semantic memory: insights from semantic dementia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1124*, 61–76.
- Lee, A. (2000). Asymmetric frontal activation during episodic memory: the effects of stimulus type on encoding and retrieval. *Neuropsychologia*, *38*, 677–692.
- Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L., & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*, 506–511.
- Lepage, M., Habib, R., & Tulving, E. (1998). Hippocampal PET activations of memory encoding and retrieval: the HIPER model. *Hippocampus*, *8*, 313–322.
- Levy, D., Bayley, P. J., & Squire, L. R. (2004). The anatomy of semantic knowledge: medial vs. lateral temporal lobe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*, 6710–6715.
- McCarthy, R. A., Kopelman, M. D., & Warrington, E. K. (2005). Remembering and forgetting of semantic knowledge in amnesia: a 16-year follow-up investigation of RFR. *Neuropsychologia*, *43*, 356–372.
- Merritt, P., Hirshman, E., Zamani, S., Hsu, J., & Berrigan, M. (2006). Episodic representations support early semantic learning: evidence from midazolam induced amnesia. *Brain and Cognition*, *61*, 219–223.
- Miller, M. B., Kingstone, A., & Gazzaniga, M. S. (2002). Hemispheric encoding asymmetry is more apparent than real. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*, 702–708.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49–100.
- Molholm, S., Martinez, A., Shpaner, M., & Foxe, J. (2007). Object-based attention is multisensory: co-activation of an object's representations in ignored sensory

- modalities. *European Journal of Neuroscience*, *26*, 499–509.
- Moscovitch, M. (1982). Multiple dissociations of function in amnesia. In L. Cermak (Ed.), *Human memory and amnesia* (pp. 337–370). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Moscovitch, M., & Winocur, G. (2002). The frontal cortex and working with memory. In R. T. Knight & D. T. Stuss (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 188–209). New York: Oxford University Press.
- Mulligan, N. W., & Hirshman, E. (1997). Measuring the bases of recognition memory : an investigation of the process-dissociation framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 280–304.
- Neary, D., Snowden, J. S., Gustafson, L., Passant, U., Stuss, D., Black, S. E., . . . Benson, D. (1999). Frontotemporal lobar degeneration: A consensus on clinical diagnostic criteria. *Neurology*, *53*, 1158–1158.
- Nyberg, L., Habib, R., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (2000). Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*, 11120–11124.
- Pascual-Leone, A., Grafman, J., & Hallett, M. (1995). Procedural learning and prefrontal cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *769*, 61–70.
- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you now what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*, 976–988.
- Paulesu, E., Frith, C., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, *362*, 342–345.
- Penfield, W., & Rasmussen, T. (1950). *The cerebral cortex of man: a clinical study of localization of function*. Macmillan.
- Rajaram, S. (1993). Remembering and knowing: two means of access to the personal past. *Memory & Cognition*, *21*, 89–102.
- Rajaram, S., Brook, S., & York, N. (1998). The effects of conceptual salience and perceptual distinctiveness on conscious recollection. *Psychonomic Bulletin & Review*, *5*, 71–78.
- Rajaram, S., & Geraci, L. (2000). Conceptual fluency selectively influences knowing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*, 1070–1074.
- Ranganath, C., & Blumenfeld, R. (2005). Doubts about double dissociations between short-and long-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 374–380.
- Repovs, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, *139*, 5–21.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory improves visual search. *Memory & Cognition*, *39*, 1094–1102.
- Robbins, T. (1996). Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *351*, 1463–1471.

- Roediger III, H. (1990). Implicit memory. Retention without remembering. *American Psychologist*, *45*, 1043–1056.
- Rosenbaum, R. S., Schacter, D. L., Moscovitch, M., Westmacott, R., Black, S. E., Gao, F., & Tulving, E. (2005). The case of K.C.: contributions of a memory-impaired person to memory theory. *Neuropsychologia*, *43*, 989–1021.
- Rudner, M., Fransson, P., Ingvar, M., Nyberg, L., & Rönningberg, J. (2007). Neural representation of binding lexical signs and words in the episodic buffer of working memory. *Neuropsychologia*, *45*, 2258–2276.
- Ryan, J., & Cohen, N. (2003). Evaluating the neuropsychological dissociation evidence for multiple memory systems. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *3*, 168–185.
- Schacter, D., Alpert, N. M., Savage, C. R., Rauch, S. L., & Albert, M. S. (1996). Conscious recollection and the human hippocampal formation: evidence from positron emission tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*, 321–325.
- Schacter, L., & Tulving, E. (1994). *Memory systems*. The MIT Press.
- Schott, B. H., Henson, R. N., Richardson-Klavehn, A., Becker, C., Thoma, V., Heinze, H.-J., & Düzel, E. (2005). Redefining implicit and explicit memory: the functional neuroanatomy of priming, remembering, and control of retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*, 1257–1262.
- Scoville, W., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *20*, 11–21.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *298*, 199–209.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores : a neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *22*, 261–273.
- Sherry, D. F., & Schacter, D. L. (1987). The evolution of multiple memory systems. *Psychological Review*, *94*, 439–454.
- Shimamura, A., Salmon, D. P., Squire, L. R., & Butters, N. (1987). Memory dysfunction and word priming in dementia and amnesia. *Behavioral Neuroscience*, *101*, 347–351.
- Shimamura, A., & Squire, L. R. (1988). Long-term memory in amnesia: cued recall, recognition memory, and confidence ratings. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*, 763–770.
- Simmons, W. K., & Martin, A. (2009). The anterior temporal lobes and the functional architecture of semantic memory. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *15*, 645–649.
- Skinner, E. I., & Fernandes, M. A. (2007). Neural correlates of recollection and familiarity: a review of neuroimaging and patient data. *Neuropsychologia*, *45*, 2163–2179.

- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory : a view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, *33*, 5–42.
- Squire, L. (1987). *Memory and Brain*. Oxford University Press.
- Squire, L., & Schacter, D. (Eds.). (2003). *Neuropsychology of Memory, Third Edition*. New York: Guilford Press.
- Squire, L., Wixted, J., & Clark, R. E. (2007). Recognition memory and the medial temporal lobe: a new perspective. *Nature Reviews Neuroscience*, *8*, 872–883.
- Squire, L. R. (1982). The neuropsychology of human memory. *Annual Review of Neuroscience*, *5*, 241–273.
- Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *4*, 232–243.
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, *99*, 195–231.
- Squire, L. R. (1998). Memory systems. *Academie Des Sciences*, *321*, 153–156.
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, *82*, 171–177.
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1988). Memory: brain systems and behavior. *Trends in Neurosciences*, *11*, 170–175.
- Stein, B., & Meredith, M. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Stuss, D., & Alexander, M. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, *63*, 289–298.
- Taylor, K. I., Moss, H. E., & Tyler, L. K. (2007). *Neural basis of semantic memory* (J. Hart & M. A. Kraut, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- 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. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*, 385–398.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Tulving, E. (2001). Episodic memory and common sense: how far apart? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *356*, 1505–1515.
- Tulving, E. (2002a). Chronesthesia: Conscious awareness of subjective time. In R. T. Knight & D. T. Stuss (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 311–325). Oxford: Oxford University Press.
- Tulving, E. (2002b). Episodic memory: from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, *53*, 1–25.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *91*, 2016–2020.

- Tulving, E., & Schacter, D. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, *247*, 301–306.
- Tulving, E., Schacter, D., McLachlan, D., & Moscovitch, M. (1988). Priming of semantic autobiographical knowledge: A case study of retrograde amnesia. *Brain and Cognition*, *8*, 3–20.
- Tulving, E., Voi, M. L., Routh, D., & Loftus, E. (1983). Ecphoric processes in episodic memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *302*, 361–370.
- Ungerleider, L., & Haxby, J. (1994). 'What' and 'where' in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, *4*, 157–165.
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- Vallet, G., Simard, M., Fortin, C., Versace, R., & Mazza, S. (2011). L'altération des connaissances sémantiques est-elle liée à une altération du traitement perceptif ? Étude des atteintes catégories-spécifiques dans la démence sémantique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, *9*, 327–335.
- Van der Linden, M., & Bruyer, R. (1991). *Neuropsychologie de la memoire humaine*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble (PUG).
- Vargha-Khadem, F., Gadian, D., & Mishkin, M. (2001). Dissociations in cognitive memory: the syndrome of developmental amnesia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *356*, 1435–1440.
- Vargha-khadem, F., Gadian, D., Watkins, K., Connelly, A., Van Paesschen, W., & Mishkin, M. (1997). Differential effets of early hippocampal pathology on episodic and semantic memory. *Science*, *7*, 376–380.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Visser, M., Jefferies, E., & Lambon Ralph, M. A. (2010). Semantic processing in the anterior temporal lobes: a meta-analysis of the functional neuroimaging literature. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*, 1083–1094.
- Wagner, A. D., Poldrack, R. A., Eldridge, L. L., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (1998). Material-specific lateralization of prefrontal activation during episodic encoding and retrieval. *Imaging*, *9*, 3711–3717.
- Wagner, A. D., Shannon, B. J., Kahn, I., & Buckner, R. L. (2005). Parietal lobe contributions to episodic memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 445–453.
- Wheeler, M. E. (2000). Memory's echo: vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*, 11125–11129.
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of remembering and knowing. *Neuroimage*, *21*, 1337–1349.
- Wheeler, M. E., Stuss, D. T., & Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic mem-

- ory: the frontal lobes and auto-noetic consciousness. *Psychological Bulletin*, *121*, 331–354.
- Wiggs, C. L., Weisberg, J., & Martin, A. (1999). Neural correlates of semantic and episodic memory retrieval. *Neuropsychologia*, *37*, 103–118.
- Woodruff, C. C., Johnson, J. D., Uncapher, M. R., & Rugg, M. D. (2005). Content-specificity of the neural correlates of recollection. *Neuropsychologia*, *43*, 1022–1032.
- Yang, J., & Shu, H. (2011). Embodied representation of tool-use action verbs and hand action verbs: evidence from a tone judgment task. *Neuroscience Letters*, *493*, 112–115.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: a review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, *46*, 441–517.
- Zaki, S. R. (1998). Dissociations between categorization and recognition in amnesic and normal individuals: an exemplar-based interpretation. *Psychological Science*, *9*, 247–255.
- Zaki, S. R., Nosofsky, R. M., & Jessup, N. (2003). Categorization and recognition performance of a memory-impaired group: evidence for single-system models. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *9*, 393–406.
- Zimmer, H. D. (2008). Neuroscience and biobehavioral reviews visual and spatial working memory: from boxes to networks. *Biobehavioral Reviews*, *32*, 1373–1395.

Synthèse intermédiaire

Cet article de synthèse a présenté de manière holistique le modèle mono-hiérarchique Sériel-Parallèle-Indépendant (SPI) développé par Endel Tulving en 1995 et 2001. Les données historiques montrent que ce modèle est ancré sur les travaux de psychologie cognitive, mais surtout de neuropsychologie, rapportant des dissociations entre des processus et entre des systèmes mnésiques. À partir de cette essence multisystémique, le modèle SPI définit cinq (version 1995) puis trois (version 2001) sous-systèmes de mémoire. Les trois principaux sous-systèmes sont le système des représentations perceptives (PRS), la mémoire sémantique et la mémoire épisodique. Ces systèmes sont en interaction avec les principaux processus mnésiques que sont l'encodage, le stockage et la récupération. L'encodage est défini comme sériel puisqu'il passera d'un sous-système à un autre si l'information est pertinente pour le système suivant. Le stockage est parallèle, chaque sous-système garde les représentations qui lui sont propres. Et enfin, la récupération dans un sous-système est indépendante des autres sous-systèmes.

Les bases cérébrales sous-tendant les différents sous-systèmes ne sont pas explicitement décrites dans SPI. Toutefois, la définition de ces systèmes mnésiques permet de rechercher la littérature les substrats neuronaux probables. Puisque cette thèse s'inscrit avant tout dans une démarche comportementale, ces substrats ne seront pas rappelés ici.

Les forces du modèle semblent se situer davantage dans les aspects neuropsychologiques et cliniques. Ainsi, la vision hiérarchique des sous-systèmes permet d'expliquer l'atteinte préférentielle de la mémoire épisodique et la quasi systématique préservation des aspects non-déclaratifs comme la mémoire procédurale et le PRS. Une approche multisystémique permet aussi d'expliquer facilement les dissociations mnésiques comme celles observées entre la maladie d'Alzheimer et la démence sémantique. Ce modèle a également permis l'élaboration de tests neuropsychologiques différenciant ces sous-systèmes afin de caractériser les profils cognitifs des patients.

Néanmoins, ce modèle a rencontré et rencontre de nombreuses critiques parmi lesquelles l'absence de rétro-action entre les systèmes semble être la limite majeure. L'émergence de nouveaux travaux s'inscrivant dans des approches incarnées questionne également la validité des dissociations entre ces systèmes. Ce point sera davantage détaillé dans l'article suivant qui présente le modèle Act-In.

Chapitre 5

ACT-IN : An integrated view of memory mechanisms

Rémy Versace¹, Guillaume T. Vallet^{1,2}, Lionel Brunel³, Benoit Riou¹,
Mathieu Lesourd¹, and Élodie Labeye⁴

¹ Laboratoire EMC, Lyon2 University, Lyon, France

² School of Psychology, Laval University, Quebec City, Canada

³ EPSYLON Laboratory, Paul Valéry University, Montpellier, France

⁴ Ergonomics and Cognitive Science Laboratory for Transports, INRETS, Bron, France

En préparation pour re-soumission

Abstract

This article propose a memory model, Act-In, which extends the multiple trace models by placing them within a perspective of situated cognition. Act-In considers that the activation and integration mechanisms play a key role in memory processes. These mechanisms are involved in both the construction of memory traces (Integration) and the emergence of knowledge (Interactive activation). Our model is based on four main assumptions: a) Memory traces reflect all the components of past experiences and, in particular, their sensory properties as captured by our sensory receptors, as well as the actions performed on the objects in the environment and the emotional and motivational states of individuals which, to a large extent, determine their actions; b) knowledge is emergent and is the product of the coupling of present experience with past experiences; c) the brain is a categorization system which develops by accumulating experiences and which, by default, produces categorical knowledge; d) the emergence of specific knowledge (episodic knowledge) requires very simple mechanisms which occur during learning (i.e. Integration) or during retrieval (i.e. Interactive activation). These assumptions are defended and discussed in the light of the work reported in the literature.

5.1 Introduction: Rationale for a compelling approach to memory

Memory is a transversal function of the cognitive system. In all the situations we encounter, we rely on past experiences in order to deal with the present. Conversely, most cognitive activities underpin a form of retention of information. The ways in which long-term memory influences (non-memory) cognitive mechanisms are generally described as simple "top-down" influences, that is to say that they do not form an integral part of these mechanisms: activations in long-term memory may then, by way of feedback, modify cognitive functioning that was initially independent of this memory. A variety of criteria are generally used to distinguish what are habitually considered to represent memory activities. These criteria mostly take the form of the nature of knowledge (or representations) that is thought to be involved, for example memories or conceptual knowledge, or the conscious or unconscious nature of encoding (incidental vs. intentional), retrieval (explicit vs. implicit), or even retrieved knowledge (e.g., Tulving's distinction between anoetic, noetic, and auto-noetic consciousness). However, in all these memory activities the retrieval mechanism is an activation mechanism (activation of representations/knowledge in memory). What changes, therefore, is primarily the nature of what is activated and the level of consciousness associated with this activation.

5.1.1 Are there qualitative differences between forms of knowledge?

The most lively debates reported in the literature have related primarily to the content of memory (or of memories). In effect, levels of consciousness, just like the factors that influence encoding and retrieval, are often thought to be intrinsically linked to content. In the structural models of memory, even though the content varies depending on the memory system in question, there is always a correspondence between the content of the relevant memory system and, at the phenomenological level, the nature of the knowledge. Knowledge is "retrieved" from memory. Thus episodic memory is thought to contain information associated with experienced events or direct experiences (memories) that are associated with a precise spatio-temporal context. Even though authors accept that the content of this episodic information is multidimensional (containing, in particular, the sensorimotor and emotional properties of the encoding episode), no detailed account of the formation and organization of the episodic information has as yet been formulated. In contrast to episodic memory, semantic memory is thought to contain the general knowledge that individuals possess about the world around them. This

content would be abstract, decontextualized and associated with general knowledge about concepts. Unlike the case of episodic knowledge, models of the organization of semantic knowledge (concepts) have been proposed in order to account for the properties of concepts and their relations. These models are primarily based on semantic network type architectures in which knowledge retrieval is described in terms of activation and the propagation of activation between the conceptual nodes present in these networks. Finally, the third of the most frequently evoked memory systems, procedural memory, contains knowledge related to our perceptuo-cognitive and motor skills, i.e. knowledge that is largely resistant to conscious access and is generally represented in memory in the form of production systems linking conditions ("If...") to actions ("Then...").

5.1.2 Retrieval vs. Emergence

In an earlier paper ([Versace et al., 2009](#)), we have already discussed the main criticisms that can be leveled at the multiple system models. Here, we shall refer to only one of them which seems to us to be crucial and derives from the postulate that the content of memory must be analogous to the content of the knowledge that is retrieved at the phenomenological level: "since the primary aim is to describe the apparent properties of predefined knowledge, it is possible to choose an architecture to account for these on a totally arbitrary basis. There is absolutely no empirical justification for such a choice and no underlying neurobiological plausibility". Consequently, in the same way as [Versace et al. \(2009\)](#), we think that an item of knowledge must not necessarily be stored in memory and correspond to each item of apparent knowledge. In the present paper, we shall attempt to show that knowledge is simply the result of the dynamic of memory functioning, that is to say that different types of knowledge associated with different levels of consciousness can emerge from identical content.

This idea of emergent knowledge is present in the so-called "single system" memory models which contradict the idea that memory is divided into multiple systems. Regarding the content of this single system, while authors initially suggested that it contained exemplars of semantic categories (see the exemplar models of categorization, e.g. [Estes, 1996](#); [Medin & Schaffer, 1978](#)), the idea of exemplars gradually gave way to the concept of traces of specific experiences (see the multiple trace models, e.g., [Hintzman, 1986](#); [Whittlesea, 1987](#)). Within this framework, memory is primarily episodic in nature, even if the specificity of the episodes is considerably greater in the multiple trace models than in the exemplar models. The retrieved knowledge is no longer exactly the same as the knowledge that was activated. Instead, it emerges from the reactivation of the global content of memory. Of course, the result of this activation may be more or less similar to a specific

trace. The episodic or semantic nature of the knowledge therefore depends entirely on the result of this activation mechanism, leading to a form of knowledge that is more or less specific to an earlier situation. The single-system models of memory therefore attribute a central role to the link between present and past experience. Versace and co-workers (2009) proposed that exposure to the environment translates very rapidly into numerous structures that encode sensory dimensions by means of parallel activations. These initial activations then propagate very quickly to other components that are related to the other properties of the environment: the other sensory components, the motor components and the components associated with emotion. These multidimensional activations are thought to influence processing which occurs very quickly after the appearance of the object that induces it. Moreover, according to the authors, these multimodal activations are then gradually integrated and this integration, in turn, permits access to increasingly elaborate and increasingly unitary knowledge concerning the current environment.

However, Versace et al. (2009) paid little attention to the question of the differentiation between the forms of knowledge which emerge from these activation and integration mechanisms. They assumed that, within the framework they proposed, "memories" and "concepts" are positioned on a continuum which reflects the "quantity" of reactivated traces: the reactivation of a very limited number of traces permits the emergence of specific knowledge (a memory) and, in contrast, the reactivation of a large number of traces leads to the emergence of abstracted knowledge. Emerging knowledge corresponds to states of the memory system, which may either be similar to a previous state (episodic knowledge) or represent a synthesis of a large number of previous states (conceptual knowledge). Since knowledge reflects the features common to the traces that are activated, the more traces there are, the lower the weight of the specific information carried by the traces in the emerging knowledge.

However, in our opinion, this description is far from being sufficiently precise. If the number of traces involved is indeed crucial in order to differentiate between the emergence of specific knowledge and the emergence of categorical knowledge, it is also reasonable to ask whether these different forms of knowledge also differ in terms of the mechanisms involved and, furthermore, question the precise role of the integration mechanism during their emergence. Similarly, Versace et al. (2009) failed to address, or addressed only tangentially the question of the construction of the traces. We shall therefore attempt to show below that integration most certainly plays a much more important role during the construction of traces than during their reactivation, that is to say than during the emergence of knowledge. However, here again, it is necessary to be able to differentiate between the encoding mechanisms (construction of the traces) and the retrieval mechanisms (reactivation of the traces). In the approach that we advocate here, it is not really possible to dissociate these two stages.

5.1.3 Assumptions underpinning ACT-IN

In this article, we propose a cognitive model, Act-In, which represents a formalization of the theoretical framework proposed by Versace and co-workers (2009). The name of the model (Act-In) comes from the key role it attributes to the activation and integration mechanisms in memory processes. Below, we specify these mechanisms, which are involved in both the construction of memory traces (Integration) and knowledge emergence (Interactive activation), in greater detail. Act-In represents an extension to the multiple trace models which it transposes to a perspective of situated cognition (e.g. Clancey, 1997; see also the theory of embodied cognition as described, for example, by (Damasio, 1989; Edelman, 1987; Glenberg, 1997). To be effective, knowledge involved in our cognitive activities must be closely linked to the goals we have set ourselves and, more generally, to the situation in which the activity is performed. This ability to adapt to specific situations would not be possible unless knowledge was derived from the reactivation of memory traces of past experiences since these traces retain the features of the situations in which they were formed. Memory is therefore involved at two levels: 1) in the formation of the present perceptual experience; and 2) in establishing a relation between this perceptual experience and prior perceptual experiences.

Act-In is based on four main assumptions: a) Memory traces reflect all the components of past experiences and, in particular, the sensory properties as captured by our sensory receptors, actions performed on the objects in the environment and the emotional and motivational states of individuals which, to a large extent, determine their actions; b) knowledge is emergent and is the product of the coupling of the present experience with past experiences; c) the brain is a categorization system which develops by accumulating experiences and which, by default, produces categorical knowledge; d) the emergence of specific knowledge (memories or episodic knowledge) requires very simple mechanisms which occur during learning (i.e. Integration) or during retrieval (i.e. Interactive activation).

5.2 Act-In Model

5.2.1 Sensory-based distributed memory traces.

Our first main assumption regarding Act-In concerns the nature of the experiential components that are actually encoded in the traces. This issue is closely related to the question of the form that knowledge actually takes in the brain and, consequently, to the question of the nature of the knowledge that can emerge from

trace activation. It is impossible to propose an appropriate description of the actual content of memory traces without taking into account the properties of the physical system within which the traces are implemented. In this case, this is the brain and one of the crucial properties of the brain which allows it to perform cognitive functioning is its plasticity. Thus there is a growing body of studies providing irrefutable evidence that practically the entire nervous system is characterized by a very high level of plasticity (e.g. [Frégnac, 1996](#)). It also seems to be broadly accepted that neuronal plasticity forms the basis for learning and memory (see, for example, [Laroche, 2011](#), for supporting arguments). This makes it difficult to distinguish between areas which are specifically associated with memory and other "non-memory" areas which may, for example, be responsible for sensory processing or motor capabilities. The brain as a whole may be considered to be a system which retains the traces of an individual's experiences.

Many brain imaging studies have confirmed the fact that knowledge emerges from the activation of neuronal systems that are typically associated with perceptuo-motor mechanisms ([Jääskeläinen, Ahveninen, Belliveau, Raij, & Sams, 2007](#); [Martin & Chao, 2001](#); [Martin, Ungerleider, & Haxby, 2000](#); [Slotnick, 2004](#); [Weinberger, 2004](#)). This has been revealed, in particular, by mental imagery tasks (visual and auditory, [Wheeler, 2000](#); olfactory, [Bensafi, Sobel, & Khan, 2007](#); motor, [Beisteiner, Höllinger, Lindinger, Lang, & Berthoz, 1995](#); [Jeannerod, 1994](#); for a review, see [Farah, 2000](#)), categorization tasks ([Martin, Haxby, Lalonde, Wiggs, & Ungerleider, 1995](#); [Martin, Wiggs, Ungerleider, & Haxby, 1996](#); [Proverbio, Del Zotto, & Zani, 2007](#)), lexical decision tasks ([Casasanto, Willems, & Hagoort, 2009](#)), tasks requiring the judgment of sensory attributes ([Kellenbach, Brett, & Patterson, 2001](#)) and, finally, tasks requiring the verification of sensory properties associated with concepts ([Goldberg, Perfetti, & Schneider, 2006](#)).

In parallel with these observations, many behavioral studies have shown that even the most conceptual knowledge is based on the activation of multisensory and motor properties. For example, studies of intermodal switching ([Connell & Lynott, 2009](#); [Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2003, 2004](#); [Pecher, Zanolie, & Zeelenberg, 2007](#); [van Dantzig, Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2008](#)) or property verification indicate that concepts are not amodal but are instead "simulated" in one or more sensory modalities. These simulations may relate, for example, to the shape of objects ([Solomon & Barsalou, 2001](#); [Zwaan & Yaxley, 2004](#)), their size ([Ferrier, Staudt, Reilhac, Jiménez, & Montpellier, 2007](#); [Riou et al., 2011](#); [Rubinsten & Henik, 2002](#); [Solomon & Barsalou, 2004](#)), or their spatial position ([Setic & Domijan, 2007](#); [Stanfield & Zwaan, 2001](#); [Zwaan, Stanfield, & Yaxley, 2002](#); [Zwaan & Yaxley, 2003](#)).

Many studies based on the priming paradigm have also demonstrated the modal nature of knowledge in memory. They show that the semantic processing of an object

or the motor response to this object can be facilitated by the prior presentation of a stimulus that is associated in memory with the target or with the motor response. The prime and the target may share various components, for example motor components (Brouillet et al., 2010; Ellis & Tucker, 2000; Glenberg & Kaschak, 2002; Helbig, Graf, & Kiefer, 2006; Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008; Myung, Blumstein, & Sedivy, 2006; Olivier, 2006; Zwaan & Yaxley, 2004) or auditory components (Brunel et al., 2009, 2010; Kaschak, Zwaan, Aveyard, & Yaxley, 2006; Vallet et al., 2010; Vallet, Simard, & Versace, 2011). Thus, in the study phase of an experiment involving a two-way cross-modal priming paradigm, Vallet et al. (2010) asked their participants to categorize auditory primes as "animal" or "artifact". In a test phase, the participants had to perform the same categorization task with visual targets which corresponded either to the auditory primes presented in the study phase (old items) or to new stimuli (new items). To demonstrate the perceptual nature of the cross-modal priming effect, half of the auditory primes were presented with a visual mask (old-masked items). In a second experiment, the visual stimuli were used as primes and the auditory stimuli as targets, and half of the visual primes were presented with an auditory mask (a white noise). In both experiments, the results demonstrated a cross-modal priming effect only for old items that were not masked during the learning phase. The fact that a sensory mask interferes with long-term cross-modal priming effects undoubtedly demonstrates the modality-specific nature of the memory traces.

Overall, these data clearly demonstrate that the content of the memory trace is closely related to our former sensory-motor activities while, in turn, these activities depend on the content of our memory traces. However, it is also clear that the experiences underlying trace construction are also associated with specific emotional states. The emotional nature of experiences must therefore also be encoded at the level of the memory traces. However, as emphasized by Versace and co-workers (2009), we can consider (see, for example, Damasio, 1994) that emotions correspond to pleasant or unpleasant sensations that are associated with specific corporal states characterized by a number of different parameters (heartbeat, feeling of pain, heat etc.). These corporal states, which are referred to as "somatic markers" by Damasio, are multimodal, and cannot be considered as elementary components of memory traces in the same way as unimodal perceptual components. Consequently, it is possible to consider that emotion is itself an elementary component of memory traces in the same way as the other sensorimotor components, while simultaneously being closely associated with subjects' corporal states (multimodal).

However, once again it is necessary to be able to define these different forms of elementary emotions (see the extensive discussions relating to the definition of emotions as specific differentiated states, referred to as basic emotions (e.g. Ekman, 1984), or as a state that is reducible to a valence of variable intensity (e.g. Russell, 1980) However, emotion can also be thought of as an emergent state of the

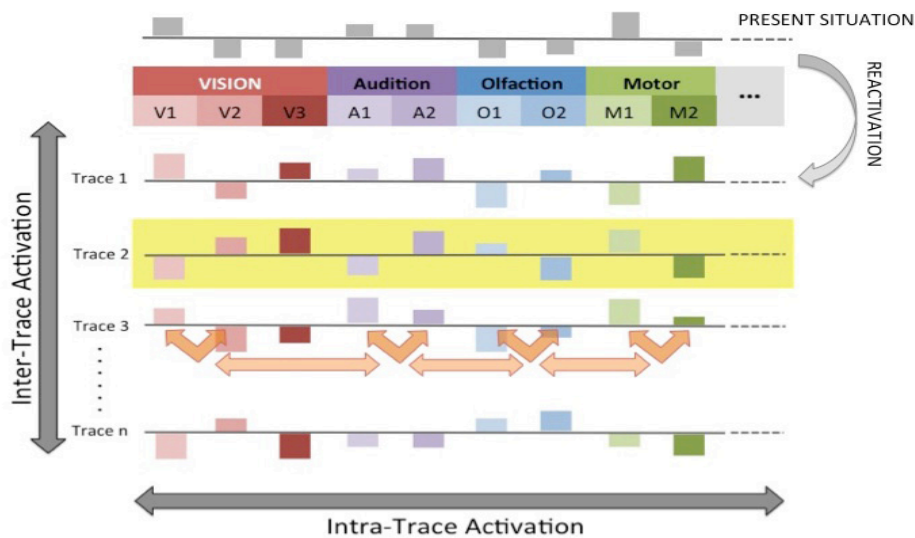
reactivation of traces of past experiences rather than as an elementary component of memory traces. Given the large volume of work in this field and the debates relating to the very definition of the concept of emotion, we have decided not to address the emergence of this form of knowledge in the present paper. Instead, we shall limit ourselves to a very brief examination of the possible role of emotion in the integration of the sensorimotor components of traces.

5.2.2 Knowledge emergence through Interactive Activations: Inter-trace and intra-trace activations

Above, we argued that emerging knowledge corresponds to states of the memory system, and that the greater the number of activated traces is, the lower the weight of the specific information carried by each trace in the emerging knowledge is. However, if the number of traces involved is indeed essential in order to differentiate between the emergence of specific and categorical knowledge, these different forms of knowledge also differ at the level of the mechanisms involved. To illustrate the mechanisms that are thought to be involved in the emergence of knowledge (see Figure 5.1), we shall use the matrix representation proposed by Hintzman in *Minerva II* (1986). Each row in the matrix represents a trace and each column a component (visual, auditory, etc.) of the experience encoded by the trace.

Thus, in any given situation, the nature of the knowledge that is likely to emerge depends on the dynamics of two mechanisms, namely inter-trace and intra-trace activation. Inter-trace activation refers to the spread of activation to and between the different traces (vertically in the matrix) on the basis of the present experience (broadly defined by its content but also by the subject's activity, the subject's emotional state etc). For example, seeing a picture of a dog activates all the memory traces corresponding to situations in which the individual has been confronted with similar visual stimuli (for example: other dogs). However, the sight of this dog should also activate - at the level of each trace - all the other properties associated with the activated visual dimension, for example acoustic, olfactory, tactile properties etc. (e.g. barking sound, smell of the dog and dog hair). This activation, which occurs between the dimensions of each individual trace, corresponds to intra-trace activation. These two mechanisms are the result of the cueing of traces of past experiences by the current experience (e.g. [Nairne, 2006](#)) Inter-trace activation spreads on the basis of the properties that are directly activated by the current experience (and which are therefore perceptually present) as well as on the basis of properties that are activated via intra-trace activation (not actually present).

Inter-trace and intra-trace activations should enable individuals to produce



Legend. Each row represents an episode (an event) encoded as a memory trace. Each episode is composed of different, primarily sensorimotor, features. When an individual responds to his or her environment, a certain level of activation occurs within the system. This initial activation will diffuse to similar traces as a result of inter-trace activation. At the same time, intra-trace activation represents the diffusion of activation to the associated components of the activated memory trace(s) (already integrated, as indicated by the orange arrows). Attention (expectation) could make a memory trace more distinctive (as symbolized by the yellow background).

Figure 5.1: Schematic representation of Act-In based on the MINERVA II model (Hintzman, 1986).

behaviors which are both effective and appropriate in the situations in which they find themselves. Most of the time, the knowledge and behavior that are appropriate in a situation are those that have previously been associated with many earlier situations similar to the present situation. What is important is not the specificity of the current situation but instead its similarity with other previous situations. Consequently, if an individual is faced by a situation similar to many other previously experienced situations then the high level of inter-trace activation permits the rapid, automatic emergence of (categorical) knowledge and appropriate behaviors. The propagation of inter-trace activation therefore seems to be the general (default) rule governing functioning that is associated with the "cueing" of past experiences by the present experience.

In the case of discriminant memory activities, that is to say activities that require the "retrieval" of specific knowledge, the cueing by the current situation must act on traces of specific past situations. This is only possible if the current situation activates a limited number of traces of past situations, or in other words, if inter-trace activation is constrained and intra-trace activation is facilitated. Thus, the effectiveness of discriminant activities depends, on one hand, on the potential for a trace to be specifically reactivated and, on the other, on the potential of the current situation to reactivate specific traces.

The likelihood that a trace can be specifically reactivated depends on: i) its distinctiveness, and ii) the level of integration (or binding) of the components of the trace. The distinctiveness of a trace should be greater, the more specific the trace is, i.e. the more different it is from the other traces. At the level of the trace, it is necessary to make an important distinction between the components that are associated with the target information (the specific information that is to be subsequently retrieved), and other components associated with contextual information (temporo-spatial context, situational information, subject's activity, emotional state, etc.). As far as the target information is concerned, we postulate that what is important is the specificity of the trace in its entirety and not the specificity of each of the components of the trace. The specificity of a component should make all the traces in which this component occurs more accessible. This indicates why, the more closely bound (or integrated) the components of a trace are within a quasi-indissociable entity, the easier it should be for the corresponding trace to be reactivated in its entirety. Moreover, it should also be easier for a trace to be specifically reactivated, the more specific and easily retrievable its contextual components are.

It is clear that if the potential for a trace to be specifically reactivated is an important factor for the retrieval of specific information, the efficiency of this retrieval should also depend on the potential of the current situation to reactivate specific traces. The presence of specific characteristics might act as strong cues for the specific reactivation of traces that possess the same characteristics. Thus the presence of strong cues in the current situation might reduce the number of activated traces (by reducing what we refer to as "inter-trace activation"). These cues include, of course, the sensory properties (visual, auditory, olfactory, etc.) as well as properties that are closely associated with the gestures involved in the use of the objects (see the notion of affordance first proposed by [Gibson, 1977](#)). However, this activation also depends more broadly on the situation confronting the individual (situational context intentions/motivations, emotional state) as well as his or her activity.

However, we shall see that the content of the current situation is not only important for the retrieval of specific knowledge. It is also relevant for categorical knowledge and, more generally, for overall cognitive functioning. Knowledge is simply the result of the dynamic of cognitive functioning which is entirely dependent on the current situation (environment, subject's activity, emotional state, etc.). It is the situation that produces the knowledge.

5.2.3 Forming New Traces

The idea that inter-trace activation supports above all the emergence of categorical knowledge can also be found in the works that have addressed the question of the formation of the memory system. Thus, beyond the plasticity of the system that has been mentioned above, another specificity of the nervous system is its connectivity. A large number of inter-neural connections permit the extremely fast, quasi-simultaneous transmission of signals to areas distributed throughout the brain. These connections are formed gradually during the course of development. The cortex is in a state of permanent adaptation on the basis of the joint activity of all these neurons. It is the time-related correlations between the neuronal activities and between the neuron groups which makes it possible for these changes within the neuronal networks to occur.

These ideas lie at the heart of the Neuronal Darwinism advocated some twenty-five years ago by Gerald [Edelman \(1987\)](#). Edelman proposed that the properties of the nervous system change and adapt to the constraints imposed by the environment. This enables the gradual construction of functional circuits and neuronal groups which are themselves mapped in the brain. These cerebral maps are linked by numerous reciprocal and parallel connections. Consequently, the transfer of re-entrant signals takes place permanently as long as connections are established, thus permitting the simultaneous and coordinated selection of neuronal groups in different maps and helping to strengthen the interconnections between the cerebral maps, the neuronal groups and the neurons. The re-entrance mechanism makes it possible to implement systems for the categorization of environmental objects, through the selective coordination of neuronal objects.

Thus a large body of observations have shown that the cognitive system is first and foremost a categorization system that is constructed progressively on the basis of the situations with which individuals are confronted. This explains why the types of knowledge that are most easily able to emerge from the activity of this system are those which are categorical in nature.

Working from a cognitive viewpoint, many authors have attempted to describe the development of these categorization systems ([Goldstone, 2000](#); [Goldstone & Kersten, 2003](#); [Schyns, Goldstone, & Thibaut, 1998](#)). According to e.g. [Barsalou \(1999, 2005\)](#), the similarities between the various patterns of activation engendered by our different experiences result in the gradual acquisition of “representations” associated with all our sensory or motor modalities. Barsalou refers to these representations as perceptual symbols. According to this author, the progressive establishment of the categorization mechanism involves a number of stages. First of all, being confronted with an object triggers the activation of feature detectors

in the corresponding sensory areas (the activation of neurons that respond to edges, colors, orientations, but also to auditory, olfactory, or motor properties). At the same time as the sensory-motor representations (or sensory-motor maps) are being activated, neurons in the associative areas register the configurations of sensory-motor features. As different exemplars of the same category of objects (the same concept) activate similar sensory patterns, they should involve very similar populations of neurons. This neuronal reinforcement thus permits the construction (the abstraction) of modality-specific representations (perceptual symbols) and multimodal representations of the concept which involve both modality-specific areas and associative areas.

In the Act-In model, inter-trace activation explains both the rapid, automatic emergence of categorical knowledge and the evolution of the cognitive system as a categorization system. In fact, as we indicate above, it is difficult to dissociate the encoding mechanisms from those involved in knowledge emergence. The propagation of inter-trace activation simultaneously brings about the emergence of knowledge and modifications to the memory system. One cannot exist without the other. This leads us to consider the content of the traces and, more particularly, one of the objections raised in connection with the multiple trace models with reference to the independence and specificity of the memory traces. The multiple trace models hypothesize that there are memory traces which are specific to each experience and which are therefore independent of one another. As [Versace et al. \(2009\)](#) emphasized, "at the biological level, the memory traces are stored in neuronal networks with one and the same network being responsible for the encoding of multiple traces. The traces cannot therefore be individually identified and located in the neuronal networks. At the psychological level, the traces reflect the content of the current experience and the nature of the traces already present in memory which have been reactivated by the current experience" (p. 524). With reference to the mechanisms evoked in Act-In, we can say that the content of a trace also depends on the inter-trace and intra-trace activation mechanisms. The trace reflects the state of the memory system engendered by the experience more than it does the experience itself.

This mechanism provides another very good explanation of why the memory system is, above all, a categorization system. The content of the traces reflects not only the present experience but also the earlier traces that are globally the most similar to the present experience. A part of the remainder of this article will be devoted to the question of the emergence of categorical knowledge. However, this idea that the basic functioning of the memory system favors the categorization mechanism can also be applied to procedural knowledge. It is through repetition that motor or cognitive skills are acquired. Of course, this acquisition is only possible if the repeated activity is appropriate for the task to be performed. Here again, the different repetitions of the activity reinforce the similarities between

the various patterns of activation that are engendered. "Procedural" knowledge is adapted to a class of situations that share common characteristics. Of course, the situations for which this type of knowledge is appropriate (the situations that it "represents") are certainly less variable than in the case of "declarative" categorical knowledge.

As far as the emergence of specific knowledge is concerned, the existence of other mechanisms that are involved in the formation of the traces and the emergence of knowledge needs to be considered. How is the memory system able to "retrieve" the traces of specific experiences? We shall examine this question in greater detail below. However, at this point, we can already see that the re-emergence of specific traces is possible only if the components within the trace are sufficiently interlinked to be reactivated almost simultaneously. Act-In therefore assumes that the emergence of specific knowledge requires intra-trace integration during encoding, that is to say the integration of the components within the same trace.

What exactly does this integration mechanism refer to? [Versace et al. \(2009\)](#) assumed that "the term integration should be used when the addition of elementary components results in a new entity in which the elementary components are no longer differentiated." (p. 532). They illustrated their definition with reference to the McGurk effect (e.g. [McGurk & MacDonald, 1976](#)). The sound "BA" is perceived as "DA" when it is associated with lip-reading of the sound "GA". If it is true that integration very often results in an entity that is different from the sum of the components of the trace, we postulate in Act-In that the elementary components may still be independently accessible.

Seen from this perspective, integration is different from the unitization mechanism proposed by [Goldstone \(2000\)](#). According to Goldstone, during perception, features that co-occur and predict good categorization performance tend to be unitized together into a single unit. One striking characteristic of Goldstone's assumption is that when these unitized units are created, the underlying sub-units are no longer accessible (see also, [Perlman, Pothos, Edwards, & Tzelgov, 2010](#)). Moreover, these unitized units are thought to be functional and used within both the perception (for a review on categorical perception, see [Goldstone & Hendrickson, 2010](#)) and memory (e.g. categorization) processes. Goldstone also proposed a differentiation mechanism ([Goldstone & Steyvers, 2001](#)) which is in fact the reverse of unitization. Features which are perceived as fused (i.e., unitized) can come to be perceived as separated in response to certain pressures (i.e. perceptual discrimination). Furthermore, Goldstone argued that both of these mechanisms (unitization and differentiation) occur simultaneously during perception. Thus the features that underlie perception and categorization, as well as the links between these features, evolve as a function of the regularities present in an individual's experiences.

Despite the apparent similarity between Goldstone's unitization mechanism and the integration mechanism proposed in Act-In, it is nevertheless necessary to emphasize one crucial difference. Unlike the integration mechanism, the unitization mechanism primarily relates to integral units (see the distinction between integral and separable dimensions [Garner & Michigan, 1974](#)). In general, in the presence of integral dimensions, it is quite difficult to attend to one dimension without attending to the others. In the case of separable dimensions, however, this is relatively easy. Variations along one separable dimension cause no interference in the processing of the other dimensions. Once "unitized", the sub-units are no longer accessible, whereas in Act-In, it is perfectly possible for the components integrated in the trace to be activated separately even if this interactive activation almost systematically results in the propagation of activation and makes possible a sort of re-integration of the components during retrieval. This does not exclude the possibility, in the case of integral dimensions, that the integration mechanism may lead to a unitization of features.

The possibility that the elementary components integrated in a trace might be activated separately has been demonstrated by two studies performed by our team ([Labeye & Versace, 2007](#); [Labeye et al., 2008](#)). For example, [Labeye and Versace \(2007\)](#) used simple geometrical figures defined by three properties: their shape (circle or triangle), position (left or right), and color (red, blue, green, or yellow). The four stimuli (resulting from the combination of these 3 dimensions) were learnt by the participants during a learning phase during which they had to memorize the associations between the properties. The test phase consisted of a priming paradigm in which the prime was a colored screen and the target one of the geometrical figures presented in black and white, either to the left or the right of the fixation point. The participants had to decide whether the target figure appeared on the right-hand or left-hand side of the screen. The color prime corresponded to (i.e. had, in the learning phase, been associated with) either the same shape as the target or the other shape (same shape vs. different shape), on the one hand, and to the same or opposite position as the target (same position vs. different position), on the other. For one group of subjects the prime appeared for 100 ms and the target was presented immediately afterwards, thus resulting in an SOA of 100 ms. The authors assumed that a 100 ms SOA would be sufficient to permit the activation of the two components associated with the prime (its shape and position) but not their integration. The two components should therefore be activated independently. The authors predicted additive facilitatory effects of (a) congruency between the shape of the prime and that of the target and (b) congruency between the position of the prime and that of the target. For another group of subjects, the prime was presented for 500 ms, a duration that was expected to permit the integration of the prime components within a unitary trace. A priming effect should therefore have been observed only if the integrated trace resulting from the presentation of the prime shared all of its elementary components with the target, i.e. only when the

prime was associated with the same shape and position as the target.

The results confirmed the authors' predictions. These results show that integration requires a certain minimum length of time in order to occur. An examination of the literature reveals that, to date, the integration mechanism has primarily been studied in the fields of visual perception and attention. For example, the feature-integration theory developed by [Treisman and Gelade \(1980\)](#) supposes that two stages are involved in the visual identification of an object, with the initial stage consisting of a very rapid and parallel analysis (or detection) of the elementary characteristics of the object, i.e. its shape, color, orientation, size etc. The objects do not yet exist as entities at this level. The identification of the objects and the extraction of knowledge relating to them are thought to require the integration of the elementary characteristics. This integration would only be possible if attention is focused on a specific area of the visual field. This focusing of attention would make it possible to integrate all the elementary characteristics of the region in question.

However, ([Versace et al., 2009](#)) have already pointed out a fundamental difference between Treisman's model and the integration mechanism proposed in Act-In. Within the framework of Act-In, the sensory features discussed by Treisman are also memory features. Despite this difference, it can be seen that even in Treisman's model, integration is not immediate and requires the intervention of attentional processing.

In their earlier word-level studies, [Versace \(1998\)](#) and [Versace and Nevers \(2003\)](#) also assumed that if participants were allowed sufficient processing time to permit the integration of perceptual components (pre-lexical – that is to say orthographic and phonological – components) then they should construct integrated traces (i.e. whole-word or lexical traces). For instance, [Versace and Nevers \(2003\)](#) used a priming paradigm with a target task, namely a lexical decision task, that could not be performed solely on the basis of the orthographic and phonological properties of the target. Consequently, only the construction of memory traces that integrated these perceptual levels should be able to produce long-term priming effects. The authors hypothesized that when masked primes are presented for a brief period, priming arises from a pre-lexical activation of the orthographic and/or phonological components. That is why the influence of lexical frequency on priming has been observed only when the conditions of presentation of the prime have permitted the integration of the activated elementary dimensions and, consequently, the identification of the prime (e.g. [Forster, 2004](#); [McKone, 1995](#)). Their results showed that in the case of primes presented for 50 ms, repetition priming did not vary with the frequency of the targets and decreased as the interval between the prime and target (ISI) increased, before disappearing at an ISI of 3,000 ms, irrespective of the frequency of the words. In the case of primes presented for 700 ms, repetition

priming was systematically greater with rare words than with frequent words and remained significant at an ISI of 3,000 ms. This confirms the fact that when the time available to process the primes is very limited, priming effects arise from the early activation of the infra-lexical level since no effect of frequency on priming is observed. In contrast, when the time available to process the primes increases, the integration of the perceptual dimensions seems to permit the emergence of frequency effects on priming and priming seems to persist in the long term.

To conclude, these results clearly show that when subjects are confronted with multi-sensory experiences, they form memory traces which reflect the content of these experiences (or, in more general terms, the situation), and that the repetition of the associations between the components of the trace facilitates the subsequent emergence, at a conscious level, of forms of multimodal unitary knowledge. The remainder of this paper will concentrate on categorical and discriminant activities, by trying to show how the Act-In model sheds new light on certain results reported in the literature. We shall then attempt to show that by restoring long-term memory to a central position in cognitive functioning, Act-In has the advantage of considering overall cognitive functioning in a highly integrated manner. Finally, even though this theoretical article was not written to address these issues, we shall, in the conclusion, allude to the possible implications of Act-In in the field of neuropsychology and, more specifically, that of normal and pathological aging. Indeed, any proposed model of memory is valid only if it can be applied in various situations which reflect both normal and abnormal functioning.

5.3 Categorical Activities

The way we apprehend the world and the behavior that results from this depends on the way we categorize the objects in our environment. The ability to determine very quickly whether an object is heavy or light, living or inert, dangerous or harmless, is indispensable for the production of appropriate behavior. In consequence, the categorization process is crucial for global cognition ([L. Smith, 2005](#)). In our opinion, it therefore seems logical to assume that categorical activities are based on inter-trace activation (i.e., the underlying mechanism). If this is the case, the current situation is able to activate all the corresponding memory traces that share some features with this situation. Consequently, inter-trace activation permits the emergence of (categorical) knowledge that reflects the components which are most frequently found in the activated traces and which are therefore characteristic of classes of objects (or experiences).

5.3.1 The emergence of categorical knowledge

There is an abundant literature devoted to semantic knowledge. As a result, numerous models of semantic memory have been proposed from the 1970s onwards. Some of these models are based on the differences between semantic categories. One initial reason for this is the importance of categorization in cognitive activity. A second reason relates to the fact that patients have been regularly observed to exhibit category-specific disorders (for a review, see [Capitani, Laiacona, Mahon, & Caramazza, 2003](#)). A category-specific disorder consists of a processing deficit that is more marked for one knowledge category (or a small number of sub-categories) than for other categories that are processed better ([Caramazza & Mahon, 2006](#)). The most regularly reported dissociation is an impairment on living items, typically animals, and non-living items, typically tools, even though the reverse dissociation has also been reported ([Basso, Capitani, & Laiacona, 1988](#)). This phenomenon of category-specific impairment could therefore be explained by a distinction between ontogenetic or phylogenetic categories, or, alternatively, in terms of functional differences.

The first semantic model to focus on this difference between categories was probably the "sensory/functional theory" - SFT ([Warrington & Shallice, 1984](#)). This theory is both functional and structural in nature. According to SFT, living items are primarily defined in terms of their sensory properties whereas non-living items are primarily defined in terms of their functional properties (what they were created in order to do). In addition to the ratios between these constituents, the exemplars of these categories also differ more specifically at the level of certain of these properties, i.e. sensory properties in the case of animals and functional properties in that of objects. For example, a lion is distinguished from other animals by its appearance and its roar, whereas a desk differs from a table primarily in terms of its function (which allows people to work, arrange documents, etc.). Within this approach, a deficit in the processing of living items would be associated with a deficit in the processing of sensory knowledge such as a deficit relating to the visual properties associated with the item, for example. In contrast, a deficit in the processing of non-living items would be due to a deficit in the functional knowledge relating to these items. SFT assumes that knowledge is organized into semantic sub-systems which reflect the sensory or functional modality to which the knowledge relates.

A second hypothesis holds that our knowledge is organized on the basis of a priori distinctions between categories. Thus, the domain-specific knowledge approach ([Caramazza & Shelton, 1998](#)) holds that there is a difference between categories at the ontological, and consequently also at the neuronal, levels. This theory is primarily based on neuro-imaging studies that have demonstrated that distinct

areas of the brain are activated as a function of the processed categories (Marques, Canessa, Siri, Catricalà, & Cappa, 2008). This therefore suggests the existence of specific and relatively independent knowledge stores which are underpinned by brain regions that are themselves also distinct. Knowledge relating to living items is thought to be underpinned by the anterior temporal lobes whereas knowledge relating to non-living items is thought to proceed from more posterior regions of the same lobe. This hypothesis raises the problem that the stores themselves would increase in size on every newly observed dissociation.

A third hypothesis referred to as the OUCH model, standing for Organized Unitary Content Hypothesis (Caramazza, Hillis, Rapp, & Romani, 1990), considers that knowledge is organized based on the frequency of co-occurrence of the items or properties. Consequently conceptual properties which appear regularly together are stored close to one another in a semantic space in a way which leads to the creation of categories. A cerebral lesion that leads to a category-specific impairment would therefore result either from an impairment to a brain region that stores items having similar properties or from an impairment to a specific property that propagates to other related properties. This hypothesis is similar to the CSA hypothesis (Conceptual Structure Account).

Finally, this CSA hypothesis (Tyler, Moss, Durrant-Peatfield, & Levy, 2000) claims to be completely functional in nature and contrasts with the locational specificity of the domain-specific knowledge approach. This theory presupposes the existence of a single lexicon. Different types of relations are thought to exist between certain groups of items and specific properties, thus creating the different categories. Consequently, knowledge of "living items" would be characterized by a greater level of intra-category structural similarity than is the case for inanimate objects. The character "has a mouth" is almost always associated with the characteristic "has eyes". "Living" items therefore have relatively constant structural properties. In contrast, the correlation between their structural properties (such as their shape) and their functional properties is thought to be quite weak, unlike in the case of non-living objects. Thus, an animal's shape does not make it possible to predict the animal's behavior (carnivorous, timid, etc.). In contrast, non-living objects seem to be characterized by a low level of intra-category structural similarity but by strong links between shape and function (for example, a chair for sitting in). These different types of link between structural and functional properties would therefore explain why category-specific deficits may or may not be observed depending on whether the processing impairment is located at the structural level or the level of the relation between shape and function. This type of approach is connectionist and therefore holds that knowledge depends on highly distributed networks covering a large part of the brain as it is the case, for example, for visual aspects that are underpinned by the occipital lobe (Taylor et al., 2007).

Due to its essentially functional nature, the Act-In model more naturally resembles to the CSA approach. In effect, the domain-specific approach is intrinsically opposed to Act-In in that it defines a priori categories distributed to specific neuronal areas. Based on the profiles of impairments observed in semantic dementia, this type of approach also assumes that there is an amodal semantic hub that is underpinned by the anterior temporal lobes (Rogers et al., 2006). This hub would serve to extract the meaning and shared properties of items on the basis of abstract units (concepts). However, this supposed hub has been criticized on numerous occasions (Simmons & Martin, 2009). This domain-specific approach is therefore amodal whereas Act-In is based on modal knowledge.

The SFT model therefore has the advantage of defining the links between sensory and functional knowledge and categories. This type of link sits more readily within the framework of a sensory-dependent approach. However, such links are simple in nature and do not make it possible to account for the complexity of the clinical descriptions of patients with impairments on living items but no impairment of the sensory knowledge associated with these items (Sartori, Gnoato, Mariani, Prioni, & Lombardi, 2007). Furthermore, SFT hypothesizes the existence of multiple semantic stores which are organized by modality. This type of organization runs against to the postulates proposed in Act-In.

In contrast, the approach initiated within the OUCH model and, more particularly, the CSA theory, is compatible with the predictions that may arise from Act-In. Thus, CSA supposes that when individuals interact with the environment, they extract the properties related to each item. This probabilistic learning also leads to certain items which frequently share the same properties being grouped together. Categories are therefore created through the individual's experience as a function of the features shared by these items. This approach considers that there is a vast network which is distributed throughout the entire brain and which underpins properties rather than categories per se. Within the framework, category-specific impairments would be due to a degradation of the properties that differentiate the exemplars of a category such as a greater visual overlap in the case of animals (Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011). This hypothesis is supported by the finding that the perirhinal cortex is involved in high-level multisensory integration (Taylor, Moss, Stamatakis, & Tyler, 2006). CSA is therefore compatible with a modal definition of knowledge of the type proposed by Act-In.

5.3.2 Classical Results

Based on CSA, Act-In should also make it possible to account for category-specific effects. The definition of modal knowledge implies that the very essence of

this knowledge is based in these modal properties. The most important aspects are therefore the sensory and motor aspects (see the start of this article). Since living items, and animals in particular, are primarily based on these sensory characteristics (see Tyler et al., 2000), a restricted ability to access this category could be explained in terms of an impairment to perceptual processing. Evidence in support of this hypothesis has been aduced from observations of patients suffering from semantic dementia who also exhibit a high-level deficit in visual integration (processing of ambiguity) on semantic items only (Barens et al., 2010).

What is the situation for the other effects traditionally reported in the literature on categorization? For example, the prototype effect seems to run against to the functional models. A prototype is an exemplar that differs from the others through the fact that it is much more salient, such as a sparrow compared to a penguin in the case of birds. This differentiation is due primarily to the presence of more frequent or classical properties than are found in other exemplars of the same category (for example a classroom chair versus a designer chair). This facilitation can be observed in terms of a higher level of availability in memory as indicated by property verification tasks and, to an even greater extent, classification tasks (Cabeza, Bruce, Kato, & Oda, 1999). According to the prototype models, a category is created from prototypical exemplars. Classification is then performed by comparing the exemplar to be categorized to the prototype (Homa, Goldhardt, Burrue-Homa, & Smith, 1993). In contrast, the so-called exemplar models consider that each exemplar is stored individually and that classification proceeds via a comparison of the exemplar to be classified with all the other stored exemplars (Zaki et al., 2003). The evidence from a growing number of studies seems to be providing support for the exemplar models to the detriment of the prototype models (Goldstone & Kersten, 2003).

As a multiple trace model, Act-In naturally represents an extension of the exemplar-based approaches. While it is now accepted that concepts are defined by sets of features, we also know that certain features are characteristic of almost all the exemplars of a category (see the defining and essential features described by E. Smith, Shoben, & Rips, 1974), whereas others are typical of a category but are not necessarily shared by all the members of the category (the characteristic or accidental features described by (E. Smith et al., 1974)). Thus all the exemplars of a category are not equivalent. Some are more representative of the category than others. While all the members of a category possess defining features, only the most typical among them possess the characteristic features or, at least, the majority of these features. The most typical exemplars are considered as prototypes of their categories (e.g. Rosch & Mervis, 1975; Rosch, 1978). As we argue above, inter-trace activation permits the emergence of knowledge that reflects the components which are most frequently found in the activated traces and which are therefore characteristic of classes of objects. This means that inter-trace activation accounts for the emergence of prototypical knowledge.

Concepts do not differ solely in terms of their typicality. They are also distinguished by their level of inclusion or generality. For example, the concept "animal" is more inclusive (it contains many more elements) than the concept "fish" and is therefore located at a higher level of generality. It is conventional to differentiate between three levels of inclusion: the superordinate level (e.g., animal), the basic level (e.g., dog), and the subordinate level (e.g., poodle). The basic level is often considered to be the level that is most important in cognitive terms (for a discussion, see [Medin & Rips, 2005](#)). [Rosch, Mervis, and Gray \(1976\)](#) showed, for example, that basic level categories are preferred by adults when naming objects, are learned first by children, and are associated with the fastest categorization reaction times. [Rosch et al. \(1976\)](#) also showed that basic objects are the most inclusive categories whose members: (a) possess significant numbers of attributes in common, (b) have motor programs which are similar to one another, (c) have similar shapes, and (d) can be identified from the averaged shapes of members of the class.

However, as [Thibault \(1999\)](#) points out, the advantage of the basic level is probably linked to the properties of the concepts that exist at this level. Basic level concepts are both homogeneous (i.e., they share a large number of features) and distinctive (i.e., they possess many features which distinguish them from other concepts) whereas the categories at the subordinate level do not tend to be highly contrasted (e.g., a sparrow and a canary have many features in common) and, in contrast, the concepts at the superordinate level are not very homogeneous (e.g., birds and fish do not share many features). Basic level concepts provide the best compromise between maximizing within-category similarity and minimizing between-category similarity ([Medin & Rips, 2005](#)).

Thus instead of differentiating between concepts on the basis of their level of inclusion or generality, a better approach would be to differentiate between them on the basis of the homogeneity and specificity of the features associated with them. The progressive access to the different levels of generality can be fully explained in terms of the dynamic of inter-trace and inter-modal activation. Given that inter-trace activation first reflects the components which are most frequently found in the activated traces, it should permit the rapid emergence of basic level concepts. Basic level concepts are nothing other than the most prototypical perceptual "representations" (see the perceptual symbols described by [Barsalou, 1999, 2005](#)). Taking these basic level concepts as a starting point, it is then possible to access more specific knowledge (subordinate level concept) by restricting the inter-trace activation (for example, as a function of the requirements of the task which the subject is performing). However, it is also possible to access more general knowledge (at the superordinate level) through increased propagation of inter-trace and, more particularly, inter-modal activation.

Let us, for example, consider a banana (a basic concept according to, for

example [Hoffmann, 1982](#), but at the same time also a subordinate concept). This is characterized by shape, color, taste, smell and consistency, as well as by motor properties related to the way it is held etc. The concept of fruit (superordinate concept) is associated with a greater variety of shapes, smells, flavors and colors. What groups together the fruits is primarily the fact that they come from plants, are usually edible, and are associated with visual, olfactory, tactile, gustatory experiences etc. The same applies to the concept of food. Here again, food can be characterized on the basis of an extremely various range of features. What is specific to all the elements in this category is the fact that they serve to nourish us. They are associated with "food-related" experiences and consequently all the sensorimotor features which may characterize these experiences. Consequently the variations in the time taken to access concepts as a function of their level of generality or the number of exemplars characterizing them (e.g. [Collins & Quillian, 1969](#); [Landauer & Freedman, 1968](#)) are due to the time required for the propagation of activation within the multimodal memory traces.

5.4 Discriminating Activities

We can loosely describe this kind of ability as the probability of retrieving a particular memory trace in the context of a memory activity. Consequently the effectiveness of the system is determined by: 1) the potential for a trace to be specifically reactivated (e.g. [Nairne, 2006](#); [Nosofsky & Zaki, 2003](#)); 2) the potential of the current situation to reactivate a small number of traces (e.g. [Nairne, 2006](#)).

What kind of task can be used to measure this kind of memory ability? While such memory tasks are often thought of as "explicit" / "episodic" / "conscious" ways of testing memory ([Reder, Park, & Kieffaber, 2009](#)), we prefer to refer here to indirect and direct tasks ([Johnson & Hasher, 1987](#)). Direct tasks have been described as tasks involving a specific event from the subject's personal history (e.g. free recall, cued recall, recognition), whereas indirect tasks measure the effects of prior exposure to a given material on the processing of a subsequent motor or cognitive task in the absence of any explicit reference to earlier events (e.g. lexical decision, trigram completion, etc.).

How can a given trace be specifically reactivated? The answer is a) when it is distinctive from other traces (memory trace distinctiveness or isolation), b) when the link between its features is so strong (high level of integration of the features) that the activation of one of the features (by a probe) automatically results in the reactivation of the other features of the trace, and c) when the current situation has specific characteristics that act as strong cues for the specific reactivation of

traces which possess these same characteristics. We shall now look at these various points, not in the form of a presentation of the state of the literature relating to each of them, but simply to illustrate the fact that the Act-In framework makes it possible to explain a very large number of observations.

5.4.1 The distinctiveness effect

An examination of the literature on the distinctiveness effect (Geraci & Rajaram, 2004; R. Smith & Hunt, 2000; von Restorff, 1933) makes it clear that this effect is generally considered to be observable only with direct measures. A classical finding is that isolated information elicits better memory performance than non-isolated information (see, Schmidt, 1991). Consequently, distinctiveness is often described as a qualitative property of a memory trace. Recent work undertaken by our team has shown that distinctiveness effect can be observed using either an indirect (Brunel, Oker, Riou, & Versace, 2010; Oker, Versace, & Ortiz, 2009; Oker & Versace, 2010) or a direct (Brunel et al., 2010) measure of memory. However, if knowledge emerges from the dynamic of the system, distinctiveness should reflect a temporary state of the memory trace in a given task. In other words, the distinctiveness of the memory trace should vary along a continuum of similarity between memory traces (Cleeremans, 2008; Nosofsky & Zaki, 2003) and as a function of the task demands (i.e. indirect or direct, see Brunel et al., 2010).

This has been demonstrated by Brunel et al. (2010), who manipulated memory trace distinctiveness in a study phase by means of an isolation paradigm. Different levels of trace isolation were manipulated and tested: a "global" level of isolation between items that related to the overarching features involved in the memory trace ("living" words vs. "non-living" words), and a "partial" level of isolation ("sound" words vs. "silent" words), in which the difference between memory traces related only to one feature, i.e. a sound component which was either encoded or not encoded in the memory trace. Distinctiveness effects were observed in a series of memory tasks of increasing complexity, namely a lexical decision task, a recognition task and a free recall task. The authors hypothesized that the distinctiveness of a trace (isolation) improves subsequent access to it, but that, at the same time, the level of trace distinctiveness (level of isolation in the study phase) should determine the probability of conscious or explicit retrieval.

Their results supported this hypothesis. First, they observed that whatever the level of isolation, lexical decision was faster for old isolated items than for old non-isolated items and that old isolated items were recognized faster than old non-isolated items. Therefore, trace distinctiveness seems to increase perceptual fluency, because judgments (lexical decision, recognition decision) on distinctive

items are faster. Isolation changes the global level of memory access by affecting the context of memory traces so that isolated memory traces are accessed faster during retrieval operations.

Second, the authors observed that the manipulation of the level of trace distinctiveness selectively influences the conscious recollection of items. In the case of global isolation, distinctive traces are sufficiently distinct to reach the level of consciousness. As expected, distinctiveness effects were observed in terms of the degree of confidence expressed by the participants (isolated items were associated with a higher degree of confidence than non-isolated items) and the free recall percentage (isolated items were associated with a higher probability of recall than non-isolated items) but only in the case of global isolation. The authors concluded that trace distinctiveness improves subsequent access to the trace, while the level of trace distinctiveness also determines the possibility of conscious or explicit retrieval.

We have defined discriminant activities as activities that involve the retrieval of specific traces. However, trace specificity, which permits the conscious retrieval of the prior experience associated with the trace, is itself very often dependent on the situational information and the temporo-spatial context associated with the trace in memory. In effect, while the properties of objects remain relatively stable between situations, the situational and temporo-spatial context vary greatly from one experience to another. It is very often the context that specifies the episode (see, e.g., the encoding specificity principle of [Tulving & Thomson, 1973](#)). Thus the difficulty of what is referred to as episodic retrieval often lies in the problem of "putting the information back into context". There is considerable data showing that episodic retrieval is more effective in the case of information associated with particularly salient contexts (for a review, see, e.g. [Davies & Thomson, 1988](#), or, for a discussion of emotional contexts, see [Bower, 1994](#), or [Blaney, 1986](#)).

Thus, the efficiency with which specific (episodic) knowledge emerges depends on the specificity of this information as well as on the general context associated with the trace. We stated above that the specificity of the target information depends in particular on the strength of the link between its different components. Similarly, context specificity is of value only if there is a strong link between the contextual and the target information within the trace. In Act-In, the link between the components of the trace is fully dependent on the intra-trace integration mechanism.

5.4.2 The level of integration

The idea of the level of integration of the features within the trace represents a very intuitive concept. It refers to the strength of the link between the components

of 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 will therefore be specifically retrieved. Many factors may increase the level of intra-trace integration. These include, of course, the nature of the processing involved during encoding as well as the presence of multimodal information and the subject's emotional state.

Encoding manipulations

It has been repeatedly demonstrated that encoding manipulations produce strong effects on performance in direct tests, but do not affect repetition effects in indirect tests (for review, see [Richardson-Klavehn & Bjork, 1988](#)). The most frequently performed manipulations have consisted of modifying the level of processing (semantic vs. perceptual) or increasing elaborative processing at study time (e.g. [Craik & Lockhart, 1972](#); [Craik & Tulving, 1975](#); [Jacoby & Dallas, 1981](#)). Generally speaking, it is very clear that encouraging semantic processing at encoding time primarily improves performance on explicit memory tests. Some authors (e.g. [Roediger, 1987](#)) have even replaced the dissociation between explicit and implicit memory by an opposition between data-driven processing and conceptually driven processing. According to these authors, most indirect tests can be classified as data-driven because the subject is required to act in response to perceptual information provided by the experimenter (e.g. fragment completion, perceptual identification). In contrast, direct tests usually involve a significant amount of conceptually driven processing because the subject must mentally reconstruct the study episode (e.g. in free recall).

Within the framework of Act-In, these results can be explained in terms of the fact that encouraging semantic processing means both increasing the number of dimensions or components involved in the trace (increasing the multidimensional nature or richness of the information, to use more familiar terminology) and strengthening the link between these components, that is to say the level of integration of the features of the trace.

Multimodal encoding

Many studies have examined how multimodal encoding may be able to improve memory efficiency compared to unimodal encoding. For instance, according to the dual coding theory (e.g. [Paivio, 1990](#)), concrete words are more likely to evoke a mental image than abstract words. At the same time, when subjects have to memorize words, recall is better for concrete words (high imageability) than for abstract words (low imageability). To interpret these results, authors have

hypothesized that concrete words undergo dual encoding (imaging and verbal) which facilitates recall compared to abstract words which have only been subject to verbal encoding. However, this type of result is not specific to verbal material. Thus, [Thompson and Paivio \(1994\)](#) manipulated the nature of the encoding by presenting pictures alone, sounds alone, or sounds and pictures simultaneously. In a second, free-recall phase, they were able to demonstrate the advantage of the bimodal presentation over the unimodal presentations and interpreted their results within the framework of the dual-coding theory.

In a more recent EEG-based study, [Murray et al. \(2004\)](#) used a continuous recognition paradigm in which the subjects saw pictures which either were or were not accompanied by a sound. These pictures depicted animals or objects and were presented together with the sound naturally produced by them. For each picture, the subjects had to say whether or not the item was being presented for the first time. In this experiment, the authors manipulated the initial presentation condition of the pictures. When they were displayed for the first time, the presentation of the items could be visual only or could be accompanied with the naturally associated sound. The results showed that the pictures were recognized better at the time of the second presentation when they had initially been presented with a sound than when they had been presented in the visual modality only. Furthermore, the amplitude of the evoked potentials was greater for the items that were initially presented in the multimodal condition than for the items initially presented in the unimodal condition.

This study shows that a single multisensory presentation is sufficient to improve recognition performance. However, it does not permit any firm conclusions regarding the specificity of multisensory encoding. Other research conducted by the same team ([Lehmann & Murray, 2005](#)) has contributed to our understanding of this issue. Using the same paradigm as in 2004, [Lehmann and Murray \(2005\)](#) compared a condition in which the initial presentation of the picture was associated with a white noise (1000 Hz) and a condition in which the initial presentation was unimodal. The results showed that the correct response percentages were higher when the pictures were presented only visually than when they were associated with a white noise. It is therefore not the multisensory nature of the encoding in itself that explains the improvement in performance but instead the specificity of the multisensory components involved during encoding. A simple sound that is not related to the picture produces interference (see also the above-mentioned results reported by [Vallet et al., 2010](#)).

In a second set of experiments, the authors manipulated the semantic nature of the multisensory associations. In their congruent condition, the first presentation of the picture was either associated with a natural sound whereas in a second, non-congruent condition, it was associated with another sound (picture of a dog +

sound of a cat meowing). Finally, in the last condition, the initial presentation was visual only. Performances were better in the congruent condition than in the other two conditions. Consequently, the multimodal encoding of an item is beneficial only if the sensory features involved are components that are linked to (integrated in) the memory traces corresponding to this item. Thus, multimodality is beneficial because by increasing the "richness" of the trace and facilitating the "simulation" of the items, it also facilitates the integration of multimodal traces.

Role of emotion

We stated above that the emotional nature of experiences must be encoded at the level of the memory traces, and that the emotional nature of memory traces mainly corresponds to pleasant or unpleasant sensations that are associated with specific multimodal corporal states. However, even if it is possible to consider the existence of elementary emotional components forming the trace in the same way as sensorimotor components, emotion in Act-In corresponds more to an emergent state of the reactivation of traces of past experiences and this state is strongly linked to all the components in the trace. Emotion can therefore make a trace more accessible in two ways: on one hand, because it represents particularly salient information that facilitates the re-emergence of the corresponding trace (see [Bower, 1994](#)) and, on the other, because it acts as a common denominator for all the components in the trace.

In the latter case, emotion would make it possible to strengthen the link, or the level of integration of the various elements in an experience. Neuroscientific studies have produced arguments in favor of this hypothesis. Neuro-anatomical observations reveal that specific structures such as the prefrontal cortex and the hippocampal region seem to play an important role in integration mechanism ([Bechara et al., 1995](#); [Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996](#); [Goldman-Rakic, Scalaidhe, & Chafee, 2000](#); [Stuss & Alexander, 1999](#); [Ungerleider, 1995](#)). The prefrontal cortex occupies a particularly important location due to its numerous connections with many different regions of the brain (e.g., the convergence zones described by Damasio, [Damasio, 1989, 1994](#)). As far as the hippocampus is concerned, [Opitz \(2010\)](#) suggests that this structure might represent the substrate for the "relational binding" of the cortical representations of the items, actions, etc. and the spatio-temporal context which give the experience its unique character. These binding activities can be described in terms of relational operations which link together and organize the individual elements of the experience. However, numerous studies have also demonstrated that the nervous structures involved in integration are also involved in the emotional mechanisms (for a discussion, see [Versace et al., 2009](#)).

However, few behavioral studies to date have specifically tested the role of emotion in integration. In one of these, [Versace and Rose \(2007\)](#) conducted an experiment in which the participants initially had to judge the degree of association between pictures of objects or animals and sounds presented simultaneously with them. Each picture/sound pair was preceded by an image with a negative valence or by a neutral picture. In the second phase, the same object or animal pictures were presented to the participants, either associated with the same sound as in the first phase (sound congruent with picture) or associated with a sound different from that used in the first phase (non-congruent sound). In this second phase, the picture/sound pairs were always presented alone (without emotional induction). The participants had to indicate whether the picture and the word were congruent or not.

The results revealed an interaction between encoding condition (negative vs. neutral) and sound type (old/congruent vs. new/non-congruent): 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. On the contrary, when an old picture was associated with a new sound, it tended to be processed more slowly when it had been encoded in the negative condition than in the neutral condition. These results confirmed the fact that the encoding condition affected the strength of the link between the picture and the sound, and not only the strength of the memory trace of the picture and the sound. When this link was broken in the test phase, the responses slowed dramatically only in the negative encoding condition.

Thus, even though there are arguments in support of the role of emotion in the integration of the elementary components of traces, further studies are still required in order to confirm that this is indeed the case.

5.4.3 The potential of the current situation to reactivate specific traces

Since one of the functions of memory is to combine the current experience with past experiences ([Glenberg, 1997](#)), the characteristics of the current situation determine the re-evocation of traces. As we stated above, inter-trace and intra-trace activations spread on the basis of the properties that are directly activated by the current experience. Therefore, when subjects are confronted with a situation that is very similar to many other situations that have been experienced in the past, the high level of propagation of inter-trace activation permits the automatic, rapid emergence of categorical knowledge. Specific knowledge can therefore only emerge if the elements of the current situation lead, in contrast, to a very limited

level of inter-trace propagation. Thus the presence of strong cues in the current situation might reduce the number of activated traces. These cues include, of course, the sensory properties of the objects as well as the properties associated with the gestures involved in the use of these objects (affordance). However, due to the fact that they are not specific (to isolated traces), the sensorimotor properties of the objects involved in the subject's activity are, first and foremost, extremely useful for categorical activities and for the induction of behavior that is adapted to the use of the objects. If these properties are to facilitate the emergence of specific knowledge, they must be associated with specific traces and this is rarely the case.

In most cases, it is therefore the information linked to the situation confronting the individual (situational, representational, emotional context) that provides cues that lead to the reactivation of specific traces. This idea that context makes a crucial contribution to the effectiveness of memory is clearly not new since it can already be found (even though formulated differently) in the work of [Tulving and Thomson \(1973\)](#). If, as the encoding specificity principle states, the context at the time of encoding determines the content of the memory representation (the trace), then the effectiveness of a retrieval cue will depend on the similarity between the information supplied by this cue and the specific representation that results from encoding. This idea has given rise to a large body of work on contextual effects on memory (for a review, see [Davies & Thomson, 1988](#)). Within the structural approach, these context effects are thought to be specific to episodic memory, thus explaining why they are primarily observed in direct memory tests. According to Act-In, context effects should be observed as of the time when a specific item of knowledge is useful for the subject's activity, that is to say in both direct and indirect tests of memory.

This is precisely what was found by [Oker and Versace \(2010\)](#). The main objective of these authors was to confirm that the distinctiveness effect can emerge in implicit memory tasks and to show that the specificity of an item can be varied by manipulating the contextual information associated with the item during encoding. During an encoding phase and a test phase, participants had to categorize target words as referring to either artifacts or natural items. Each target word was associated with a context which consisted of a colored frame in which the word was presented. To manipulate the distinctiveness of the contextual information, three-quarters of the words were encoded with the same contextual information (frequent context) while the other quarter were encoded with another contextual information (rare context). In the test phase, the context effect was tested by presenting words with a context either of the same color as in the encoding phase or of the other color. The authors predicted that if the distinctiveness effect is due to the contextual information, then a change in contextual information between the encoding phase and the test phase should be more detrimental for items encoded with a rare (or specific) context than for items encoded with a frequent context. The results

confirmed this prediction: words presented with the same context were categorized more rapidly than words presented with a different context if they were presented in the rare condition during encoding, whereas no significant context effect appeared for words initially presented in the frequent context condition.

5.5 A grounding-based view of the link between memory and perception

The conception of memory proposed by Act-In is able to respond to many of the criticisms raised in the introduction to this article with regard to the multi-system models (for a discussion, see [Versace et al., 2009](#)). Another important advantage of Act-In lies in the fact that it restores long-term memory to a central position in cognitive functioning. Act-In has the advantage of considering overall cognitive functioning in a highly integrated manner. As [Versace et al. \(2009\)](#) concluded: "knowledge, the resulting states of consciousness, the evolution of these states of consciousness, and the ensuing behavior can all be described in terms of the successive states of a multimodal memory system". This integrated conception of cognitive functioning is particularly evident in the close association between the perceptual and memory mechanisms.

The perceptual and memory processes are often studied separately and it is the case that the description of the interactions between these mechanisms is highly dependent on the approach to memory adopted by the relevant author. In the literature, the interactions between perception and memory have long been explained in terms of top-down processes. This tendency is due to the long-held, dominant conception of an abstractionist memory that is independent of the sensory systems.

Since perception is considered to be strictly hierarchical and sequential (e.g. [Biederman, 1987](#); [Marr, 1982](#)), memory is consequently viewed as the final processing step that follows the perceptual stage. This step consists of a sort of comparison between the object derived from perception and a representational store present in memory. However, in these strictly bottom-up models, the mechanism responsible for the comparison between the result of perception and the representational store in memory has never been very well defined. That is why more recent models of perception accept the existence of top-down effects ([Bar, 2004](#); [Bar et al., 2006](#)). For [Bar \(2004\)](#) the top-down processes facilitate this correspondence. Initially, the low spatial frequencies of the image are very rapidly projected via anatomical shortcuts from the early visual areas to the prefrontal cortex. In the prefrontal cortex, these projections then simultaneously activate the possible interpretations of the input. These initial hypotheses are then projected back to the inferior temporal cortex

where their integration via the bottom-up process (Sigala & Logothetis, 2002) limits the possible number of candidates during the comparison between the percept and the representations stored in memory. However, here again, the perceptual and memory mechanisms continue to be dissociated and memory tends to be thought of as a store of amodal semantic representations.

Nevertheless, research in the field of categorical perception, while confirming the close links between perception and memory (Goldstone & Hendrickson, 2010) also suggest that these links can no longer be described in terms of reciprocal interactions. For example, Goldstone (1995) has shown that the perceived sensory differences between objects belonging to different semantic categories are accentuated. Two objects of the same color, one of which belongs to a category which tends to be red and the other to a category which tends to be purple, are not always judged to be the same color (see also, Niedenthal & Kitayama, 1994; von Hippel, Hawkins, & Narayan, 1994). Similarly, Hansen, Olkkonen, Walter, and Gegenfurtner (2006) have shown that an object's typical color (memory) has an influence on its perceived color. In the first phase, the participants had to adjust the color of familiar objects (fruit) and unfamiliar objects (spotlight) until they appeared as gray-scale images. In a second phase, the same participants had to adjust the color of familiar and unfamiliar objects displayed in gray-scale until they appeared in their original color. The results showed that the activation of the sensory memory traces (here the color of familiar objects) led the participants to adjust the original color of the objects more toward the opposite color (for instance, a yellow banana in the first set became a bluish banana by the end of the second set).

Another demonstration of the influence of memory on typically sensory mechanisms was provided by Coren and Enns (1993) who adapted the Ebbinghaus illusion for use with pictures of objects. If the object in the center belongs to the same category as those surrounding it then the illusion is stronger than if the object in the center and the surrounding objects belong to different categories. This effect of category similarity has also been observed in studies of attentional processes. The visual search for a target surrounded by distracters is more effective when the distracters are perceptually similar than when they are perceptually different (Humphreys & Müller, 1993; Treisman, 1988). Duncan and Humphreys (1989) consider that this effect is due to a perceptual grouping that makes it possible to exclude the distracters as a group. The visual search is therefore faster than when the distracters differ in nature. However, the same type of effect has been obtained by varying the homogeneity of the distracters at the memory rather than the perceptual level. Intra-category similarity (in memory) between the distracters results in a poorer differentiation of the exemplars belonging to one and the same category (e.g., Goldstone & Hendrickson, 2010).

Following the same line of research, our team recently revealed an effect of the

difference in typical size between a target and distracters in a visual search task based on a perceptual difference (Riou et al., 2011). The participants took less time to detect a difference in perceptual size when the difference in typical size between the target and the distracters was congruent with the perceived size difference than when it was not congruent. However, most of the models of attention consider the object selection process and the category selection process to be two distinct, serial processes. Thus, Treisman and Gelade (1980) claim that objects are selected before being categorized. Other authors, in contrast, think that objects are categorized before being selected (Norman, 1968). Finally, in the ITAM model (Instance Theory of Attention and Memory), Logan (2002) shows that the system can be faster and just as accurate if the object selection process and category selection process occur simultaneously.

The studies that we have mentioned above tend to suggest that perceptual and categorical (i.e., memory-related) mechanisms occur simultaneously. However, the crucial question is to determine whether the results reflect reciprocal interactions between the perceptual and memory processes (top-down mechanisms) underpinned by independent cognitive and neuronal systems or whether they point to the existence of shared systems or systems which, at least, possess significant overlaps. Demonstrating the simultaneity of the perceptual and memory mechanisms does not necessarily imply that there are shared neuronal systems and shared forms of "representations". Conversely, however, the involvement of shared forms of "representations" and systems implies that the mechanisms operate simultaneously and that influences between perception and memory are symmetrical.

The literature therefore reports many imaging studies that indicate the involvement of shared neuronal systems (see the studies mentioned above). These studies show that memory may have an influence at a very early stage (between 70 and 200 ms, see, Debruille, Guillem, & Renault, 1998; George, Jemel, Fiori, & Renault, 1997; O'Connor, Fukui, Pinsk, Kastner, & Others, 2002; Seeck et al., 1997), and that this influence occurs in the early processing areas (Cocchi et al., 2011), in particular V1 (Crist, Li, Gilbert, & Others, 2001; Fiorentini & Berardi, 1980; Gilbert & Wiesel, 1992; Gilbert, Sigman, & Crist, 2001; Kami & Sagi, 1993). Other works have also shown a symmetry in the influence exerted by perception and memory. Thus, van Dantzig et al. (2008) (see also, Vermeulen, Corneille, & Niedenthal, 2008; Vermeulen, Mermillod, Godefroid, & Corneille, 2009), asked participants to perform, in alternation, a perceptual detection task and a conceptual property verification task. The responses on the property verification task were slower for those trials that were preceded by a perceptual trial in a different modality than for those that were preceded by a perceptual trial in the same modality. According to the authors, this finding of a modality-switch effect across perceptual processing and conceptual processing supports the hypothesis that perceptual and conceptual representations are partially based on the same systems.

Thus even though many of the works referred to above have been interpreted in terms of distinct but interacting mechanisms, we have seen that a growing number of authors nevertheless now consider that perceptual and conceptual mechanisms are at least partially based on the same systems. If we accept, as Act-In suggests, that knowledge is constructed and (re-)emerges through the activation of neuronal systems that are typically associated with perceptuo-motor mechanisms then the content and functioning of memory are intrinsically linked to our past and present sensorimotor activities and, conversely, our sensorimotor activities are completely dependent on the memory traces of past sensorimotor experiences.

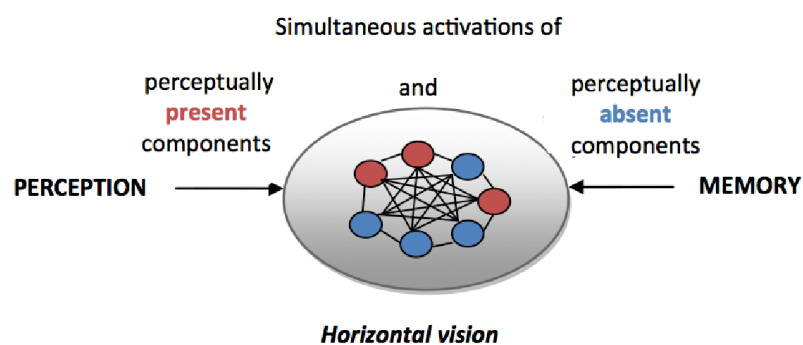


Figure 5.2: A 'horizontal' view of the relations between memory and perception

Act-In therefore proposes a radical change in the explanation of the links between memory and perception. This is referred to as a horizontal view (in contrast to the traditional vertical view) according to which both perception and memory result from the activation of components of multimodal traces of the same type. When the activity relates directly to the perceptually present components, these are perceptual mechanisms and, in contrast, when the activity relates to perceptually absent components (which are nevertheless activated by, and dependent on, the components that are present), these are memory mechanisms. During the perception of the sensorimotor characteristics present in the environment, the other components of the memory traces that are not perceptually present are activated and influence the perceptual mechanisms. In contrast, however, if we consider that the memory activities systematically involve the sensorimotor components of traces of past experiences, it is clear that the reactivation of these components is dependent on the perceptual content of the current situation and the individual's sensorimotor activity. It is therefore clear that it is difficult to dissociate memory mechanisms from perceptual mechanisms other than on the basis of the presence (perceptual processing) or absence (memory processing) of the characteristics of the objects involved in the processing. Thus not only the emergence of knowledge, but also behavior more generally, depend on the interactions between the present and activated components of traces.

5.6 Conclusion

To summarize, Act-In is a functional model of memory which has its roots in the multiple trace models and assumes that memory contains traces which reflect all the sensory, motor, and emotional components of past experiences. As in the multiple trace memory models, the knowledge present in memory is no longer considered to constitute representations, some of which are abstracted from their encoding context and therefore from the sensory systems which permitted their development whereas others are not. Instead, they are all considered to be anchored in their respective properties. This embodied view of cognition is necessarily and ontologically opposed to the structuralist approaches which define different forms of representations in order to explain the various manifestations of memory (semantic, episodic, etc.).

In Act-In, just as in the multiple trace memory models, knowledge is assumed to emerge from the activation, by the present experience, of multiple memory traces of past experiences. The main objective of Act-In is therefore to specify the mechanisms that are thought to lead to the emergence of different forms of knowledge, and in particular episodic and semantic (or categorical) knowledge. We assume that the nature of the knowledge that is likely to emerge depends on the dynamic of two mechanisms, namely inter-trace and intra-trace activation. Inter-trace activation refers to the spread of activation to and between the different traces, whereas intra-trace activation refers to the spread of activation between the dimensions of each individual trace. Inter-trace activation permits the automatic, rapid emergence of categorical (semantic) knowledge and appropriate behaviors. In contrast, the effectiveness of the "retrieval" of specific knowledge (discriminant memory activities) supposes that the current situation activates a limited number of traces of past situations. Thus inter-trace activation must be limited and intra-trace activation facilitated.

We have presented a number of experimental arguments in support of the hypotheses put forward in Act-In. However, the strength of a model also lies in its ability to explain and predict cognitive dysfunctions. In the field of memory, this means that the model must also be able to account for memory disorders. The value of studying neuropsychological memory disorders within the framework of Act-In and the functionalist models in general is all the greater given that dissociations in memory profiles are one of the key arguments in favor of the existence of multiple memory systems. In effect, if a patient exhibits episodic memory disorders even though his or her semantic knowledge remains intact, whereas another patient presents the opposite profile then it would seem logical, at least on an initial appraisal, to suppose that different memory systems underpin these different forms of memory (for a discussion, see [Dunn & Kirsner, 1988](#); [Dunn, 2003](#)). These profiles can be observed, for example, in the case of patients suffering from Alzheimer's

disease (episodic disorders) and those suffering from semantic dementia (semantic disorders). It is therefore essential that the functionalist models are able to propose credible interpretations and predictions of memory dysfunctioning.

It should be noted that only a small number of studies have genuinely tested neuropsychological disorders within the theoretical framework of functionalist theories. For example, [Zaki \(1998\)](#) showed that the double dissociation between categorization and recognition can be explained perfectly by non-abstractionist theories of memory. Of even greater interest is the fact that these same authors [Zaki et al. \(2003\)](#) have shown that when the categorization task is made more difficult, patients with amnesia exhibit a categorization deficit in addition to their recognition deficit. The authors concluded that the difficulty of the task (referred to as sensitivity) explains the apparent double dissociations between semantic tasks (categorization) and episodic tasks (recognition). This problem of task demand was also emphasized by van der Linden as early as 1991 ([Van der Linden & Bruyer, 1991](#)). These authors suggest that the results of comparing healthy subjects and amnesic patients may be due simply to the availability of the memory trace. For instance, amnesic patients have been found to perform as well as controls (cued recall, recognition, confidence in their recall) when they were tested one hour after learning and the controls a week later ([Shimamura & Squire, 1988](#), see also, [Jamieson et al., 2010](#)). This design created a "low learning" condition for the controls, with the result that memory strength may have been comparable in the two groups.

Another way of addressing episodic disorders in the functional approaches to memory is to focus on the role of the hippocampus. This brain structure is known to play a crucial role in episodic memory (e.g. [Tulving, 1995](#)). It is also of great importance for spatial processing (e.g. [Eichenbaum, Dudchenko, Wood, Shapiro, & Tanila, 1999](#)). A number of authors have therefore suggested that episodic disorders may also be explained in terms of deficit in the processing of the spatio-temporal context ([Bird & Burgess, 2008](#)). In support of this idea, it has recently been shown that the retrieval of episodic memories is influenced by the subjects' ability to represent themselves in space (egocentric updating) ([Gomez et al., 2009](#)).

The disconnection between the hippocampus and the other brain structures might also play a role in impairments to episodic memory ([Stoub et al., 2006](#)). Furthermore, Alzheimer's disease can be characterized as a disconnection syndrome ([Delbeuck et al., 2003](#)). In other words, these patients suffer from a neurological disorder which most greatly impacts on communication between the regions of the brain. This would result in a cognitive deficit that is more severe in situations requiring a transfer of information between different brain regions (e.g. [Delbeuck et al., 2003](#); [Stam et al., 2007](#)). This communication deficit could be partly due to episodic memory problems.

For their part, semantic disorders are frequently studied in semantic dementia. Indeed, this pathology is contrasted with Alzheimer's disease in order to provide support for the idea that multiple memory systems exist (Graham, 1999). However, a growing number of studies are now providing evidence of the relevance of connectionist or multiple trace models accounting for semantic deficits (Murre et al., 2001; Nadel, Samsonovich, Ryan, & Moscovitch, 2000). More generally, it would appear that the non-abstractionist approaches to memory are able to provide a more parsimonious account of semantic deficits as illustrated by Carbonnel (2000). The author has produced a critical summary which includes the classical compared to the non-abstractionist interpretations of various case studies involving semantic disorders. This indicates that semantic disorders are generally observed on specific categories or as a function of specific input modes (e.g. visual modality). According to the non-abstractionist approaches, semantic disorders can be explained in terms of the degradation of a certain type of property. A deficit in the processing of living objects could be explained in terms of a deficit in the processing of visual properties. This hypothesis, initially put forward within the Sensory/Functional Theory (Warrington & Shallice, 1984), has recently been revisited as a possible explanation for the semantic disorders observed in semantic dementia (see Barense et al., 2010; Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011).

Even though we have, to date, collected only little experimental data to corroborate our hypotheses concerning memory deficits, it should nevertheless be possible to account for these deficits on the basis of the mechanisms referred to in Act-In. As far as the emergence of semantic and episodic knowledge is concerned, we have said that these depend on inter-trace and intra-trace activation mechanisms, respectively. Impaired inter-trace activation can therefore explain a deficit in the emergence of semantic knowledge. A modality-specific (e.g., visual) impairment is therefore perfectly able to account for semantic disorders on specific categories of items for which this dimension is particularly important (e.g. animals, see Taylor, Moss, & Tyler, 2007), that is to say for which this dimension contributes significantly to inter-trace activation.

In contrast, Act-In explains deficits in the retrieval of specific, episodic knowledge in terms of the reduced effectiveness of intra-trace activation (which is specific to a given trace). As we have said, this type of activation is particularly dependent on the level of integration of the components of the trace. Consequently, the hypothesis that a communication deficit might in part be able to explain episodic retrieval disorders is entirely consistent with the idea that the effectiveness of the emergence of this form of knowledge is primarily due to the role played by integration.

To conclude, the proposals for the development of Act-In at the neuropsychological level are still at a relatively exploratory stage and a considerable amount of research remains to be undertaken. Nevertheless, this memory model is of interest

for two reasons. First of all because it allows us to formulate extremely precise hypotheses concerning both the efficiency of memory and its dysfunctions. These hypotheses are not only eminently credible but are also often more parsimonious than those defined in the structuralist approaches. They also have the advantage of making it possible to refute or invalidate the model. Finally, Act-In has the advantage of proposing a highly integrated view of cognitive functioning as a whole. Within such an approach, it is not possible to dissociate the perceptual mechanisms, the memory mechanisms, the mechanisms associated with mental imagery, or even the attentional mechanisms.

References

- Bar, M. (2004). Visual objects in context. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*, 617–629.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Schmidt, A. M., . . . Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*, 449–454.
- Barensse, M., Rogers, T., Bussey, T., Saksida, L., & Graham, K. (2010). Influence of conceptual knowledge on visual object discrimination: insights from semantic dementia and MTL amnesia. *Cerebral Cortex*, *20*, 2568–2582.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *The Behavioral and Brain Sciences*, *22*, 577–609.
- Barsalou, L. W. (2005). Abstraction as dynamic interpretation in Perceptual Symbol Systems. In L. Gershkoff-Stowe & D. Rakison (Eds.), *Building object categories* (Vol. 30322, pp. 389–431). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Basso, A., Capitani, E., & Laiacona, M. (1988). Progressive language impairment without dementia: a case with isolated category-specific semantic defect. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *5*, 1201–1207.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., Rockland, C., & Damasio, A. (1995). Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in humans. *Science*, *269*, 1115–1118.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1996). Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *6*, 215–225.
- Beisteiner, R., Höllinger, P., Lindinger, G., Lang, W., & Berthoz, A. (1995). Mental representations of movements. Brain potentials associated with imagination of hand movements. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *96*, 183–193.
- Bensafi, M., Sobel, N., & Khan, R. M. R. (2007). Hedonic-specific activity in piriform cortex during odor imagery mimics that during odor perception. *Journal of Neurophysiology*, *98*, 3254–3262.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115–147.

- Bird, C. M., & Burgess, N. (2008). The hippocampus and memory: insights from spatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*, 182–194.
- Blaney, P. (1986). Affect and memory: a review. *Psychological Bulletin*, *99*, 229–246.
- Bower, G. (1994). Some relationship between emotions and memory? In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The nature of the emotion: Fundamental questions* (pp. 303–305). New York: Oxford University Press.
- 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*, 310–317.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: sensory priming effects in semantic categorization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*, 955–964.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness: trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and Cognition*, *19*, 926–937.
- Cabeza, R., Bruce, V., Kato, T., & Oda, M. (1999). The prototype effect in face recognition: extension and limits. *Memory & Cognition*, *27*, 139–151.
- Capitani, E., Laiacona, M., Mahon, B., & Caramazza, A. (2003). What are the facts of semantic category-specific deficits? A critical review of the clinical evidence. *Cognitive Neuropsychology*, *20*, 213–261.
- Caramazza, A., Hillis, A., Rapp, B., & Romani, C. (1990). The multiple semantics hypothesis: multiple confusions? *Cognitive Neuropsychology*, *7*, 161–189.
- Caramazza, A., & Mahon, B. (2006). The organisation of conceptual knowledge in the brain: the future's past and some future directions. *Cognitive Neuropsychology*, *23*, 13–38.
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain the animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*, 1–34.
- Carbonnel, S. (2000). Les conceptions "système unique" de la mémoire : applications à la neuropsychologie. *Revue de Neuropsychologie*, *10*, 53–76.
- Casasanto, D., Willems, R., & Hagoort, P. (2009). Body-specific representations of action verbs: Evidence from fMRI in right-and left-handers. In H. Taatgen, NA and van Rijn (Ed.), *Proceedings of the 31st annual conference of the cognitive science society* (pp. 875–880).
- Clancey, W. (1997). *Situated cognition: On human knowledge and computer representations*. New York: Cambridge University Press.
- Cleeremans, A. (2008). Consciousness: the radical plasticity thesis. *Progress in Brain Research*, *168*, 19–33.

- Cocchi, L., Toepel, U., De Lucia, M., Martuzzi, R., Wood, S. J., Carter, O., & Murray, M. M. (2011). Working memory load improves early stages of independent visual processing. *Neuropsychologia*, *49*, 92–102.
- Collins, A., & Quillian, M. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *8*, 240–247.
- Connell, L., & Lynott, D. (2009). Is a bear white in the woods? Parallel representation of implied object color during language comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*, 573–577.
- Coren, S., & Enns, J. (1993). Size contrast as a function of conceptual similarity between test and inducers. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *54*, 579–588.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing : a framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *684*, 671–684.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*, 268–294.
- Crist, R., Li, W., Gilbert, C., & Others. (2001). Learning to see: experience and attention in primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, *4*, 519–525.
- Damasio, A. R. (1989). The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. *Neural Computation*, *1*, 123–132.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: emotion, rationality and the human brain*. New York: Putnam.
- Davies, G., & Thomson, D. (1988). *Memory in context: context in memory*. John Wiley & Sons.
- Debruille, J., Guillem, F., & Renault, B. (1998). ERPs and chronometry of face recognition: following-up Seeck et al. and George et al. *Neuroreport*, *9*, 3349–3353.
- Delbeuck, X., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Alzheimer's disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychology Review*, *13*, 79–92.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433–458.
- Dunn, J. C. (2003). The elusive dissociation. *Cortex*, *39*, 177–179.
- Dunn, J. C., & Kirsner, K. (1988). Discovering functionally independent mental processes: the principle of reversed association. *Psychological Review*, *95*, 91–101.
- Edelman, G. (1987). Neural Darwinism: the theory of neuronal group selection.
- Eichenbaum, H., Dudchenko, P., Wood, E., Shapiro, M., & Tanila, H. (1999). The hippocampus, memory, and place cells: is it spatial memory or a memory space? *Neuron*, *23*, 209–226.
- Ekman, P. (1984). Expression and the nature of emotion. In K. R. Scherer & P. Ekman (Eds.), *Approaches to emotion* (pp. 319–343). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : the potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, *91*, 451–471.
- Estes, W. (1996). *Classification and cognition*. New York: Oxford University Press.
- Farah, M. J. (2000). *The neural bases of mental imagery*. MIT Press.
- Ferrier, L., Staudt, A., Reilhac, G., Jiménez, M., & Montpellier, U. (2007). L' influence de la taille typique des objets dans une tâche de catégorisation. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *61*, 316–321.
- Fiorentini, A., & Berardi, N. (1980). Perceptual learning specific for orientation and spatial frequency. *Nature*, *287*, 43–44.
- Forster, K. (2004). Category size effects revisited: frequency and masked priming effects in semantic categorization. *Brain and Language*, *90*, 276–286.
- Frégnac, Y. (1996). Les palais corticaux de la mémoire visuelle. In F. Eustache, B. Lechevalier, & F. Viader (Eds.), *La mémoire : neuropsychologie clinique et modèles cognitifs (séminaire Jean-Louis Signoret)* (pp. 199–235). Bruxelles, Belgique: De Boeck Université.
- Garner, W., & Michigan, U. (1974). *The processing of information and structure*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- George, N., Jemel, B., Fiori, N., & Renault, B. (1997). Face and shape repetition effects in humans: a spatio-temporal ERP study. *Neuroreport*, *8*, 1417–1423.
- Geraci, L., & Rajaram, S. (2004). The distinctiveness effect in the absence of conscious recollection: Evidence from conceptual priming. *Journal of Memory and Language*, *51*, 217–230.
- Gibson, J. (1977). The Theory of Affordances. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gilbert, C., Sigman, M., & Crist, R. (2001). The neural basis of perceptual learning. *Neuron*, *31*, 681–697.
- Gilbert, C., & Wiesel, T. (1992). Receptive field dynamics in adult primary visual cortex. *Nature*, *356*, 150–152.
- Glenberg, A. (1997). What memory is for? *The Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 1–19.
- Glenberg, A., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*, 558–565.
- Goldberg, R. F., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2006). Perceptual knowledge retrieval activates sensory brain regions. *The Journal of Neuroscience*, *26*, 4917–4921.
- Goldman-Rakic, P., Scalaidhe, S., & Chafee, M. (2000). Domain specificity in cognitive systems. In *The new cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Goldstone, R. (1995). Effects of categorization on color perception. *Psychological Science*, *6*, 298–304.
- Goldstone, R. (2000). Unitization during category learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 86–112.

- Goldstone, R., & Hendrickson, A. T. (2010). Categorical perception. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*, 69–78.
- Goldstone, R., & Steyvers, M. (2001). The sensitization and differentiation of dimensions during category learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *130*, 116–139.
- Goldstone, R. L., & Kersten, A. (2003). Concepts and Categorization. In A. F. Healy & R. W. Proctor (Eds.), *Comprehensive handbook of psychology* (Vol. 3, pp. 599–621). Wiley.
- Gomez, A., Rousset, S., & Baciú, M. (2009). Egocentric-updating during navigation facilitates episodic memory retrieval. *Acta Psychologica*, *132*, 221–227.
- Graham, K. S. (1999). Multiple-trace theory and semantic dementia. *Neuropsychologia*, *37*, 87–89.
- Hansen, T., Olkkonen, M., Walter, S., & Gegenfurtner, K. R. (2006). Memory modulates color appearance. *Nature Neuroscience*, *9*, 1367–1368.
- Helbig, H. B., Graf, M., & Kiefer, M. (2006). The role of action representations in visual object recognition. *Experimental Brain Research*, *174*, 221–228.
- Hintzman, D. L. (1986). "Schema Abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, *93*, 411–428.
- Hoffmann, J. (1982). Representation of concepts and the classification of objects. In F. Klix, J. Hoffmann, & E. Van Dermeer (Eds.), *Cognitive research in psychology: Recent approaches, designs and results* (pp. 72–89). Amsterdam: North Holland Publishing Company.
- Homa, D., Goldhardt, B., Burrue-Homa, L., & Smith, J. C. (1993). Influence of manipulated category knowledge on prototype classification and recognition. *Memory & Cognition*, *21*, 529–538.
- Humphreys, G., & Müller, H. (1993). SEArch via Recursive Rejection (SERR): a connectionist model of visual search. *Cognitive Psychology*, *25*, 43–110.
- Jääskeläinen, I. P., Ahveninen, J., Belliveau, J. W., Raij, T., & Sams, M. (2007). Short-term plasticity in auditory cognition. *Trends in Neurosciences*, *30*, 653–661.
- Jacoby, L., & Dallas, M. (1981). On the relationship between autobiographical memory and perceptual learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *110*, 306–340.
- Jamieson, R. K., Holmes, S., & Mewhort, D. J. K. (2010). Global similarity predicts dissociation of classification and recognition: evidence questioning the implicit-explicit learning distinction in amnesia. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *36*, 1529–1535.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, *17*, 187–202.
- Johnson, M. K., & Hasher, L. (1987). Human learning and memory. *Annual Review of Psychology*, *38*, 631–668.
- Kami, A., & Sagi, D. (1993). The time course of learning a visual skill. *Nature*, *365*, 250–252.

- Kaschak, M., Zwaan, R. A., Aveyard, M., & Yaxley, R. H. (2006). Perception of auditory motion affects language processing. *Cognitive Science*, *30*, 733–744.
- Kellenbach, M. L., Brett, M., & Patterson, K. (2001). Large, colorful, or noisy? Attribute- and modality-specific activations during retrieval of perceptual attribute knowledge. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *1*, 207–221.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, *129*, 108–111.
- Labeye, E., & Versace, R. (2007). Activation and Integration of sensory component. In *XVth conference of the european society for cognitive psychology (ESCOP)*.
- Landauer, T., & Freedman, J. (1968). Information retrieval from long-term memory: category size and recognition time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *7*, 291–295.
- Laroche, S. (2011). Neuro-modélage des souvenirs. *La Recherche*, *1108*, 20–24.
- Lehmann, S., & Murray, M. M. (2005). The role of multisensory memories in unisensory object discrimination. *Brain Research*, *24*, 326–334.
- Logan, G. D. (2002). An instance theory of attention and memory. *Psychological Review*, *109*, 376–400.
- Marques, J. F., Canessa, N., Siri, S., Catricalà, E., & Cappa, S. F. (2008). Conceptual knowledge in the brain: fMRI evidence for a featural organization. *Brain Research*, *1194*, 90–99.
- Marr, D. (1982). A computational investigation into the human representation and processing of visual information. *San Francisco: Freeman and Company*.
- Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: structure and processes. *Current Opinion in Neurobiology*, *11*, 194–201.
- Martin, A., Haxby, J., Lalonde, F., Wiggs, C., & Ungerleider, L. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science*, *270*, 102–105.
- Martin, A., Ungerleider, L., & Haxby, J. (2000). Category specificity and the brain: the sensory/motor model of semantic representations of objects. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (Vol. 2, pp. 839–847). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, *379*, 649–652.
- McGurk, H., & MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, *264*, 746–748.
- McKone, E. (1995). Short-term implicit memory for words and nonwords. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*, 1108–1126.
- Medin, D., & Rips, L. (2005). Concepts and categories: Memory, meaning, and metaphysics. In K. Holyoak & R. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 37–72). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

- Medin, D., & Schaffer, M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, *85*, 207–238.
- Murray, M., Michel, C. M., Peralta, R. G. D., Ortigue, S., Brunet, D., Andino, S. G., & Schnider, A. (2004). Rapid discrimination of visual and multisensory memories revealed by electrical neuroimaging. *Neuroimage*, *21*, 125–135.
- Murre, J. M. J., Graham, K. S., & Hodges, J. R. (2001). Semantic dementia: relevance to connectionist models of long-term memory. *Brain*, *124*, 647–675.
- Myung, J.-Y., Blumstein, S. E., & Sedivy, J. C. (2006). Playing on the typewriter, typing on the piano : manipulation knowledge of objects. *Cognition*, *98*, 223–243.
- Nadel, L., Samsonovich, A., Ryan, L., & Moscovitch, M. (2000). Multiple trace theory of human memory: computational, neuroimaging, and neuropsychological results. *Hippocampus*, *10*, 352–368.
- Nairne, J. S. (2006). Modeling distinctiveness: implications for general memory theory. In R. R. Hunt & J. B. Worthen (Eds.), *Distinctiveness and memory* (pp. 27–46). New York: Oxford University Press.
- Niedenthal, P., & Kitayama, S. (1994). *The heart's eye: emotional influences in perception and attention*. Academic Press.
- Norman, D. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, *75*, 522–536.
- Nosofsky, R. M., & Zaki, S. R. (2003). A hybrid-similarity exemplar model for predicting distinctiveness effects in perceptual old-new recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 1194–1209.
- O'Connor, D., Fukui, M., Pinsk, M., Kastner, S., & Others. (2002). Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience*, *5*, 1203–1209.
- Oker, A., & Versace, R. (2010). No distinctiveness effect due to contextual information in a categorization task. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain & Cognition*, *26*, 1–9.
- Oker, A., Versace, R., & Ortiz, L. (2009). Spatial distinctiveness effect in categorisation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 971–979.
- Olivier, G. (2006). Visuomotor priming of a manual reaching movement during a perceptual decision task. *Brain Research*, *1124*, 81–85.
- Opitz, B. (2010). Neural binding mechanisms in learning and memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*, 1036–1046.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Pecher, D., Zanolie, K., & Zeelenberg, R. (2007). Verifying visual properties in sentence verification facilitates picture recognition memory. *Experimental Psychology*, *54*, 173–179.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, *14*, 119–124.

- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2004). Sensorimotor simulations underlie conceptual representations: modality-specific effects of prior activation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 164–167.
- Perlman, A., Pothos, E. M., Edwards, D. J., & Tzelgov, J. (2010). Task-relevant chunking in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*, 649–661.
- Proverbio, A. M., Del Zotto, M., & Zani, A. (2007). The emergence of semantic categorization in early visual processing: ERP indices of animal vs. artifact recognition. *BMC Neuroscience*, *8*, 24–40.
- Reder, L. M., Park, H., & Kieffaber, P. D. (2009). Reinterpreting memory in terms of activation and binding. *Psychological Bulletin*, *135*, 23–49.
- Richardson-Klavehn, A., & Bjork, R. A. (1988). Measures of memory. *Annual Review of Psychology*, *39*, 475–543.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory improves visual search. *Memory & Cognition*, *39*, 1094–1102.
- Roediger, H. (1987). Effects of varying modality, surface features, and retention interval on priming in word-fragment completion. *Memory & Cognition*, *15*, 379–388.
- Rogers, T. T., Hocking, J., Noppeney, U., Mechelli, A., Gorno-Tempini, M. L., Patterson, K., & Price, C. J. (2006). Anterior temporal cortex and semantic memory: reconciling findings from neuropsychology and functional imaging. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *6*, 201–213.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rosch, E., & Mervis, C. (1975). Family resemblances: studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, *7*, 573–605.
- Rosch, E., Mervis, C., & Gray, W. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, *8*, 382–439.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2002). Is an ant larger than a lion? *Acta Psychologica*, *111*, 141–154.
- Russell, J. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, *39*, 1161–1178.
- Sartori, G., Gnoato, F., Mariani, I., Prioni, S., & Lombardi, L. (2007). Semantic relevance, domain specificity and the sensory/functional theory of category-specificity. *Neuropsychologia*, *45*, 966–976.
- Schmidt, S. (1991). Can we have a distinctive theory of memory? *Memory & Cognition*, *19*, 523–542.
- Schyns, P. G., Goldstone, R. L., & Thibaut, J. P. (1998). The development of features in object concepts. *The Behavioral and Brain Sciences*, *21*, 1–17.
- Seeck, M., Michel, C., Mainwaring, N., Cosgrove, R., Blume, H., Ives, J., ... Schomer, D. (1997). Evidence for rapid face recognition from human scalp and intracranial electrodes. *Neuroreport*, *8*, 2749–2754.

- Setic, M., & Domijan, D. (2007). The influence of vertical spatial orientation on property verification. *Language and Cognitive Processes, 22*, 297–312.
- Shimamura, A., & Squire, L. R. (1988). Long-term memory in amnesia: cued recall, recognition memory, and confidence ratings. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 14*, 763–770.
- Sigala, N., & Logothetis, N. K. (2002). Visual categorization shapes feature selectivity in the primate temporal cortex. *Nature, 415*, 318–320.
- Simmons, W. K., & Martin, A. (2009). The anterior temporal lobes and the functional architecture of semantic memory. *Journal of the International Neuropsychological Society, 15*, 645–649.
- Slotnick, S. D. (2004). Visual memory and visual perception recruit common neural substrates. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, 3*, 207–221.
- Smith, E., Shoben, E. J., & Rips, L. U. (1974). Structure and process in semantic memory: a featural model for semantic decisions. *Psychological Review, 81*, 214–241.
- Smith, L. (2005). Emerging ideas about categories. In L. Gershkoff-Stowe & D. Rakison (Eds.), *Building object categories in developmental time* (pp. 159–173). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Smith, R., & Hunt, R. R. (2000). The effects of distinctiveness require reinstatement of organization : the importance of intentional memory instructions. *Journal of Memory and Language, 44*, 431–446.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing properties locally. *Cognitive Psychology, 169*, 129–169.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition, 32*, 244–259.
- Stam, C., Jones, B., Nolte, G., Breakspear, M., & Scheltens, P. (2007). Small-world networks and functional connectivity in Alzheimer's disease. *Cerebral Cortex, 17*, 92–99.
- Stanfield, R. A., & Zwaan, R. A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science, 12*, 153–156.
- Stoub, T. R., Stebbins, G. T., Leurgans, S., Bennett, D. A., & Shah, R. C. (2006). Hippocampal disconnection contributes to memory dysfunction in individuals at risk for Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*, 10041–10045.
- Stuss, D., & Alexander, M. (1999). Affectively burnt in: a proposed role of the right frontal lobe. In *Memory, consciousness, and the brain : the Tallinn conference* (pp. 215–227). Philadelphia: Psychology Press.
- Taylor, K., Moss, H., & Tyler, L. (2007). The conceptual structure account: a cognitive model of semantic memory and its neural instantiation. In J. Hart & M. Kraut (Eds.), *The neural basis of semantic memory* (pp. 265–301). Cambridge University Press.
- Taylor, K. I., Moss, H. E., Stamatakis, E. A., & Tyler, L. K. (2006). Binding

- crossmodal object features in perirhinal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*, 8239–8244.
- Taylor, K. I., Moss, H. E., & Tyler, L. K. (2007). *Neural basis of semantic memory* (J. Hart & M. A. Kraut, Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Thibault, J. (1999). Développement conceptuel. In J. Rondal & E. Esperet (Eds.), *Manuel de psychologie de l'enfant* (pp. 343–384). Hayen: Mardaga.
- Thompson, V., & Paivio, A. (1994). Memory for pictures and sounds: Independence of auditory and visual codes. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *48*, 380–398.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: the fourteenth Bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *40*, 201–237.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97–136.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Tulving, E., & Thomson, D. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, *80*, 352–373.
- Tyler, L. K., Moss, H. E., Durrant-Peatfield, M., & Levy, J. (2000). Conceptual structure and the structure of concepts: a distributed account of category-specific deficits. *Brain and Language*, *75*, 195–231.
- Ungerleider, L. (1995). Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory. *Science*, *7*, 769–775.
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- Vallet, G., Simard, M., Fortin, C., Versace, R., & Mazza, S. (2011). L'altération des connaissances sémantiques est-elle liée à une altération du traitement perceptif ? Étude des atteintes catégories-spécifiques dans la démence sémantique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, *9*, 327–335.
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-dependent knowledge in young and elderly adults: arguments from the cross-modal priming effect. *Current Aging Science*, *4*, 137–149.
- van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R. R., & Barsalou, L. W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cognitive Science*, *32*, 579–590.
- Van der Linden, M., & Bruyer, R. (1991). *Neuropsychologie de la mémoire humaine*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble (PUG).
- Vermeulen, N., Corneille, O., & Niedenthal, P. M. (2008). Sensory load incurs conceptual processing costs. *Cognition*, *109*, 287–294.
- Vermeulen, N., Mermillod, M., Godefroid, J., & Corneille, O. (2009). Unintended embodiment of concepts into percepts: sensory activation boosts attention for same-modality concepts in the attentional blink paradigm. *Cognition*, *112*, 467–472.
- Versace, R. (1998). Frequency and prime duration effects on repetition priming and

- orthographic priming with words and pseudowords. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *17*, 535–556.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Versace, R., & Nevers, B. (2003). Word frequency effect on repetition priming as a function of prime duration and delay between the prime and the target. *British Journal of Psychology*, *94*, 389–408.
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The role of emotion in multimodal integration. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, *21*, 1–9.
- von Hippel, W., Hawkins, C., & Narayan, S. (1994). Personality and perceptual expertise: Individual differences in perceptual identification. *Psychological Science*, *5*, 401–406.
- von Restorff, H. (1933). Über die Virking von Bereichsbildungen im Spurenfeld. *Psychologie Forschung*, *18*, 299–342.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, *107*, 829–854.
- Weinberger, N. M. (2004). Specific long-term memory traces in primary auditory cortex. *Nature Neuroscience*, *5*, 279–290.
- Wheeler, M. E. (2000). Memory's echo: vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*, 11125–11129.
- Whittlesea, B. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 3–17.
- Zaki, S. R. (1998). Dissociations between categorization and recognition in amnesic and normal individuals: an exemplar-based interpretation. *Psychological Science*, *9*, 247–255.
- Zaki, S. R., Nosofsky, R. M., & Jessup, N. (2003). Categorization and recognition performance of a memory-impaired group: evidence for single-system models. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *9*, 393–406.
- Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. H. (2002). Language Comprehenders Mentally Represent the Shapes of Objects. *Psychological Science*, *13*, 168–171.
- Zwaan, R. A., & Yaxley, R. H. (2003). Spatial iconicity affects semantic relatedness judgments. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*, 954–958.
- Zwaan, R. A., & Yaxley, R. H. (2004). Lateralization of object-shape information in semantic processing. *Cognition*, *94*, 35–43.

Synthèse intermédiaire

Cet article théorique a introduit le modèle Activation–Intégration (Act-In) qui se veut un modèle de mémoire incarnée. Basé sur les modèles à traces multiples dont celui MINERVA-II, Act-In définit une accumulation de traces épisodiques. Celles-ci gardent leurs propriétés initiales, c'est-à-dire que les connaissances sont modales. Les principales propriétés constituantes de ces traces seraient les aspects sensori-moteurs. L'activité catégorielle est placée au centre de l'activité cognitive et mnésique et repose sur des propriétés multimodales.

Deux principaux mécanismes prendraient place dans l'émergence des connaissances, l'activation et l'intégration. L'activation est un processus automatique et différencié en activation intra-trace et inter-traces. L'activation inter-traces représenterait la propagation de l'activation entre les traces à partir de leurs similitudes. Cette activation rendrait compte de l'émergence des connaissances sous formes sémantiques par l'abstraction des détails et des spécificités des traces individuelles. Au contraire, l'activation intra-trace correspondrait à la propagation de l'activation aux composantes associées à une trace et non perceptivement présentes. Cette activation serait fortement impliquée dans l'émergence des connaissances sous forme épisodiques par la (ré)-activation des différentes composantes de la trace. L'intégration est définie comme liant les différentes propriétés de la trace entre elles. Elle prendrait essentiellement place à la formation de nouvelles connaissances (encodage) et expliquerait en partie l'émergence des connaissances sous formes épisodique en renforçant les liens entre les composants de l'épisode.

Ces deux mécanismes devraient également permettre d'expliquer les dysfonctionnements mnésiques, dont les altérations épisodiques. Ainsi, des connaissances modales supposent qu'une dégradation de la perception se répercute par une dégradation de la connaissance (de son émergence) rendant la ou les trace(s) moins distinctives et donc plus difficilement récupérables. Cette hypothèse rend le vieillissement particulièrement pertinent pour l'étude des connaissances modales puisque cette population est caractérisée par une atteinte concomitante de la mémoire et de la perception.

Troisième partie

Des connaissances sensori-motrices : données chez les jeunes adultes et les personnes âgées

Chapitre 6

Sensory-dependent Knowledge in Young and Elderly Adults

Arguments from the Cross-Modal Priming Effect.

Guillaume Vallet^{1,2}, Martine Simard¹, and Rémy Versace²

¹ School of Psychology, Laval University, Quebec City, Canada

² Laboratoire EMC, Lyon2 University, Lyon, France

Publié dans *Current Aging Science*, 2011, 4, pp.137-149.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Dr. Bertin-Hugault (M.D.) for his precious help in the recruitment of some elderly participants, and the team members of the Hotelia Community Center for their participation to this project.

This work was supported by a grant from the Rhône- Alpes Region through the cluster “Handicap – Aging – Neurosciences”.

The authors also thank the editor Dr. Lahiri and the two anonymous reviewers for their very helpful comments.

Abstract

The nature of knowledge, *i.e.* sensory-dependent or abstract, is controversial. Growing evidence supports the existence of sensory-dependent knowledge in young individuals, but this question remains unexplored in elderly individuals. Thus the first objective of this study was to assess sensory-dependent knowledge in normal aging using a cross-modal priming paradigm. The cross-modal priming is a way to verify the nature of knowledge. However, contradictory results are reported about the existence of a cross-modal priming effect in normal aging. One possible explanation for the controversial findings is the priming task difficulty that would require too much executive resources in elderly participants and would prevent them to obtain a priming effect. Therefore, the second objective was to assess the executive involvement in the priming task. The method was based on a cross-modal priming paradigm with familiar bimodal items. First, all the sound primes were presented. For half of them, a visual abstract mask was presented simultaneously. Then, all the visual targets were processed. A battery of neuropsychological tests was administered to assess the involvement of executive functions in the priming paradigm. The results demonstrated a priming effect in the young and elderly participants, but only for the primes presented without the visual mask. The mask interference demonstrated the perceptual nature of the priming effect which supports the sensory-dependent theory of knowledge. The executive functions were correlated with the priming task only in the elderly participants. These results therefore support the task difficulty hypothesis.

Keywords: aging; cross-modal priming; memory; sensory-dependent knowledge.

6.1 Introduction

The nature of knowledge and how knowledge is organized in memory are fundamental questions still widely discussed nowadays (Mahon & Caramazza, 2009). The question whether knowledge is abstract or modal is central to the matter. The answer to this question clearly impacts on the understanding of mind and brain. The multiple-memory-system defenders suppose that abstract knowledge in the form of representations or concepts are stored somewhere in the brain. Sensory features would depend on sensory brain areas, whereas the meaning of these features would depend on associative areas in the temporal lobe (Cappa, 2008). Human memory would be composed by multiple and distinct memory systems (Tulving, 1995), and concepts would be especially dependent upon the semantic memory system. In this theoretical view, language, memory, and almost all the cognitive functions would communicate with the semantic system to access the meaning of an item in process. Clinical neuropsychologists generally rely upon the abstract knowledge theory to perform diagnostic evaluations and cognitive remediation in patients.

On the other hand, the defenders of grounded cognition describe knowledge as being grounded in simulations of actual experiences in sensorimotor systems. Therefore knowledge, keeping its perceptual (modal) nature (Barsalou, 2008), would emerge from the interaction between the individual and his environment. The different forms of knowledge would depend on different processes and would change according to the task demands (Versace et al., 2009). In this theoretical view, no abstract representation is needed. As a result, a unique memory system is sufficient to support all memory processes. If cognition is the simulation of actual experiences in the sensorimotor systems, then perception should be very close to memory. For instance, visual mental imagery could be understood as a specific activation of memory for visual events. Finally, knowledge would not be dependent upon the integrity of a limited cerebral area, but would rather be widely distributed in the brain.

Beyond the theoretical implications, this debate also has clinical implications such as how to assess memory and how to develop memory rehabilitation programs. As mentioned earlier, different memory systems are defined according to the view favouring abstract knowledge. These systems are supposed to be relatively independent from each other (Tulving, 1995). Consequently, each system shall be assessed independently. The rehabilitation strategies are then based on spared systems to compensate and/or to support the impaired one (Jean, Bergeron, Thivierge, & Simard, 2010). On the contrary, a unique memory system is described in the modal approach. According to this theoretical view, different processes instead of different (memory) systems shall be assessed. Thus the development of memory rehabilitation program shall target spared processes instead of spared (memory) systems. Another

remediation strategy would be to focus on the multimodal integration. Indeed, if the knowledge and our memories keep their sensorimotor features, then multimodal integration should be central in memory processing. For instance, memory remediation could focus on the link between perception and memory to improve memory performances by presenting stimuli in multiple modalities and then train the mental imagery about these modalities (e.g., Milev et al., 2008). The modal hypothesis lately found growing empirical support with experimental (Brunel et al., 2009, 2010) and neuroimaging (Molholm et al., 2007; Ungerleider, 1995) data.

These elements demonstrate how the question about the nature of knowledge is important. While growing evidence supports the modal approach in young adults (Versace et al., 2009), this approach remains unexplored in elderly individuals. However, the demonstration of sensory-dependent memory in normal aging is a mandatory step to validate the modal conception of memory and thus of cognition. Moreover, the validation of the modal approach could offer new explanations about the links observed in aging between sensory alterations and cognitive alterations (Valentijn et al., 2005). Therefore, the first objective of this research is to assess the nature of knowledge in healthy elderly.

The next question is then how to test the nature of knowledge. As multimodal features constitute the world, a way to assess knowledge is to test how these features are co-activated in the processing of multimodal items. If the different sensory modalities are co-activated directly, then knowledge should be sensory-dependent. Alternatively, if the co-activation is indirect, then the abstract hypothesis of knowledge should be true. The cross-modal priming paradigm is probably the best method to test this activation. Priming effects are supposed to reflect an implicit form of memory and to operate at a low-level of cognition (Schacter, 1992). Priming is the facilitation of the processing of one stimulus (*i.e.*, the target) by the previous presentation of another stimulus (called the prime). Priming paradigms can be in a short-term or long-term form. The target immediately follows the prime in the short-term form. In the long-term form all the primes are first presented in one phase, called the "study phase", and then all the targets are presented in a second phase, called the "test phase". The prime and the target can be: 1) the same stimulus, then the paradigm is called repetition priming (*e.g.*, cat-cat); 2) semantic-associated stimuli, then the paradigm is called semantic priming (*e.g.*, doctor-nurse); 3) the same stimulus but in different modalities, then the paradigm is called cross-modal priming (*e.g.*, "bark"-dog).

As mentioned above, the cross-modal priming represents one method to assess the nature of knowledge. The semantic or perceptual nature of this paradigm could correspond, respectively, to abstract or modal knowledge. The semantic nature hypothesis of cross-modal priming states that the priming effect results from an

amodal semantic processing of information (Clarke & Morton, 1983), which means an indirect activation of sensory modalities. On the contrary, the perceptual nature of the cross-modal priming paradigm supposes a perceptual and direct processing of information (Blaxton, 1989). Should the amodal semantic hypothesis be true, then the presentation of one component in one modality should activate the abstract conceptual representation in a lexicon (bottom-up). In a second time, this activation would activate all the associated features (top-down). The indirect activation of sensory modalities suggests that the cross-modal priming effect should not differ from the semantic priming effect. In this case, the abstract approach of memory would be supported (e.g., Tulving, 1995). On the contrary, if the perceptual hypothesis is validated, the presentation of one component in one modality should activate directly and automatically all the associated information of the memory trace, without any meta-representation. In this case, the sensory-dependent approach of memory would be supported (Barsalou, 2008).

To interpret the nature of knowledge, the cross-modal priming effect should be reliable. It seems to be the case in young participants (Schneider, Engel, & Debenner, 2008). However, the results on this effect are controversial in normal aging. If this effect is unreliable in healthy aging, then no conclusion could be drawn about the nature of knowledge in this population. Consequently, the secondary objective of the present study is to explore the reasons underlying the contradictory results observed in elderly participants using the cross-modal priming paradigm.

Inconsistent results for priming effects in aging are surprising. Indeed, as a basic form of memory function, this effect is supposed to be relatively pure and to be little influenced by other cognitive functions. Consequently, priming effects are known to be preserved in healthy aging and also in amnesia (Parkin, 1993). Nevertheless, some studies reported contradictory results for the repetition priming (Fleischman & Gabrieli, 1998), and for the cross-modal priming. Regarding the cross-modal priming, a first point to mention is that very few studies have been conducted on this topic which limits the conclusions. Two studies reported no cross-modal priming effect; they had used words as material in a word-stem completion task (Habib et al., 1996; McGeorge et al., 2002). The priming was assessed from auditory to visual modalities (McGeorge et al., 2002) or in the two-way modalities (Habib et al., 1996). A possible explanation for the lack of effect could be the conceptual difficulties associated with the tasks administered to the participants. In the repetition priming framework, Jelicic (1996) found no age effect on a perceptual implicit task (word-stem completion). However, an age effect was observed on conceptual tasks with both implicit (category production) and explicit (free recall) tasks. The authors thus suggested that aging involved difficulties in the conceptual processing compared to perceptual processing.

The hypothesis regarding task material or conceptual processing was contradicted by the results of Balota and colleagues (Balota et al., 1999). They found cross-modal priming in normal aging using words as material, but this time in a pronunciation task. A cross-modal priming effect was also observed in tactile and visual modalities using 3D objects in the two-way modalities (Norman, Crabtree, & Norman, 2006). Ballesteros, Gonzalez, Mayas, Garcia-Rodriguez, and Reales (2009) replicated these results with familiar material. They also demonstrated two-way priming effects between auditory and visual modalities in young and elderly participants. These data excluded the task material as a valid hypothesis to explain contradictory results on the priming effect in aging. In the literature, another explanation suggests that tasks requiring a response competition (*i.e.*, many possible correct responses, as in word-stem completion tasks) are altered in aging (Nyberg, Winocur, & Moscovitch, 1997). This kind of tasks probably involves executive functions, and thus a higher level of difficulty. Executive functions are often described as controlling and coordinating the other cognitive functions (Stuss & Alexander, 2000). According to Miyake et al. (2000), three main subfunctions of executive functions can be defined: shifting, updating and inhibition. A response competition as it is required in the word-stem completion task could be underpinned by inhibition demands. Supporting this hypothesis, significant correlations between word-stem completion priming paradigm and executive functions were reported in the elderly (Davis et al., 1990), and in young participants (Nyberg et al., 1997). These correlations indicate that the word-stem completion task could require high-level processing. Following the same idea, controlled aspects of attention such as those involved in priming are highly related to executive functions. Some data showed that attention was involved in the priming effects (Mulligan, 2003). If the priming effect and the word stem completion task in particular involve attention and executive functions, then the lack of priming effect in the elderly could be easily explained. Indeed, attention and executive functions are impaired in normal aging (Commodari & Guarnera, 2008; Greenwood, 2000).

The first objective of the present study is to assess the nature of knowledge in healthy aging through the nature of the cross-modal priming effect. The paradigm previously tested by Vallet et al. (2010) will be used to meet this objective. The authors developed an innovative long-term cross-modal priming paradigm using familiar bimodal items (sound-picture). The same categorization task of animals versus artifacts was used in the study and test phases. In the study phase, auditory primes were presented with a visual mask for half of the items. The mask shared the same modality as the target, but not as of the prime. Then, in the test phase, visual targets were presented according to three conditions: 1) new *i.e.*, no associated-sound heard in the study phase (*e.g.*, no sound then horse); 2) old-masked *i.e.*, associated-sound presented with the visual mask ("meow"+mask then cat) and 3) old *i.e.*, associated-sound heard before ("roar" then lion). A cross-modal priming effect

was observed between old and new conditions. The main result was that old-masked items were processed as new ones. The interference of the mask suggested that the nature of the cross-modal priming effect is perceptual and then supported the hypothesis of sensory-dependent knowledge.

The second objective of this study is to explore the task difficulty hypothesis to explain controversial results in cross-modal priming in aging. This hypothesis will be assessed through the possible links between the priming effect and executive functions. For this purpose, a neuropsychological battery was administered to the participants in addition to the experimental task. According to this hypothesis, the word-stem completion task involves high-level processing. On the contrary, an easier task such as the categorization task should not involve executive functions. Categorization appears to result from a matching process (Goldstone, 2000), and matching should be easier than selection among multiple choices. Therefore the categorization task is supposed to require a lower level of processing compared to the word-stem completion task because matching should be automatic. Consequently, the executive functions should be less involved in this task, at least in the young group. In the elderly group, correlations between the task and executive functions could still be observed because the elderly are known to recruit more resources than young adults to perform the same task (Vallesi et al., 2011). This overrecruitment of resources could result from the executive impairment observed in normal aging (Greenwood, 2000).

The general hypothesis of the present study infers that the results previously found by Vallet et al. (2010) will be replicated in the young participants and extended to the elderly participants. In addition, no correlations between executive functions and the experimental condition should be observed in the young group. At last, the elderly participants should have poorer performances on the executive tasks than the young participants, and could present some correlations between the task and executive functions. The specific hypotheses are the following:

1. If the elderly participants, as the young participants, do have sensory-dependent knowledge, then the sensory mask should interfere with the priming effect in the test phase. In other words, the participants shall process the old-masked items as if they were new.
2. If the categorization task is easier than the word-stem completion task, then a cross-modal priming effect should be observed in young and elderly participants.
3. If the elderly participants have an executive impairment, then their performance on the executive tasks should be more impaired than that of young

participants.

4. If the elderly participants compensate for their executive impairment, then they should recruit more resources than young participants to perform the categorization task. Thus executive functions of the elderly should be correlated with the study and test phases of the priming task.
5. If the categorization task itself is associated to executive functions in the elderly participants, then all the experimental conditions should be intercorrelated. In other words, the old condition should be associated to the old-masked and new conditions.
6. If the categorization task is easier than the word-stem completion task, then the executive functions should not be involved in the young participants. In other words, young participants shall not present any executive impairments and thus their performance on the priming task shall not be correlated with their performance on executive functions.

6.2 Methods

6.2.1 Participants

Two groups each involving 24 participants were formed: a group of students and a group of healthy elderly. The young adult group included 24 undergraduate and graduate students (15 women) recruited at Lyon 2 University (France). They had a mean age of 24.21 years (S.D. = 2.30; range = 21–31 years) and a mean of 14 years of education (S.D. = 1.7; range 12–17 years). The healthy elderly group was composed of 24 volunteers (16 women) recruited through public announcements and two community centers. The mean age of the group was 72.75 years (S.D. = 9.72; range = 61–89 years) and the mean educational level was 13 years (S.D. = 3.13; range 9–19 years). The educational level was not significantly different between the groups. The mean MMSE score was 28.54 (S.D. = 1.32). The participants had no history of medical or psychiatric disorder and none of them took psychoactive medication affecting the central nervous system at the time of the study.

A neuropsychological battery was administered to verify that none of the participants presented a cognitive disorder. All participants in the study were native French speakers and demonstrated adequate speech, visual and hearing performances.

6.2.2 Material

Stimuli of the priming paradigm

The experimental stimuli were the same as those used in our previous research (Vallet et al., 2010). Sixty bimodal items (photographs and sounds) were selected according to a pre-test experiment from 100 items picked up on the Internet. These items should be easily recognizable and as prototypical as possible. The pre-test assessed the sound-picture association in young and elderly participants (see Vallet et al., 2010). Thirty stimuli represented animals and 30 objects. All the photographs had the same format (393 x 295 pixels with a resolution of 72 x 72 dots per inch). All the sounds were presented for 1,000 ms. In addition, 10 visual color masks were created using Photoshop CS3 Mac in order to apply a ripple effect to 10 color pictures not included in these experiments. This procedure was meant to make the result impossible to be identified and thus to resemble to an abstract painting. Different masks were created to avoid a systematic association between the stimuli and a specific mask, and to avoid repetition. The experiment was conducted using a Macintosh MacBook Pro. Psycscope software X B53 (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993) was used to set up and manage the experiment.

Cognitive measures

The participant completed a battery of neuropsychological tests in addition to the tasks of the experimental paradigm.

- Mini-Mental State Examination (MMSE, Folstein, 1975): General cognition was assessed by the MMSE. This is a well-validated and reliable cognitive instrument that is short and easy to administer (Bravo & Hébert, 1998). It is divided into six sections: Spatial and Temporal Orientation, Registration, Recall, Attention/Calculation, Language and Construction. The maximum possible total score is 30.
- RL/RI-16 items test (Van der Linden, 2004): Verbal episodic memory was tested using the RL/RI-16 items test. This is the French version of the Selective Reminding Test (Buschke, 1973, 1984) in which the participant has to learn 16 words belonging to 16 different semantic categories. The learning phase ensures a deep encoding, because the participant has to name the item according to the given category. Encoding, free recall and cued-recall as well as recognition constitute the different paradigms of this test. In the present study, the sum of free recalls and the sum of cued-recalls were also considered.

- The Trail Making Test (TMT-A and TMT-B [Battery, 1944](#); [Lezak, Howieson, Loring, Hannay, & Fischer, 2004](#)): The TMT is a measure of visual tracking, attention, mental flexibility and psychomotor speed. This test has two parts. In both parts, the subject has to link the stimuli as quickly as possible and in the correct order. In the first part, the participant must link 16 numbers randomly set on the paper sheet. In the second part, the participant must alternately link 16 numbers and 16 letters. Time to complete the task as well as the number of errors are scored. A flexibility score was also calculated according to this formula: $TMTB(sec.) - TMTA(sec.)$.
- The Stroop test ([Stroop, 1935](#)): This test assesses inhibition and cognitive speed, and it has three parts. The first two parts, Words (W) and Colors (C), evaluate cognitive speed. The third part, Word-Color (WC), assesses the inhibition processes. In the W condition, participants read words about colors (red-green-blue). In the C condition, they name the color of small rectangles (the same colors used as in the W condition). At last, in the WC condition, the color of the printed word is different from the name (*e.g.*, “blue” is printed in red), and the participant has to name the color of the ink (*i.e.*, red and not "blue"). In all the conditions, the participants must read 100 items aloud. The reading time and the number of errors are registered for scoring. An inhibitory score is calculated according to this formula: $WC - (\frac{W+C}{2})$.
- The word fluency test ([Cardebat, Doyon, Puel, & Goulet, 1990](#)): This test assesses semantic memory and executive functions. The participants were first required to name as many words as possible beginning with a specified letter, *i.e.* “P” (‘P’ condition), and then as many animals as possible (‘Animals’ condition), each condition lasting two minutes.
- Forward and backward digit span ([Wechsler, 2000](#)): These tasks assess verbal working memory and attention.

6.2.3 Procedure and design

General procedure

The present study was in accordance with the ethical standards of the responsible committee on human experimentation (Lyon 2 University) and with the Helsinki Declaration of 1975, as revised in 2000. Informed written consent was obtained from each participant. Each participant was tested individually in sessions that lasted approximately 1.5 hours for the young participants, and about 2 hours for the elderly participants. Following a short clinical interview, the participants began the cognitive battery. They first responded to the MMSE, and then to the memory

test, the RL/RI-16 items. During the 15 minutes separating the last recall from the delayed recall, they completed the TMT, the Stroop task and the Digit Spans. This was followed by the word fluency test. At the end of the testing session, they performed the experiment described below.

Experimental Procedure

The participants were informed that they were participating in a study on reaction speed to visual and auditory stimuli. As illustrated in Figure 7.1, the participants heard 40 sounds in the study phase, each lasting 1,000 ms. Half of these sounds corresponded to animals and the other half, to objects. For half of the sounds, a visual mask was presented simultaneously. Each mask was associated with two different sounds. A trial began with a central fixation point displayed for 500 ms. 300 ms later, a 1,000 ms sound was presented bi-aurally through a stereo headset. Finally, a white screen was displayed for 3,000 ms or until the subject responded. Response logging started with the presentation of the sound. In the masked trials, a visual mask appeared at the beginning of the sound and continued to be displayed for 4,000 ms or until the end of the trial. The participants were asked to keep their eyes opened. They had to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the sound corresponded to an animal or to an object. They had to answer by pressing the appropriate key on the keyboard. The 40 experimental trials were preceded by 6 practice trials.

After the first phase (study phase), the participants had a 3-minute break. During this break, a simple discussion was engaged. Then, the participants were presented with the instructions for the test phase and began the practice trials. The test phase consisted in the categorization of 60 pictures. One third of these pictures were new (no corresponding sound had been presented in the study phase). One third corresponded to a sound presented without a visual mask in the study phase (old items). At last, the final third corresponded to a sound presented with a visual mask in the study phase (old masked items). The 60 experimental trials were preceded by 6 practice trials with new visual stimuli.

The trial sequences were similar to those used in the study phase, except that pictures placed centrally were presented instead of sounds. The presentation time was 1,000 ms and no mask was used. The participants had to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the pictures corresponded to an animal or to an object. Response logging started with the presentation of the picture.

For the study and test phases, the sounds and pictures were presented in a

random order. Three different lists were created so that each item was assigned to each condition (new, old-masked, old). These three lists were randomly assigned to participants. The response keys were counterbalanced for half of the participants.

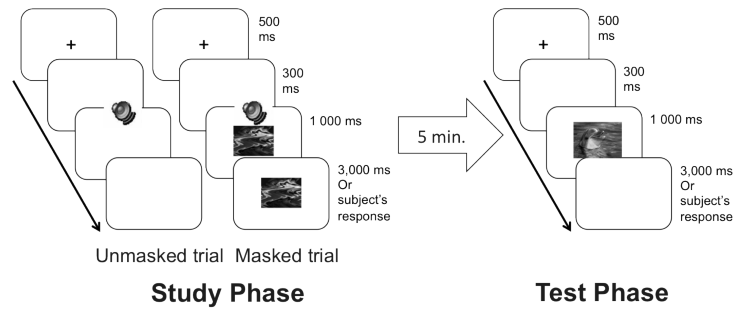


Figure 6.1: Illustration of the experimental protocol.

6.2.4 Statistical analysis

The data were first treated by Excel 2008 for Macintosh (Microsoft Corp.) and then analyzed using SPSS for Macintosh, version 18 (SPSS Inc.). The practice trials were not included in the analyses. The mean correct response latencies and mean rates of correct responses were calculated across subjects for each experimental condition. Response latencies exceeding 3000 ms or 2.5 standard deviations above each participant's mean, and response latencies less than 150 ms or 2.5 standard deviations below each participant's mean were treated as outliers. A significant difference between the groups was observed ($t(94) = 22.29, p < 0.01$) with <1% of the data being excluded in the young group and <2% in the elderly group. More important variance is often observed in aging (Salthouse, 2000). Separate repeated measures of analyses of variance (ANOVA) were performed on percentages of correct responses and correct latencies. The analyses of the study phase were performed according a 2 (age: young vs. old) x 2 (category: animal vs. artifact) x 2 (masking: masked vs. not masked) ANOVA with repeated measures for the last two variables. The test phase analyses were performed according a 2 (age: young vs. old) x 2 (category: animal vs. artifact) x 3 (item-type: new; old-masked; old) ANOVA with repeated measures for the last two variables. An alpha level of 0.05 was used for all the ANOVA tests.

The Pearson correlation tests were calculated between the score of executive functions and the experimental conditions in both phases. A more severe alpha level of 0.005 was set for the last analyses because of the multiple correlations, and the possibility of making type I errors.

6.3 Results

6.3.1 Experimental results

Study Phase

The data of the study phase are presented in Table 6.1. The analyses performed on correct responses revealed a main effect of the group, $F(1, 46) = 24.80, p < 0.05$ ($\eta^2_{\text{partial}} = 0.35$), with less errors committed by the young participants compared to the elderly (respectively 96% vs. 90% of correct responses). There were no other significant main effect or interaction. The participants in both groups registered a correct response rate superior to 90%. They thus performed the task accurately. The analyses of the latencies showed a main effect of the group, $F(1, 46) = 25.81, p < 0.05$ ($\eta^2_{\text{partial}} = 0.36$), with shorter latencies in the young compared to the old participants. The category was also significant, $F(1, 46) = 5.17, p < 0.05$ ($\eta^2_{\text{partial}} = 0.09$), with shorter latencies for animals. There was no other effect. There was no significant difference between the conditions (sound with or without a visual mask). Then, it seems that the visual mask had not interfered with the processing of auditory primes.

Table 6.1: Means and standard deviations for reaction times and correct response rates for young and elderly participants in the study phase.

		Animals (Means)				Artifacts (Means)			
		RT	SD	CR	SD	RT	SD	CR	SD
Young	Not-Masked	854	218.21	0.94	0.07	873	218.28	0.99	0.04
	Masked	841	192.26	0.95	0.07	855	200.36	0.96	0.07
Elderly	Not-Masked	1296	429.04	0.92	0.08	1401	533.26	0.89	0.09
	Masked	1323	445.16	0.89	0.13	1414	462.04	0.92	0.08

Note. RT = Reaction times; SD = Standard deviation; CR = Correct response rate.

Test Phase

The data of the test phase are presented in Table 6.2. The analyses performed on correct responses revealed a significant effect of the category, $F(1, 46) = 4.63, p < 0.05$ ($\eta^2_{\text{partial}} = 0.10$) with less errors for the animals than for artifacts. There was no other main effect or interaction. There might be ceiling effects because the overall correct response rate was 98% in both the young and elderly participants.

The analysis of latencies revealed a main effect of the group, $F(1, 46) = 25.23, p < 0.01$ ($\eta^2_{\text{partial}} = 0.35$) with shorter latencies in the young compared to the

Table 6.2: Means and standard deviations for reaction times and correct response rates for young and elderly participants in the test phase.

		Animals (Means)				Artifacts (Means)			
		RT	SD	CR	SD	RT	SD	CR	SD
Young	New	546	66.02	1.00	0.02	565	70.78	0.98	0.04
	Old-Masked	549	67.96	0.99	0.03	554	60.96	0.99	0.04
	Old	533	59.01	1.00	0.00	541	56.29	0.98	0.05
Elderly	New	807	269.00	0.99	0.03	860	267.81	0.98	0.04
	Old-Masked	786	241.56	0.98	0.04	856	261.62	0.97	0.05
	Old	750	230.31	0.98	0.04	823	271.69	0.98	0.04

Note. RT = Reaction times; SD = Standard deviation; CR = Correct response rate.

elderly participants. The category effect showed shorter latencies for animals than for artifacts $F(1, 46) = 20.46, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.31$). Data also demonstrated an item-type effect, $F(2, 92) = 28.46, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.38$). In addition, two interactions were significant, the category*group interaction, $F(1, 46) = 10.75, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.19$), and the item-type*group interaction $F(2, 92) = 4.93, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.10$).

These interactions were analyzed through separated ANOVA for young and elderly participants. In the young group, the results showed only a main effect of the item-type, $F(2, 46) = 11.65, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.34$). Planned comparisons (Tuckey's HSD) demonstrated that responses were significantly faster for old items than for new items, $p < 0.01$, and for old-masked items, $p < 0.01$. The difference indicated the presence of a cross-modal priming effect (-18.5ms). No significant difference was reported between new and old-masked items, $p = 0.34$. In the elderly group, the results showed a main effect of the category, $F(1, 23) = 20.26, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.47$), with shorter latencies for animals; and a main effect of the item-type, $F(2, 46) = 18.05, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.44$). Planned comparisons demonstrated that responses were significantly faster for old than for new items, $p < 0.01$, and for old-masked items, $p < 0.01$. The priming effect was more important in the elderly than in young participants with a gain of 47ms. No significant difference was found between new and old-masked items, $p = 0.46$. Consequently, the category*group interaction was supported by shorter latencies for animals in the elderly whereas no difference was observed in the young participants. The item-type*group interaction resulted from a more important difference between the conditions in the elderly participants, but they had the same pattern of results as the young participants.

In addition, the priming gain (old-masked subtracted from new; and old subtracted from new) were entered into a group by category and item-type ANOVA (for a similar procedure see (Curran, Schacter, & Galluccio, 1999)). This analysis showed a main effect of the group $F(1, 46) = 4.06, p = 0.049$ ($\eta_{partial}^2 = 0.08$), a main effect of the item-type $F(1, 46) = 41.80, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.48$) and an



Figure 6.2: Illustration of the interaction between the group and the item-type for the reaction times of priming gain (old conditions subtracted from the new condition) with the standard errors.

interaction group by item-type $F(1, 46) = 6.54, p < 0.05$ ($\eta_{partial}^2 = 0.12$).

The interaction was decomposed by separated analyses for the young and the elderly group. In the young group, the results demonstrated a trend for the category $F(1, 23) = 4.03, p = 0.06$ ($\eta_{partial}^2 = 0.15$) and a main effect of the item-type $F(1, 23) = 12.71, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.36$). A more important gain for the old – new compared to the old-masked – new condition was observed. In the elderly group, the results demonstrated only a main effect of the item-type $F(1, 23) = 29.10, p < 0.01$ ($\eta_{partial}^2 = 0.60$), with a more important gain for the new – old compared to the new – old-masked condition. Elderly and young participants had the same pattern of results (see Figure 7.2).

Discussion

This experiment focused on the nature of knowledge in normal aging. The nature of the cross-modal priming effect can address this issue (Vallet et al., 2010). The first objective of this study was to demonstrate that elderly participants have sensory-dependent memory as young participants do. The same method previously used in young participants (Vallet et al., 2010) was used in this study. It was a long-term cross-modal priming paradigm with a sensory (visual) mask. In the study phase, auditory primes were all presented. For half of them, a visual mask was displayed at the same time. Then, in the test phase, all the visual targets were presented. Three conditions were defined: 1) new *i.e.*, no associated-sound heard in the study phase 2) old-masked *i.e.*, associated-sound presented with the visual mask and 3) old *i.e.*, associated-sound heard before.

The first point to note is that no interaction and no main effect of the mask were observed in the study phase. As a consequence, the masked primes were processed similarly to the unmasked primes, in young and elderly participants. The elderly participants showed poorer performances with slower reaction times and less accurate responses than the young participants. These results are not surprising. Slowing (Salthouse, 1996) as well as poorer performances for auditory processing (Laurienti et al., 2006) are commonly reported in the literature on normal aging. However, the overall correct response rates remained good (>90%). At last, an effect of the category was observed in the study and test phases. The animals were processed faster than the artifacts. A possible explanation for this effect is provided by the Sensory/Functional Theory (Warrington & Shallice, 1984). According to this theory, the features of animals may be of a more perceptual nature than those of artifacts. On the contrary, the characteristics of artifacts may be more functional than those of animals. In the present case, animals would be processed faster because the task involved visual pictures. Another possible explanation is that frequency of the animals is greater than that of the artifacts. The frequency of the items was not controlled since no validated norms exist for the pictures and sounds used in the present study. Moreover, as the present work focused on the activation from one modality to another, the control of the frequencies was not crucial. Nevertheless, the important point to keep in mind here is that these data couldn't explain the results observed in the test phase.

In the test phase, the results demonstrated a main effect of the item-type and an interaction between the item-type and the group. This interaction resulted from a more important difference between the primed condition (old items) versus the other conditions (new and old-masked items) in the elderly group than in the young group. In other words, the priming effect was more important in the elderly group than in the young group. The gain observed in the present study (47ms) was similar to priming gain previously reported (e.g., 30ms, Balota et al., 1999). The results of the ANOVA on the priming gain confirmed these results. The same interaction was observed. The post-hoc analyses showed a more important effect size in the elderly group than in the young group. The post-hoc analyses demonstrated a priming effect for the old items compared to the new ones. In other words, the picture targets, which were preceded by the associated-sounds in the study phase, were processed faster than those with no associated-sounds.

The principal result concerns the masked items. Supporting the first hypothesis of the present study, these items were processed as if they were new. The old items were processed significantly faster than the old-masked items, in the young and elderly participants. This difference could be surprising because the old-masked items were processed as if the associated-sound has never been heard in the study

phase. A first explanation would be that the mask was a distracter of the sound primes processing. The distraction could result from a forward masking. In this case, the visual mask could have interfered with the perception of the target. Forward masking is observed for an interstimulus interval (ISI) inferior to 250 ms (Enns & Di Lollo, 2000). Yet at least 5 minutes separated the primes from the targets in the present study so that no forward masking should be observed. The distraction could also come from attention processing such as divided attention. However, no effect in the study phase supports this interpretation. In addition, the participants committed as many errors in the old-masked condition as they did in the other conditions. Finally, the priming gain demonstrated the same pattern of results. The reaction times of the old-masked items were near from the new items (the baseline), but the reaction times of the old items demonstrated a greater gain. Consequently, the mask seems to interfere with the target's processing, but not with the prime's processing itself. This specific effect demonstrates that the cross-modal paradigm is perceptual, and then supports the modal view of memory in normal aging. Therefore, these data replicate the results previously described in young participants (Vallet et al., 2010) and extend them to normal aging. According to the grounded cognition framework, the presentation of the sound has automatically activated the visual representation associated to it in memory. For example, "roar" activates the lion's visual representation. If the cognitive system must process additional visual information during the presentation of the sound, then this processing will interfere with the activation of the visual form associated to the sound. Supporting this hypothesis involves defining visual imagery as very similar to memory and then to perception as demonstrated by several studies (Ishai & Sagi, 1995; Slotnick & Schacter, 2006).

In summary, the experimental results demonstrated a cross-modal priming effect in healthy aging and in young adults. The nature of this effect appears to be perceptual as the mask interference suggests. The perceptual nature of the priming effect supports the sensory-dependent view of knowledge. Nevertheless, some studies did not report a cross-modal priming effect in aging. As detailed above, the best hypothesis to explain these contradictory results relies on the task difficulty. The results of correlation analyses described below will provide some information regarding this particular question.

6.3.2 Neuropsychological results

Cognitive profiles

The cognitive profiles of each participant and each group revealed no abnormal score compared with their respective population matched for age and education (according to the manuals of the tests). The two groups were compared to assess the age effect on cognitive performances. Almost all the results of neuropsychological tests were significantly different according to the results of the *t*-tests as presented in Appendix 6.A. However, the *t*-test on the recognition score and errors in the TMT-A were not significant. In summary, the elderly participants demonstrated poorer performances in tests of recall memory and executive functions. These results are commonly reported in the literature (see [Park & Gutchess, 2002](#); [Mather, 2010](#), for reviews).

Correlations

The correlation analyses were conducted on the study and test phases of the cross-modal priming focusing on tests of executive functions.

Study phase:

A first step was to examine if the two conditions, masked and unmasked, were correlated. In the young group, the reaction times were very highly correlated (0.94, $p < 0.001$), whereas the correct response rates were not correlated (0.22, $p = 0.30$). Consequently, the mean of the reaction times of the two conditions was calculated and used for the analyses. The analyses revealed no significant correlations for both the reaction times and the correct response rates.

In the elderly group, the reaction times of the two conditions were also very highly correlated (0.97, $p < 0.001$). However, the correct response rates were not significantly correlated (-0.12, $p = 0.59$). The mean of the reaction times of the unmasked and masked conditions was calculated and used for the analyses. The data demonstrated many significant correlations as illustrated in Table 6.3. As in the young group, no significant correlation was observed for the correct response rates in the elderly group. The masked condition was not distinct from the unmasked conditions in the correlation analyses, because the latencies of all the experimental conditions were highly intercorrelated. The correlations demonstrated that speed of the TMT-B, digit span, and the sum of the fluency tasks were associated to the priming task in the study phase. These tests are known to measure executive functions. The Stroop speed score and the speed of the TMT-A were also associated

to the priming task. These tests evaluate psycho-motor speed. Verbal working memory and attention could also be involved in the study phase because digit span was correlated to the priming task in the study phase.

Test phase:

In the young group, all the conditions for latencies were intercorrelated. The new condition was correlated to the old-masked condition (0.95, $p < 0.001$) and to the old condition (0.96, $p < 0.001$). At last, the old condition was correlated to the old-masked condition (0.95, $p < 0.001$). Regarding the correct response rates, the new condition was not associated to the old-masked condition (-0.12, $p = 0.58$) and to the old condition (0.05, $p = 0.84$). The old-masked condition was significantly correlated to the old condition (0.63, $p < 0.005$). The mean of the reaction times of the three conditions was calculated. The mean of the correct response rates of the two old conditions was also calculated. The analyses demonstrated only one significant correlation for the correct response rates. The old score was associated to the error score of the TMT-A (-0.62, $p < 0.005$). No significant correlation was observed regarding the latencies.

In the elderly group, the reaction times of the three conditions were highly correlated (0.99, $p < 0.001$ for each correlation). On the contrary, no significant correlation was observed for the correct response rates. The mean of the reaction times of the three conditions was calculated and used for the analyses. The results demonstrated many significant correlations for the latencies (see Table 6.3), but no significant correlation for the correct response rates.

Table 6.3: Correlations between the mean of the experimental conditions latencies and the cognitive measures in the elderly group for the study and test phases.

	Reaction Times	
	Study Phase	Test Phase
MMSE	-0.54**	-0.59**
Stroop speed	0.58**	0.46
Stroop interference	0.53*	0.72**
Stroop interference Error	0.45	0.76**
TMT A speed	0.63**	0.55**
TMT B flex speed	0.69**	0.75**
TMT A error	0.45	0.58**
TMT B flex error	0.51*	0.73**
Forward digit span	-0.59**	-0.46
Backward digit span	-0.36	-0.45
Sum-Fluency	-0.56**	-0.28

Notes. ** = $p < 0.005$; * = $p < 0.01$; Stroop speed = mean Stroop C+W; Stroop interference = $WC - ((W+C)/2)$; flex = flexibility (B-A).

As the latencies of all the experimental conditions were highly intercorrelated, the prime condition (*i.e.*, the old condition) was not distinct from the other conditions.

The correlations demonstrated associations between all the experimental conditions in the two phases with executive functions. More precisely, both speed and errors of the TMT, as both speed and errors of the Stroop interference were correlated to the priming task. The Stroop interference and TMT-B measured respectively inhibition and mental flexibility. In addition, psycho-motor speed, as evaluated by the TMT-A, was also associated to the priming task. The positive correlations indicated that better the elderly participants were on the Stroop and TMT, faster they were on the experimental paradigm. Finally, the word fluency task and the digit span were not associated to the priming paradigm.

Discussion

The second objective of this study was to explore the contradictory results reported in aging about the cross-modal priming effect. Understanding these contradictions is necessary to validate the experimental results supporting sensory-dependent knowledge in aging. The task difficulty hypothesis probably represents the best hypothesis to account for the discrepancies. This hypothesis states that elderly participants fail the tasks requiring too high level processing, such as the word-stem completion task. Supporting this hypothesis, previous studies had demonstrated that word-stem completion tasks involved executive functions (Nyberg et al., 1997; Davis et al., 1990) that is impaired in aging (Greenwood, 2000). Conversely, an easy task such as the categorization task should not involve executive functions in young adults. The present study focused on the associations between executive functions and the task of categorization used in the cross-modal paradigm. To this aim, a battery of neuropsychological tests was administered to the participants. These tests allowed to define the cognitive profile of the two groups and then to determine the cognitive functions involved in the categorization task used in the priming paradigm.

First of all, the neuropsychological results showed that the elderly participants had poorer executive functions and recall performance in memory than the young participants. This profile is commonly described in the literature (Park & Gutchess, 2002; Mather, 2010). The correlation analyses demonstrated that young and elderly participants presented a different pattern of correlations. In the young group, the data showed only a significant correlation in the study phase between the correct response rates for the old condition score and the error of the TMT-A. This association may indicate an involvement of the visual processing speed and attention in the priming task. However, no correlation was observed for the other tests requiring visual processing (*e.g.*, the Stroop) or attention (*e.g.*, digit span or Stroop). Moreover, no correlation was observed in the study phase. This isolated correlation appears not sufficient to draw any conclusion.

On the contrary, significant associations between the different experimental conditions and executive functions were observed in the elderly participants. In the study and test phases, the speed parts of the TMT (A & B) as the MMSE were associated to the latencies of the experimental conditions. The study phase could involve attention as the associations with the speed score of the Stroop, digit span and the verbal fluency scores suggest. The test phase could involve more executive functions as shown by the correlation with the Stroop interference score. Nevertheless, controlled attention and executive functions are very close or may even rely on the same cognitive construct (McCabe, Roediger III, & McDaniel, 2010). The involvement of executive functions in the performance of the priming task in the elderly probably reflects the impairment of their executive functions compared to the young participants. A first hypothesis would be that elderly participants could not perform the task as well as the young adults did. Yet different studies demonstrated that elderly need to over-function or over-use some resources in order to perform normally (Vallesi et al., 2011). As a consequence, a simple task such as the categorization task could require more attention and executive function resources from elderly than from young adults.

The highly correlated scores between the latencies of the experimental conditions suggest that the priming condition (*i.e.*, old condition) is associated to the other conditions (*i.e.*, new and old-masked). This pattern is observed for both the young and elderly participants suggesting that the old condition was associated to the other conditions. On the other hand, the correlations showed an association between the priming task and executive functions only in the elderly group; the young group did not demonstrate any implication of the executive functions in the task. Consequently, these results suggest that the categorization task itself, rather than the priming effect, would be associated to executive function in aging. In addition, a finding reported in the literature strongly suggests that the categorization task would be easier to perform than the word-stem completion task. Indeed a previous study reports that young participants presented significant correlations between the word-stem completion task and executive functions (Nyberg et al., 1997). Therefore, the present results, together with previous data, support the task difficulty hypothesis to explain the contradictory results on the cross-modal priming effect in healthy aging.

It is important to highlight the fact that the studies that didn't find a cross-modal priming effect in aging used a word-stem completion task. Consequently, the word-stem completion task is probably a task demanding too high-level processes to be efficient in a priming paradigm in the elderly participants. Supporting this hypothesis, Buckner (2004) showed that the executive impairment in aging led to impaired high-level memory tasks. Thus lower-level demanding tasks should be preserved. In addition, some recent results indicated an explicit contamination

in word-stem completion task. Geraci and colleagues (Geraci & Barnhardt, 2010) found that young participants had used explicit remembering to complete the task on the contrary to elderly participants. Therefore, the priming effect observed in the young participants versus the lack of effect in the elderly participants may partially be explained by explicit performances. Yet other factors are probably involved such as familiarity of the material (Ryan, Ostergaard, Norton, & Johnson, 2001). To conclude, defining a picture as being alive or not-alive (categorization task) is definitely an easier task than finding words beginning by three given letters (word-stem completion task).

6.4 General Discussion

The present research was conducted to assess the nature of knowledge in normal aging. This question follows our previous research in young adults (Vallet et al., 2010) that demonstrated sensory-dependent knowledge through the nature of the cross-modal priming. This question applied in aging addresses important points that will have an impact on future research. Indeed, the demonstration of modal knowledge in aging is a mandatory step to validate the grounded cognition theory. In addition, modal knowledge explains better than abstract knowledge some experimental results such as the links between sensory processing and cognition. In the future, the theory of modal knowledge may change the way to assess and to rehabilitate memory impairments in clinical groups.

The same cross-modal priming task previously used in young participants (Vallet et al., 2010) was used in this study. In the study phase, half of the auditory primes were presented with a visual mask. Then, in the test phase, the visual targets could belong to 1) the new condition *i.e.*, no associated-sound heard before 2) the old-masked condition *i.e.*, associated-sound presented with the visual mask and 3) the old condition *i.e.*, associated-sound heard before. The data replicated and extended to normal aging the results reported by Vallet et al. (2010). The mask had the same effect in the two groups with the mask items processed as the new items. This mask effect on the cross-modal priming effect supports the theory of sensory-dependent knowledge. Consequently, elderly adults would have sensory-dependent knowledge as young adults do (Brunel et al., 2009, 2010; Versace et al., 2009). These results demonstrated for the first time that normal cognition in young and elderly adults could be characterized by modal knowledge. These findings strongly support the grounded cognition theory. In this view, a unique memory system is defined and the memory traces keep the sensorimotor features. This framework supposes that altered perception should be associated to altered cognition. These associations are often observed in normal aging. For instance, strong connections between visual

and auditory acuity and general intelligence have been previously observed (Baltes & Lindenberger, 1997). Valentijn et al. (2005) especially found associations between executive functions and memory on one hand, and between executive functions and visual acuity on the other hand. Of course, different hypotheses are still possible to explain these results. One hypothesis states that a lower perception could induce a slower or a more difficult processing of the cognitive tasks (van Boxtel et al., 2000). Another hypothesis states that a common problem such as altered brain connections underlies both sensory and cognitive alterations (Christensen et al., 2001). However, these hypotheses received important criticisms (e.g., Scialfa, 2002). If knowledge is sensory-dependent, then a less accurate perception or a less efficient perceptual processing should decrease the precision of memories. Consequently, if memories are less defined, then it should be harder to distinguish them from others (Oker et al., 2009) such as in recall tasks, and they should be of poorer quality (Bernard, Desgranges, Eustache, & Baron, 2007). In the present study, the priming effect was observed because the executive alteration did not interfere with a more basic activation such as that needed in a categorization task.

Nevertheless, the cross-modal priming effect in aging was not always demonstrated in the literature. If this effect is not reliable, then it may invalidate the modal theory of memory. Thus, the second objective of the present study was to explore the task difficulty hypothesis to explain the contradictory results reported on the cross-modal priming effect in aging. In this aim, a battery of neuropsychological tests was administered to define the cognitive profile of the two groups of participants and to determine the cognitive functions involved in the priming paradigm. The results demonstrated that executive functions were not associated with the realization of the priming task in young adults. However, associations between executive functions and the priming effect were previously reported using the word-stem completion task (Nyberg et al., 1997). Consequently, the categorization task seems to be easier to perform than the word-stem completion task. The lack of cross-modal priming effect in word-stem completion tasks previously reported in aging could be attributed, to some extent, to the task difficulty.

Several correlations between executive functions and the latencies of the experimental (priming) task were observed in the elderly participants. Different explanations may account for this finding. Elderly participants probably require more resources than young adults in order to compensate their cognitive decline (Vallesi et al., 2011). Supporting this idea, the elderly presented poorer performances than the young adults on the cognitive tasks. Nevertheless, the priming gain was more important in the elderly group than in the young group. A second hypothesis would be that the elderly participants utilized more cognitive resources than the young adults to optimize their performance. The greater priming gain registered by the elderly participants was then probably due to the psychomotor

slowing normally found in healthy aging.

Another possible explanation could be that the elderly participants were more familiar with the items of the task (they knew it from a longer period of time) than the young participants; therefore the priming effect was more efficient in this group. A way to address this issue in future studies would be to compare the priming effect for new associations in elderly participants. In the past, few studies have demonstrated a lack of priming effect for new associations (Ergis et al., 1998). Yet the task used was again a word-stem completion. According to the task difficulty hypothesis, elderly participants should perform better on an easy task, such as the categorization task used by Brunel et al. (2009). Their study was based on new associations (white noise - geometric forms). It would be interesting to adapt this paradigm in aging.

A last hypothesis to explain the more important priming gain in the elderly would be the better sensory integration processing observed in the elderly adults. Indeed, different studies found that elderly adults have a better benefit from a multisensory presentation than young adults (Delbeuck et al., 2007; Diederich et al., 2008). Thus, the elderly participants may present a better priming gain because their integration processing is more powerful than that of young participants. Nevertheless, Laurienti et al. (2006) have shown that the gain observed in multisensory processing could be attributed to a poorer performance in the auditory processing. Consequently, the elderly may have a greater gain in multisensory processing because for them, a multisensory entry is superior to a unimodal entry.

The present study was exploratory and included several limitations. First of all, the cross-modal priming effect was demonstrated only from the auditory to the visual modality. This procedure was chosen due to the high level of variance previously reported for the visual-to-auditory direction (Vallet et al., 2010). As normal aging is often characterized by more important variance compared with young participants (Salthouse, 2000), it seems appropriate to choose a paradigm with as less variance as possible. Nevertheless, the theoretical framework of grounded cognition suggests that the effect could also be observed in the opposite direction, as demonstrated by Vallet et al. (2010). Secondly, the attentional hypothesis cannot be totally excluded. For example, the attention could have been divided due to the simultaneous presentation of the mask and the prime. Yet the correct response rates in both phases did not show any difference between the conditions, which tends to infirm the attention hypothesis to explain the mask effect. For the correlation analyses, some important limits regarding the present study must be stressed. The major point is that the correlation analyses were performed with only 24 participants per group. Consequently, it is difficult to generalize the results. This limitation was considered by adjusting the alpha level (0.005 vs. 0.05). In addition, the exploratory mandate of this study allows less restriction about the statistical corrections. Other studies with larger samples are required to confirm

the present results. The lack of significant correlations in the young group could reflect a lack of power, and could also indicate a ceiling effect. The lack of power appears improbable since significant results are observed in the elderly group. A ceiling effect could be possible for memory tests and the error part of the tests. Nevertheless, there is no reason for ceiling effect on the reaction time component of the cognitive tasks since time was not limited. In the future, complementary studies may reveal different patterns using more sensitive tests and/or larger samples.

Taken together, these results provide new explanations about the cross-modal priming effects in normal aging, but mostly, they support the theory of sensory-dependent knowledge in memory. Demonstrating sensory dependent knowledge both in the young and elderly participants offers new research possibilities. From a clinical point of view, sensory-dependent (modal) knowledge may partly explain the cognitive alterations found in the elderly. For instance, the poorer quality of their memories compared to those of young adults could be caused by altered sensory perception. Moreover, new memory stimulation/rehabilitation programs may eventually be developed from a modal approach of memory. Of course, the present results need to be replicated and extended with the development and utilization of new paradigms. At last, neuroimaging studies could also provide interesting data as illustrated by several previous studies ([Nyberg et al., 2000](#); [Wheeler & Buckner, 2004](#)).

References

- Ballesteros, S., Gonzalez, M., Mayas, J., Garcia-Rodriguez, B., & Reales, J. (2009). Cross-modal repetition priming in young and old adults. *The European Journal of Cognitive Psychology, 21*, 366–387.
- Balota, D. A., Watson, J. M., Duchek, J. M., & Ferraro, F. R. (1999). Cross-modal semantic and homograph priming in healthy young, healthy old, and in Alzheimer's disease individuals. *Journal of the International Neuropsychological Society, 5*, 626–640.
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging, 12*, 12–21.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology, 59*, 617–645.
- Battery, D. (1944). *Army individual test battery: Manual of directions and scoring* (A. G. O. Washington (DC). War Department, Ed.).
- Bernard, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Baron, J. (2007). Neural correlates of age-related verbal episodic memory decline: a PET study with combined subtraction/correlation analysis. *Neurobiology of Aging, 28*, 1568–1576.
- Blaxton, T. (1989). Investigating dissociations among memory measures: Support for a transfer-appropriate processing framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 15*, 657–688.
- Bravo, G., & Hébert, R. (1998). Age-and education-specific reference values for the mini-mental and modified mini-mental state examinations derived from a non-demented elderly population. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 12*, 1008–1018.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: sensory priming effects in semantic categorization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*, 955–964.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple

- factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, *44*, 195–208.
- Buschke, H. (1973). Selective reminding for analysis of memory and learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *12*, 543–550.
- Buschke, H. (1984). Cued recall in amnesia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *6*, 433–440.
- Cappa, S. F. (2008). Imaging studies of semantic memory. *Current Opinion in Neurology*, *21*, 669–675.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., & Goulet, P. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performance et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau culturel. *Acta Neurologica Belgica*, *90*, 207–217.
- Christensen, H., Mackinnon, A. J., Korten, A., & Jorm, A. F. (2001). The "common cause hypothesis" of cognitive aging: evidence for not only a common factor but also specific associations of age with vision and grip strength in a cross-sectional analysis. *Psychology and Aging*, *16*, 588–599.
- Clarke, R., & Morton, J. (1983). Cross modality facilitation in tachistoscopic word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *35*, 79–96.
- Cohen, J., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). Psyscope: an interactive graphic system for designing and controlling experiments in the psychology. *Behavior Research Methods*, *25*, 257–271.
- Comodari, E., & Guarnera, M. (2008). Attention and aging. *Aging Clinical and Experimental Research*, *20*, 578–584.
- Curran, T., Schacter, D., & Galluccio, L. (1999). Cross-modal priming and explicit memory in patients with verbal production deficits. *Brain and Cognition*, *39*, 133–146.
- Davis, H., Cohen, A., Gandy, M., Colombo, P., van Dusseldorp, G., Simolke, N., & Romano, J. (1990). Lexical priming deficits as a function of age. *Behavioral Neuroscience*, *104*, 288–297.
- Delbeuck, X., Collette, F., & Van der Linden, M. (2007). Is Alzheimer's disease a disconnection syndrome? Evidence from a crossmodal audio-visual illusory experiment. *Neuropsychologia*, *45*, 3315–3323.
- Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia*, *46*, 2556–2562.
- Enns, J., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 345–352.
- Ergis, A., Van der Linden, M., & Deweer, B. (1998). Priming for new associations in normal aging and in mild dementia of the Alzheimer type. *Cortex*, *34*, 357–373.
- Fleischman, D., & Gabrieli, J. (1998). Repetition priming in normal aging and Alzheimer's disease: a review of findings and theories. *Psychology and Aging*, *13*, 88–119.

- Folstein, M. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, *12*, 189–198.
- Geraci, L., & Barnhardt, T. (2010). Aging and implicit memory: examining the contribution of test awareness. *Consciousness and Cognition*, *16*, 606–616.
- Goldstone, R. (2000). Unitization during category learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*, 86–112.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *6*, 705–726.
- Habib, R., Jelicic, M., & Craik, F. (1996). Are implicit memory deficits in the elderly due to differences in explicit memory processes? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *3*, 264–271.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, *268*, 1772–1774.
- Jean, L., Bergeron, M., Thivierge, S., & Simard, M. (2010). Cognitive intervention programs for individuals with mild cognitive impairment: Systematic review of the literature. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, *18*, 281–296.
- Jelicic, M. (1996). Effects of ageing on different explicit and implicit memory tasks. *European Journal of Cognitive Psychology*, *8*, 225–234.
- Laurienti, P., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, *27*, 1155–1163.
- Lezak, M., Howieson, D., Loring, Hannay, J., & Fischer, J. (2004). *Neuropsychological assessment* (Fourth ed.; N. Y. O. university press., Ed.).
- Mahon, B., & Caramazza, A. (2009). Concepts and categories: a cognitive neuropsychological perspective. *Annual Review of Psychology*, *60*, 27–51.
- Mather, M. (2010). Aging and cognition. *WIREs Cognitive Science*, *1*, 346–352.
- McCabe, D., Roediger III, H., & McDaniel, M. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, *24*, 222–243.
- McGeorge, P., Taylor, L., Della Sala, S., & Shanks, M. F. (2002). Word stem completion in young adults, elderly adults, and patients with Alzheimer's disease: evidence from cross-modal priming. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *17*, 389–398.
- Milev, R. V., Kellar, T., Mclean, M., Mileva, V., Luthra, V., Thompson, S., & Peever, L. (2008). Multisensory stimulation for elderly with dementia: a 24-week single-blind randomized controlled pilot study. *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias*, *23*, 372–376.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49–100.
- Molholm, S., Martinez, A., Shpaner, M., & Foxe, J. (2007). Object-based attention

- is multisensory: co-activation of an object's representations in ignored sensory modalities. *European Journal of Neuroscience*, *26*, 499–509.
- Mulligan, N. W. (2003). Effects of cross-modal and intramodal division of attention on perceptual implicit memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 262–276.
- Norman, J., Crabtree, C., & Norman, H. (2006). Aging and the visual, haptic, and cross-modal perception of natural object shape. *Perception*, *35*, 1383–1395.
- Nyberg, L., Habib, R., McIntosh, A. R., & Tulving, E. (2000). Reactivation of encoding-related brain activity during memory retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*, 11120–11124.
- Nyberg, L., Winocur, G., & Moscovitch, M. (1997). Correlation between frontal lobe functions and explicit and implicit stem completion in healthy elderly. *Neuropsychology*, *11*, 70–76.
- Oker, A., Versace, R., & Ortiz, L. (2009). Spatial distinctiveness effect in categorisation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 971–979.
- Park, D. C., & Gutchess, A. H. (2002). Aging, cognition, and culture: a neuroscientific perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*, 859–867.
- Parkin, A. (1993). Implicit memory: new directions in cognition, development, and neuropsychology. In P. Graf & M. Masson (Eds.), (pp. 191–206). Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates.
- Ryan, L., Ostergaard, A., Norton, L., & Johnson, J. (2001). Search and selection processes in implicit and explicit word-stem completion performance in young, middle-aged, and older adults. *Memory & Cognition*, *29*, 678–690.
- Salthouse, T. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*, 403–428.
- Salthouse, T. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, *54*, 35–54.
- Schacter, D. (1992). Priming and multiple memory systems: perceptual mechanisms of implicit memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *4*, 244–256.
- Schneider, T. R., Engel, A. K., & Debener, S. (2008). Multisensory identification of natural objects in a two-way crossmodal priming paradigm. *Experimental Psychology*, *55*, 121–132.
- Scialfa, C. T. (2002). The role of sensory factors in cognitive aging research. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*, 153–163.
- Slotnick, S. D., & Schacter, D. L. (2006). The nature of memory related activity in early visual areas. *Neuropsychologia*, *44*, 2874–2886.
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, *18*, 643–662.
- Stuss, D., & Alexander, M. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, *63*, 289–298.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass: MIT Press.

- Ungerleider, L. (1995). Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory. *Science*, *7*, 769–775.
- Valentijn, S., van Boxtel, M., van Hooren, S., Bosma, H., Beckers, H., Ponds, R., & 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*, 374–380.
- Vallesi, A., McIntosh, A. R., & Stuss, D. (2011). Overrecruitment in the aging brain as a function of task demands: evidence for a compensatory view. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 801–815.
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- van Boxtel, M. P., van Beijsterveldt, C. E., Houx, P. J., Anteunis, L. J., Metsemakers, J. F., & Jolles, J. (2000). Mild hearing impairment can reduce verbal memory performance in a healthy adult population. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*, 147–154.
- Van der Linden, M. (2004). L'épreuve de rappel libre/rappel indicé à 16 items (RL/RI-16). In M. Van der Linden & F. Coyette (Eds.), *L'évaluation des troubles de la mémoire*. (pp. 25–47). Marseille: Solal.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1984). Category specific semantic impairments. *Brain*, *107*, 829–854.
- Wechsler, D. (2000). *WAIS-III: Echelle de l'intelligence de wechsler pour adultes - troisième édition*. (P. C. de Psychologie Appliquée., Ed.).
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of remembering and knowing. *Neuroimage*, *21*, 1337–1349.

6.A Appendix

6.A.1 Age effect on the cognitive measures

Table A: *t*-tests between the young and elderly participants on the neuropsychological scores.

		<i>t</i>	<i>p</i>
MMSE		3.49	0.00
RL/RI-16	<i>Encoding</i>	2.82	0.01
	<i>Sum Free Recall</i>	6.46	0.00
	<i>Sum Cued Recall</i>	3.98	0.00
	<i>Delayed Free Recall</i>	5.52	0.00
	<i>Delayed Cued Recall</i>	2.22	0.03
	<i>Recognition</i>	1	0.32 ¹
Stroop	<i>Speed</i>	-4.88	0.00
	<i>Interference</i>	-4.76	0.00
	<i>Interference-Error</i>	-3.08	0.00
TMT	<i>Speed A</i>	-5.04	0.00
	<i>Speed B</i>	-4.56	0.00
	<i>Error A</i>	-1.16	0.25 ¹
	<i>Error B</i>	-2.90	0.01
Span	<i>Forward digit span</i>	2.82	0.01
	<i>Backward digit span</i>	2.90	0.01
Fluency	<i>Animals</i>	3.72	0.00
	<i>P</i>	4.45	0.00
	<i>Sum</i>	4.63	0.00

Notes. ¹ = *p* non significant; Stroop speed = mean Stroop C+W; Stroop interference = WC - ((W+C)/2); flex = flexibility (B-A).

Synthèse intermédiaire

Ce premier article expérimental se base sur une méthodologie novatrice permettant de tester la nature des effets d'amorçage inter-sensoriel. Pour se faire, une procédure de masquage a été combinée à un paradigme d'amorçage inter-sensoriel à long terme, c'est-à-dire en deux phases distinctes. L'amorçage allait de la modalité auditive vers celle visuelle. Dans les deux phases, les participants réalisaient une tâche de catégorisation vivant/non-vivant portant sur du matériel familier. La particularité du paradigme est que les masques présentés en même temps que les amorces auditives partagent la modalité des cibles et non celle des amorces. En outre, il est à souligner que le masque était sans signification. Des jeunes adultes et personnes âgées cognitivement saines ont pris part à l'expérience.

Les résultats montrent un effet d'amorçage significatif, tant pour les jeunes adultes que pour les personnes âgées. Les cibles dont l'amorce auditive correspondante était présentée en première phase furent catégorisées plus rapidement que celles présentées sans amorce. Le principal résultat est cependant l'effet d'interférence du masque. Alors que le son d'amorce présenté avec un masque visuel a bien été perçu et traité (absence d'effet du masque dans la phase d'étude), la cible visuelle associée est traitée comme si ce son n'avait jamais été entendu en première phase. Cette interférence s'interprète naturellement dans les approches modales de la mémoire puisque des connaissances ancrées dans leurs propriétés sensori-motrices supposent que la perception d'un des éléments de la trace active de manière directe et automatique les éléments associés. Cette activation (simulation) a lieu dans les mêmes zones cérébrales que la perception ce qui explique pourquoi la présence du masque a interféré avec cette simulation. En revanche, les approches amodales ne permettent pas d'expliquer cette interférence selon des mécanismes mnésiques, mais possiblement par un effet attentionnel. Néanmoins, l'absence d'effet du masque dans la phase d'étude, ainsi que l'absence d'effet du masque sur les taux de bonnes réponses dans la phase test vont à l'encontre de cette hypothèse attentionnelle.

Il est à souligner que ces deux derniers arguments reposent sur des hypothèses nulles (absence d'effet significatif) et ne permettent donc pas d'exclure totalement l'hypothèse attentionnelle. Afin d'exclure cette hypothèse, il faudrait démontrer des effets différents, soit une interaction en terme statistique, du masque ou de l'attention selon les liens sémantiques reliant les amorces et les cibles. En effet, l'hypothèse d'une simulation perturbée par le masque ne devrait être valable que pour des couples amorces-cibles correspondant à une même connaissance. La simulation étant spécifique. L'Expérience 2 présentée dans le prochain article vise spécifiquement à tester hypothèse.

Chapitre 7

The Perceptual nature of semantic audiovisual interactions

Cross-modal priming effect in young and older
adults.

Guillaume T. Vallet^{1,2}, Martine Simard¹, Rémy Versace² and
Stéphanie Mazza²

¹ School of Psychology, Laval University, Quebec City, Canada

² Laboratoire EMC, Lyon2 University, Lyon, France

Soumis à *Acta Psychologica* le 29/02/2012.

Abstract

Audiovisual interactions are at the core of perception. While the integration mechanism was very much investigated, the nature of these interactions remains unexplored in younger and older adults. The perceptual or semantic nature of these interactions depends on the modal or amodal nature of knowledge. This issue is therefore a central question for memory and perception. In addition, it might explain some important findings reported in aging such as the links between their perception and memory performance. We used a cross-modal priming paradigm combined with a visual masking procedure of the auditory primes. The data demonstrated similar results in the young and elderly adult groups. The mask interfered with the priming effect in the semantically congruent condition, but it facilitated the processing of the visual target in the semantically incongruent condition. These findings indicate that audiovisual interactions are perceptual, and support the grounded cognition theory.

Keywords: Memory; Perception; Grounded Cognition; Masking; Audiovisual Priming.

7.1 Introduction

Objects in the environment are mainly perceived through hearing and vision (see [Spence, 2007](#), for a review). The sensory inputs are integrated by the brain to create coherent representations of the world (e.g. [Calvert & Thesen, 2004](#); [Laurienti, Kraft, Maldjian, Burdette, & Wallace, 2004](#)). If all the sensory inputs refer to the same object and are meaningful, such as a "meow" sound and seeing a cat, the representation is called semantic knowledge ([Tulving, 1972](#)). Semantic knowledge is supposed to be stored in semantic memory so that the presentation of one stimulus in one modality leads to facilitation effects (i.e. priming effects) on the processing of a subsequent semantically associated stimulus in another modality (e.g. [Doehrmann & Naumer, 2008](#)). However, it is still unclear how the different sensory modalities interact together in such a situation. These interactions could be considered in different ways, depending on two opposite approaches to knowledge ([Vallet et al., 2010](#)). In the first approach, the first stimulus activates the semantic representation – the concept – in semantic memory, which in turn, activates the associated features of this representation. In this case, semantic knowledge should be sensory independent (amodal), and the multisensory interactions occur indirectly through the semantic representation. In the second approach, the interactions might occur at a perceptual level without any semantic intermediary, the first stimulus directly activating the others. In this last approach, the semantic knowledge is grounded in its sensory-motor properties (i.e. modal knowledge). The first objective of the present study is to explore the nature of multisensory interactions for semantic knowledge and thus indirectly assess the nature of knowledge. A second objective is to test the effect of aging on these interactions. Indeed, this issue is still unexplored in normal aging, while a better comprehension of these interactions might help to understand some of the contradictory results reported in this population (see, [Vallet et al., sous presse](#)), and might also contribute to explain the relationship between the sensory and cognitive decline reported in aging (e.g. [Li & Lindenberger, 2002](#)).

Most of the situations in the world involve multiple sensory information coming from already known objects such as encountering a barking dog. All sensorial stimuli are perceived simultaneously providing valuable clues on how the neural and cognitive systems process multisensory inputs (e.g. [Alais, Newell, & Mamassian, 2010](#)). These situations are often described as being redundant multisensory information since the different modalities refer to the same semantic object ([Sinnott, Soto-Faraco, & Spence, 2008](#)). Interestingly, the fact that semantic knowledge is in memory allows inserting a delay between the presentation of the two stimuli. Such a delay permits the assessment of how the first stimulus perceived in one modality activates the second stimulus in the other modality, corresponding to a co-activation rather than a redundant situation (see Experiment 1 vs. 2, [Chen &](#)

Spence, 2011). This kind of paradigm is generally called cross-modal priming. The cross-modal priming effect is the facilitation of the processing of one stimulus in one modality (the target) by the previous presentation of another stimulus in another modality (the prime). The priming effect occurs when the two stimuli refer to the same semantic object (i.e. semantically congruent) rather than a situation when the two stimuli are unrelated (i.e. semantically incongruent). Cross-modal priming can be observed in all the modalities, such as touch and vision (Easton, Srinivas, & Greene, 1997), but most studies have been realized using the auditory and visual modalities (see, Schneider, Engel, & Debener, 2008).

In the amodal approach of memory, the cross-modal priming effect is supposed to be semantic. This means that the interactions between the modalities (i.e. the co-activation) occur through context-free representations – concepts – in semantic memory (Chen & Spence, 2010; Tulving & Schacter, 1990). According to this view, the processing of one stimulus in one modality will activate, through a bottom-up activation, the corresponding concept in semantic memory. The processing (e.g. identification) of a semantically associated stimulus will then benefit from the pre-activation of this semantic concept. For instance, seeing a picture of a cat (i.e. the prime) activates the concept of "cat" in semantic memory. If a "meow" sound is then heard (i.e. the target), its identification will be facilitated by the pre-activation of "cat". In this approach, the semantic representations are supposed to be abstracted from their modal features (mainly sensory-motor properties). The concept 'cat' would then be independent of the sensory (meowing sound, visual representation) and motor (stroking a cat, playing with a cat) components of the object, but these components would indirectly related by the concept.

An opposite point of view is that cross-modal interactions are perceptual and not semantic (Vallet et al., 2010). According to the grounded cognition theory, knowledge is defined as being modal, i.e. sensory-dependent (Barsalou, 2008). This means that knowledge remains grounded in the situation where and when it was learned. Consequently, there is no supra-concept or context-free representation. In this approach, the cognitive system is supposed to simulate, through mental imagery, the situation to process (Barsalou, 2008). The simulation corresponds to the activation of associated features of the stimuli in order to achieve a goal. This simulation is thus contextual, i.e. dependent on the aims of the individual and of the task, and occurs in the same brain substrates as those involved in perception (e.g. Slotnick & Schacter, 2006). As a consequence, processing a familiar sound automatically activates the related representations in the other sensory modalities (e.g. Molholm et al., 2007). The cross-modal priming effect is thus explained by the capacity of the prime processed in one sensory modality to activate the target in the other sensory modality, target which is associated to this prime in memory. This activation is direct (direct neural path, Cappe & Barone, 2005) and without any semantic intermediary (Brunel et al., 2009; Vallet et al., 2010).

One distinction between these two opposite approaches appears to be a direct versus indirect activation of the associated stimuli. This question could be assessed through the interference effect. In the amodal approach, the activation of the associated stimuli should be disrupted only by a concurrent semantic stimulus processed during the prime presentation (e.g. [Mulatti & Coltheart, 2012](#)). Indeed, this approach supposes that the activation occurs through the activation of the corresponding concept in semantic memory. The simultaneous processing of a meaningful stimulus should lead to poorer identification/activation of the prime and thus of the concept. This interference could be considered as a semantic interference. On the contrary, a direct activation suggests that a meaningless stimulus sharing the modality of the target rather than the modality of the prime, should interfere with the direct activation between the stimuli ([Vallet et al., 2010](#)). According to the grounded cognition, the processing of the prime will lead to the simulation of the associated stimuli and should thus be interrupted by the processing of a meaningless stimulus since the simulation and the perception occur in the same brain areas. This interference could be considered as perceptual interference. Another possible interference, which is not specific to any of those approaches, is coming from attention. Attention distraction during the processing of the prime should lead to a poorer processing of this stimulus and thus of the associated stimuli regardless of whether the activation is direct/indirect.

The data demonstrates that the debate on the nature of knowledge is a central issue for understanding cross-modal interactions of semantically related stimuli. The nature of audiovisual interactions remains poorly understood in young adults (e.g. [Ryan et al., 2008](#); [Vallet et al., 2010](#)) and unexplored in aging, while this issue addresses both theoretical and clinical issues. Normal aging is characterized by episodic memory and executive decline ([Buckner, 2004](#); [Mather, 2010](#)), whereas semantic memory and implicit memory are known to be preserved (for a review, see [Park & Gutchess, 2002](#)). Elderly adults also exhibit a sensory decline ([Nusbaum, 1999](#)). However, they show at least preserved (meaningless stimuli, [Spehar et al., 2008](#)) and even enhanced multisensory integration (meaningful stimuli, [Laurienti et al., 2006](#)). This enhancement occurs despite the general slowing often associated with aging ([Peiffer et al., 2007](#)) and would be better explained by an inferior capacity of elderly adults compared with young adults to focus on a specific modality ([Hugenschmidt et al., 2009](#)). Consequently, the preservation of semantic memory and multisensory processing suggests that elderly adults should exhibit normal cross-modal priming effects. Nevertheless, among the few studies focusing on this issue, some studies have found an altered cross-modal priming effect (for a review, see [Vallet et al., sous presse](#)). To explain this discrepancies, we can imagine that elderly adults use different cognitive processes than younger adults (see, [Habib et](#)

al., 1996), or that the multisensory processing, through attention, has changed in aging (Hugenschmidt et al., 2009). Normal aging thus represents an interesting population to test the cross-modal interactions since elderly adults exhibit an enhanced multisensory integration in the context of contradictory results reported by studies on the cross-modal priming effect.

The main objective of the present study is therefore to assess the nature of the cross-modal interactions for semantic knowledge in young and older adults. The nature of these interactions is linked to the nature of knowledge, and could be assessed through interference effects within a cross-modal priming paradigm. The perceptual nature of knowledge hypothesis states that a meaningless stimuli sharing the modality of the target (e.g. a visual mask for a visual target) and presented simultaneously with the prime should interfere with the activation of the related representations in the other modalities. This interference should not be observed for a meaningless stimulus according to the amodal hypothesis of knowledge, unless attention underlies the interference effect. Should this hypothesis be true, then the mask effect should be the same regardless of the semantic relationship between the stimuli. In order to exclude the attention hypothesis, the semantic congruency should be manipulated, which has not been done in the previous studies (Vallet et al., 2010; Vallet, Simard, & Versace, 2011). The cross-modal priming paradigm developed previously in our team and using familiar auditory and visual stimuli (Vallet et al., 2010; Vallet, Simard, & Versace, 2011) was adapted in order to manipulate the semantic congruency. Based on the results of these studies, we can state that the cross-modal interactions are perceptual and direct. It is predicted that young and elderly adults will present a significant cross-modal priming effect, even if some studies did not find this result in aging (e.g. Habib et al., 1996). Indeed, implicit memory is known to be preserved in aging and the sensory decline should not alter the priming effect since the cross-modal interactions are supposed to occur at a higher level. In the semantically congruent condition, the sound prime and the picture target refer to the same object (e.g. a "meow" sound and the picture of a cat). In the semantically incongruent condition, the sound prime and the picture target belong to two different categories (e.g. a "bark" sound and the picture of a piano) or to two different exemplars within the same category (e.g. a clarinet sound and guitar picture). We hypothesize that the interference effect will be restricted to the semantic congruent condition compared to the incongruent condition (i.e. the interaction between the mask and the semantic congruency). It is predicted that elderly adults will present the same pattern of results as the young adults for the mask effect. They might exhibit a more pronounced cross-modal priming effect and interference effect due to their better multisensory integration. Moreover, the attention hypothesis also suggests that executive functions and/or attention should be associated with masked items, but not or less than in the other conditions. This assumption was tested through a correlation analysis between neuropsychological

tests and the priming paradigm.

7.2 Method

Participants

Thirty-two students and 32 healthy elderly were recruited from, respectively the Laval University undergraduate and graduate students volunteer pool and from public announcements in Quebec City (see Table 7.1 for demographic data). All participants in the study were native French-speaking Quebecois.

Health information was gathered from all participants in an extensive interview about their medical history and medication. Participants with a medical history and/or taking medications for conditions with known sensory or neurological effects were excluded.

Low-level perception and cognitive speed were assessed in all participants. Hearing was assessed by an audiogram measuring audio frequencies and auditory volume (Hearing test, Digital Recordings). Visual acuity was assessed with Monoyer's test (visual acuity chart at three meters). Cognitive speed was assessed by a simple reaction time task (SRT). All participants underwent a neuropsychological screening battery which included standard tests of general cognitive functioning [Mini-Mental State Examination (Folstein, 1975)], verbal memory [RL/RI-16 free and cued recall task (Van der Linden, 2004)], executive functions [Trail Making Test (Delis, Kaplan, & Kramer, 2001; Lezak, Howieson, Loring, & Fisher, 2004); the Stroop test (Stroop, 1935) and the Hayling Test (Burgess & Shallice, 1997)], visuo-spatial abilities [Visual Object and Space Perception battery (Warrington & James, 1991), shape detection, incomplete letters and number location sub-tests], executive-semantic functions [word fluency test (Cardebat et al., 1990)]. The neuropsychological data of the participants are summarized in Table 7.1.

This research was approved by the Ethical Committee of the "Centre de recherche Université Laval Robert-Giffard" and all participants signed an informed consent form before the experimental session started. Each participant was tested individually in sessions that lasted approximately two hours for the young participants, and about three hours for the elderly participants. The young participants completed all the experimental protocol in one session. The older adults completed the protocol in two sessions lasting 1.5 hour each. Usually, a week separated the two sessions.

Table 7.1: Demographic and neuropsychological data by group.

		Young adults		Elderly adults	
		Mean	SD	Mean	SD
Demographics					
	Sex (F/M)	25/7		24/8	
	Age (years)	23.44	4.23	72.72	6.88 *
	Education (years)	16.19	2.18	14.31	5.02
Neuropsychological Screening					
<i>Global cognition</i>	MMSE	29.69	0.54	28.69	1.00 *
<i>Speed</i>	Simple Reaction time	277	27.80	302	50.86 *
<i>Perception</i>	Visual Acuity Uncorrected	5.85	3.93	4.52	2.83
	Visual Acuity Corrected	9.07	2.41	8.05	1.64
	Auditory Acuity	3.11	0.72	6.95	2.83 *
	VOSP				
	Screening	19.84	0.45	19.66	0.60
	Letters	19.69	0.59	19.38	0.75
	Numbers localisation	9.69	0.59	8.72	1.20 *
<i>Memory</i>	RL/RI				
	Immediate Recall (/16)	15.94	0.25	15.28	0.77 *
	Sum of free recall (/48)	39.28	4.16	29.81	6.72 *
	Sum of total recall (/48)	47.59	0.61	46.25	4.10 *
	Delayed free recall (/16)	15.31	0.86	14.38	6.67 *
	Delayed total recall (/16)	16.00	0.00	15.84	0.39 *
	Recognition	16.00	0.00	15.86	0.34 *
<i>Executive</i>	Stroop				
	Color	55.44	8.46	68.16	14.01 *
	Word	40.66	5.68	47.81	6.96 *
	Word-Color	91.03	16.74	149	450.55 *
	Errors Word-Color	0.12	0.42	2.72	10.50
	TMT				
	Part 1	15.78	3.96	27.25	7.33 *
	Part 2	21.84	6.39	42.84	13.18 *
	Part 3	21.16	6.22	47.31	15.54 *
	Part 4	49.22	12.98	111.59	48.25 *
	Part 5	13.44	4.20	28.50	10.38 *
	Errors Part 4	0.38	0.87	0.88	1.16
	Hayling Test				
	Part A	43.12	2.81	49.09	5.46 *
	Part B	109.47	29.70	135	41.40 *
<i>Mixed</i>	Verbal fluency				
	Categorical	27.84	4.84	18.84	3.50 *
	Phonemic	14.13	2.94	11.81	3.66

Notes. *Executive*= executive functions; SD= standard deviation; *= $p < 0.05$.

Stimuli used in the priming paradigm

The general design was a 3 (congruency: item-congruent, item-incongruent, category-incongruent) x 2 (mask: unmasked primes, masked primes) within factors (see Table 7.2 for the repartition of the conditions and the number of stimuli by condition). Half of the trials were included in the category-congruent condition in which the sound prime and the picture target belonged to the same semantic category (animals vs. artefacts). This condition was divided into two sub-conditions: the item-congruent condition, in which the sound prime and the picture target refer to the same object ("meow" sound – cat picture), and in the item-incongruent condition the other half (guitar sound – hornet picture). The other trials were included in the category-incongruent condition, i.e. with the prime and target in different categories, and were used in order to avoid any possible prediction for the categorization task. All the trials in all these conditions were divided into unmasked and masked conditions.

Overall, 256 stimuli were used: half of them (129) were sounds and half color photographs illustrating the objects in their natural context. Half of the stimuli (129) represented familiar animals (e.g. cow, cat, dog, lion) and the other half familiar artifacts (e.g. piano, guitar, bell, airplane). All the photographs had the same format (393 x 295 pixels, resolution of 72 x 72 dots per inch). All the sounds were edited to last 1,000 ms.

Eight visual color masks were created using Photoshop CS3 Mac applying a ripple effect on 8 new color pictures. This procedure was meant to make it impossible to identify the result. It made it look like an abstract painting. Different masks were created to avoid a systematic association between the stimuli and a specific mask, and to avoid repetition. Each mask was associated with sixteen different sounds.

One hundred and forty stimuli (half photographs) consisted of 70 familiar bimodal objects (sounds matching the pictures). From these stimuli, 55 bimodal objects were the same objects (55 photographs and 55 sounds) as the ones used in our previous experiment (Vallet et al., 2010). Fifteen new bimodal items were added in order to adapt the experimental material for the Quebecois population. The selection of the stimuli was made by a new pre-test with 5 new participants. The pre-test assessed the sound-picture association of the items as well as their recognition in each modality to ensure they would be as prototypical and familiar as possible (see, Vallet et al., 2010). These 140 stimuli were used in the experimental conditions included in the analyses.

For the needs of the categorization task, 84 stimuli (half photographs) were added. These stimuli were objects that are not typically associated with a sound (e.g. ant, table) or hard to identify in the auditory modality (e.g. clarinet sound, birdsong). These stimuli were excluded of the analyses. Finally, 32 stimuli (half photographs) were used in the 16 practice trials and not included in the analyses. The practice trials represented all the experimental conditions, and they were the same for all the participants. A trial-unique paradigm was chosen in order to avoid uncontrolled effects which might result from multiple presentations (see, Barense, Gaffan, & Graham, 2007).

While category-incongruent manipulation is the most common design for manipulating semantic congruency (e.g. Chen & Spence, 2010), the present study focused on the category-congruent condition in order to be more specific. In this case, the prime and the target belong to the same semantic category, but could refer or not to the same semantic object. In other words, the manipulation of semantic congruency was at an exemplar level rather than in a categorical level.

Table 7.2: Distribution of the number of stimuli as function of the experimental factors.

Category-Congruency	Item-Congruency	Mask	Stimuli	Total
Category-Congruent	Item-Congruent	Unmasked	14 bimodal stimuli	28
		Masked	14 bimodal stimuli	28
	Item-Incongruent	Unmasked	14 sounds + 14 pictures	28
		Masked	14 sounds + 14 pictures	28
Category-Incongruent		Unmasked	28 sounds + 28 pictures	56
		Masked	28 sounds + 28 pictures	56

Note. Bimodal stimuli= sound and its matching picture (meow sound – cat’s picture).

The inconvenience of this choice is that the category-incongruent condition should be included as well, to avoid any possible prediction in the categorization task. All the stimuli belonging to the category-congruent condition were counterbalanced in all sub-conditions : item-congruent unmasked and masked; and item-incongruent unmasked and masked. The participants were randomly assigned to one of the 4 different experimental groups. The stimuli in the category-incongruent condition were not counterbalanced with the other conditions (category-congruent), because it was impossible to find the same bimodal, familiar, and recognizable features as those previously chosen. These items were thus excluded from the analyses. All the stimuli were presented according to a pseudo-random order.

Priming task procedure

The experiment was conducted using a MacIntosh MacBook Pro using Psyscope software X B53 (Cohen et al., 1993) to set up and manage the experiment. Each participant was tested individually in one session lasting approximately 12 minutes (see Figure 7.1 for an illustration of the experimental procedure). The participants were informed that they were taking part in a study on reaction speed to visual stimuli. The participants were told, before the presentation of each picture, that they would hear a sound which could either match or not match the picture. They were also informed that sometimes a colored rectangle might appear on the screen as they heard the sound. The participants were instructed to ignore these stimuli (sounds and rectangles) in order to focus only on the pictures for the categorization task. Each participant adjusted the auditory intensity in order to reach a comfortable level.

Each trial started with a fixation point displayed for 800 ms. This was followed, 300 ms later, by a 1,000 ms sound presented bi-aurally through a stereo headset: half of the sounds corresponded to animals and the other half to artefacts. For half of these sounds, a visual mask was presented simultaneously for 1,000 ms. Five hundred ms later, a centrally positioned picture appeared for 1,000 ms, followed

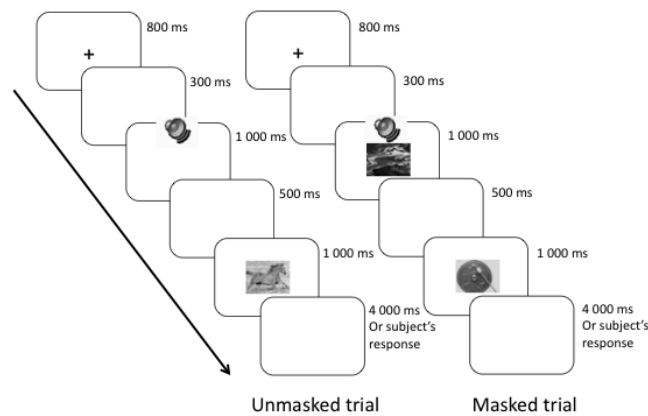


Figure 7.1: Illustration of the experimental protocol. A sound is presented as the prime. For half of the sound primes, a meaningless visual mask is presented. Then, a photograph is categorized as an animal or as an artefact.

by a white screen displayed for 4,000 ms or until the participant responded. The participants were asked to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the picture corresponded to an animal or to an artefact, and to answer by pressing the appropriate key on the keyboard. Response logging started with the presentation of the picture target.

The experiment was composed of 128 trials including 16 practice trials, 56 category-incongruent trials (half masked), and 56 category-congruent trials (1/4 by conditions), constituting 14 trials per condition. The sounds and the pictures were presented in a pseudo-random order. The response keys used were 'd' and 'k', and were counterbalanced across the participants.

7.3 Results

7.3.1 Statistical analysis

The data was first treated by Excel 2008 for Macintosh (Microsoft Corp.) and then analyzed using R version 2.11.1 (R Foundation for Statistical Computing). The practice trials were not included in the analyses as were the category-incongruent items, since they were not counterbalanced with the other items in the other conditions¹.

¹ANOVA with the category-incongruent condition revealed no effect for the correct response rates. For the reaction times, the ANOVA revealed an effect of the item-congruency factor, $F(1, 23) = 6.18, p < .05$; and a significant item-congruency*mask interaction, $F(1, 23) = 4.79, p < .05$. No difference was observed between masked and unmasked items within the category-

The mean correct reaction times and mean rates of correct responses were calculated across subjects for each experimental condition (cf. Table 7.3). Reaction times exceeding 3,000 ms and 2.5 standard deviations above each participant's mean in each condition and reaction times less than 150 ms and 2.5 standard deviations below each participant's mean per condition were treated as outliers and removed from the analyses (1% of the data for each group). Separate analyses of variance (ANOVA) were performed on the percentages of correct responses, and of correct reaction times. The analyses were performed with subjects as random variables, according to a 2 (group: young vs. elderly) x 2 (item-congruency: item-congruent vs. item-incongruent) x 2 (mask: masked vs. unmasked) design with group as the between-subject factor and the other factors as within-subject factors. The interactions involving the group factor were decomposed by running separated ANOVA for each group and the interactions within each group by using Student's *t*-tests. An alpha level of 0.05 was used for the ANOVA and the *t*-tests.

The Pearson correlation tests were calculated between the score of executive functions and the experimental conditions. A first step before conducting the correlation analysis was to examine whether the different conditions were inter-correlated or not (see Appendix A). In the two groups of participants, the reaction times were very highly inter-correlated (superior at 0.80, $p < .001$). Very high correlations between conditions suggest that these different conditions were not independent and should reflect a common entity (Tabachnick, Fidell, & Osterlind, 2001). As a consequence, these conditions were averaged together and not used as different scores. The mean of the reaction times of the four conditions was calculated and used for the analyses. But the correct response rates were not correlated except for the item-congruent masked and the item-incongruent masked conditions, which were correlated in the young group (cf. Table 7.5). The different conditions of the correct response rates were used directly in the analyses.

In order to avoid type I error, a more severe alpha level of 0.005 was set for these latter analyses because of the multiple correlations realized.

7.3.2 Short term cross-modal priming paradigm

Experimental results

The analyses performed on the correct responses revealed no significant effect (for all factors and interactions, $F(1, 62) < 1$). The overall correct response rate was 97.05% (97.48% and 96.61% for the young and elderly adults respectively)

incongruent condition $t(23) = .30, p = .76$.

suggesting ceiling effects.

The analyses of reaction times revealed a main effect of the group ($F(1, 62) = 50.17, p < .05, \eta_{partial}^2 = .45$), with slower reaction times in the group of older adults. A main effect of the item-congruency was also observed ($F(1, 62) = 10.96, p < .05, \eta_{partial}^2 = .15$), with congruent stimuli processed faster than incongruent stimuli. Finally, the data showed an interaction between item-congruency and mask factors ($F(1, 62) = 14.35, p < .05, \eta_{partial}^2 = .19$). There was no main effect of the mask ($F(1, 62) = 1.27, p = .26$), no interaction between the group and the item-congruency ($F(1, 62) < 1$) or between the group and the mask ($F(1, 62) < 1$) or interaction between all the factors ($F(1, 62) < 1$).

Table 7.3: Mean reaction times and correct response rates for the young and older adults for the cross-modal priming paradigm.

			Reaction times (ms)		Correct response rates	
			Mean	<i>Sd</i>	Mean	<i>Sd</i>
Young <i>N</i> =32	Item-Congruent	Unmasked primes	522	72.13	.97	.04
		Masked primes	542	83.83	.97	.04
	Item-Incongruent	Unmasked primes	554	91.13	.98	.03
		Masked primes	544	85.07	.97	.05
Elderly <i>N</i> =32	Item-Congruent	Unmasked primes	677	86.73	.97	.04
		Masked primes	705	111.35	.96	.05
	Item-Incongruent	Unmasked primes	712	113.43	.97	.05
		Masked primes	691	93.84	.97	.06

Note. *Sd* = standard deviation.

Since no interaction was found between the groups and the other factors, the results of the young and older adults were merged (analyses by group are presented in Appendix B). The reaction times of the unmasked item-congruent condition subtracted from reaction times of the unmasked item-incongruent condition indicated a significant priming effect of 33 ms ($t(63) = 5.16, p < .01, d = .34$).

The detailed analysis of the interaction between the mask and the item-congruency (see Figure 7.2) showed that the items in the semantically congruent unmasked condition were processed faster than masked items ($t(63) = 3.94, p < .01, d = .21$). In contrast, the items in the unmasked item-incongruent condition were processed slower than the masked items ($t(63) = 2.30, p < .05, d = .11$). At least, the size of the mask effect in the congruent and incongruent conditions appeared similar ($t(63) = -0.91, p = .37$).

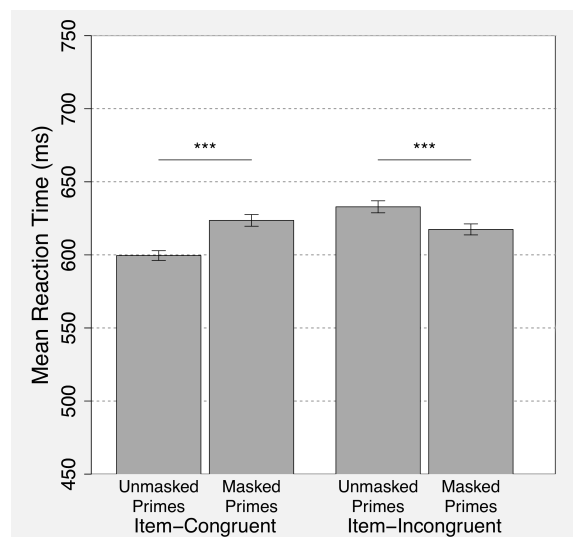


Figure 7.2: Means and standard errors for reaction times of the interaction between item-congruency and mask.

7.3.3 Neuropsychological results

Cognitive profiles

The cognitive profiles of each participant and each group revealed no abnormal scores compared with their respective population matched for age and education (according to the norms of the test manuals). Except for the delayed recall and recognition scores in the RL/RI-16 and the errors in the TMT, all the results of neuropsychological measures were significantly different between the two groups (*t*-tests). The elderly participants demonstrated poorer performance than the young participants – accuracy and speed – on the tasks of recall memory tasks and executive functions tasks compared to that of the young participants.

Correlations

The correlation analyses revealed no significant correlations between the neuropsychological tests and the correct response rates in the experiment, except between the masked item-congruent condition and the speed score of the TMT 1 in the young group. This unique correlation in each group appears insufficient to conclude that the masked item-congruent condition is associated with visual search since the other visual processing parts of the TMT or the Stroop task were not correlated with this experimental score. In the same way, there is a unique correlation between the errors of the Stroop interference and the masked item-incongruent condition in the elderly group.

For reaction times, the analyses revealed no significant correlations in the young group. In the elderly group, the correlations demonstrated that age, SRT, speed of TMT 2 and TMT 4, and speed and errors of Stroop interference, as well as the flexibility and inhibitory scores were correlated to the mean reaction times of the experiment (cf. Table 7.4). The TMT 4, the flexibility score, the Stroop interference and inhibitory scores are known to be executive tasks. The SRT and TMT 2 evaluated psycho-motor speed.

Table 7.4: Correlations in the elderly group between cognitive tests and the categorization task.

Test	Sub-test	Correlations
General	<i>Age</i>	0.54 **
	<i>Education</i>	-0.13
	<i>MMSE</i>	0.18
	<i>SRT</i>	0.66 **
TMT - Speed	<i>TMT-1</i>	0.32
	<i>TMT-2</i>	0.48 **
	<i>TMT-3</i>	0.39
	<i>TMT-4</i>	0.42 **
	<i>TMT-5</i>	0.32
TMT - Errors	<i>Flexibility</i>	0.43 **
	<i>TMT-1</i>	0.00
	<i>TMT-2</i>	-0.08
	<i>TMT-3</i>	0.05
	<i>TMT-4</i>	0.10
Stroop - Speed	<i>TMT-5</i>	-0.03
	<i>Colors</i>	-0.13
	<i>Words</i>	0.16
	<i>Words/Colors</i>	0.45 **
Stroop - Errors	<i>Inhibition</i>	0.49 **
	<i>Words/Colors</i>	0.42 **
Hayling Test	<i>Words/Colors</i>	0.42 **
	<i>Part A</i>	0.26
	<i>Part B</i>	0.27
Word Fluency	<i>Errors part B</i>	-0.15
	<i>Animals</i>	-0.17
	<i>T/N/P</i>	-0.18

Notes. SRT= simple reaction time; Flexibility= TMT4 - ((TMT2+TMT3)/2); Inhibition= WC - ((W+C)/2); ** = $p < 0.005$.

7.4 General Discussion

The present study was conducted in order to assess the nature of semantic audiovisual interactions in young and older adults. The nature of these interactions could be assessed by the co-activation between modalities and the different predictions which would be made by the amodal or modal approaches to knowledge. According to the amodal approach, the co-activations would indirectly through

an abstracted semantic representation, whereas the modal approach states that the co-activations would be direct and perceptual. The present study used an innovative cross-modal priming paradigm in association with a neuropsychological battery. In the priming paradigm, familiar sounds – as primes – and pictures – as targets – were presented to the participants in an animals/artefacts categorization task. Half of the sound primes were presented with a meaningless visual mask. The novelty was to use a mask sharing the modality of the target rather than the one of the prime. Our main hypothesis was that the mask would interfere with the simulation of the associated components of the prime (Vallet et al., 2010). If the interference effect was observed only in the semantically congruent condition, this would validate the modal approach, for the following two reasons: the interference effect is not supposed to occur according to the amodal approach of knowledge, unless it were to result from an attention distraction. But the attention hypothesis predicts similar effects in the congruent and incongruent conditions (i.e. main effect of the mask).

The second objective of the present study was to assess the effect of aging on these interactions. This question is relevant, because normal aging is characterized by sensory and memory alterations (Valentijn et al., 2005) which might interact with sensory-dependent knowledge. In addition, some studies have not reported a cross-modal priming effect in aging questioning the preservation of implicit memory in this population. We hypothesized that elderly adults would present the same pattern of results with a significant priming effect and a mask interference in the item-congruent condition.

A first point to note is that the categorization task was very well carried out. The older adults were as accurate as the younger adults, but they were slower than young adults as predicted by the general slowing hypothesis in normal aging (Salthouse, 2000). The analyses of reaction times showed that congruent stimuli were globally processed faster than incongruent stimuli, as typically expected (Laurienti et al., 2004). Moreover, a cross-modal priming effect was demonstrated with unmasked congruent stimuli processed faster than unmasked incongruent stimuli (-33ms). The priming effect appeared equivalent between the two groups of subjects, since no interaction was observed between the group and the other factors. A cross-modal priming effect replicates several studies using familiar objects in young adults (e.g. Schneider, Engel, & Debener, 2008), but the data are more important in aging. Indeed, few studies have been conducted on this issue in aging and two of them reported a lack of cross-modal priming effect in aging (for a review, see Vallet et al., *sous presse*). Among the possible explanations of the lack of priming effect, the studies which did not report a cross-modal priming used a word-stem completion task (Habib et al., 1996; McGeorge et al., 2002). This task is known to more heavily involve executive functions than other tasks such as the categorization task

(Nyberg et al., 1997; Vallet, Simard, & Versace, 2011). Supporting the executive dysfunction hypothesis, elderly adults presented significant correlations between their reaction times in the priming paradigm and their performance in executive tasks. No correlation was observed in the young group. These correlations in the elderly group might reflect an executive impairment. The executive impairment in the elderly group is confirmed by the neuropsychological results and has been well established (Greenwood, 2000). The significant correlations could indicate a compensation mechanism (e.g. Cabeza, 2002), because elderly adults over-recruit their cognitive resources in order to perform as well as the young adults (Vallesi et al., 2011). The present study is consistent with a growing number of similar results (for instance, Ballesteros et al., 2009), suggest that most of time a cross-modal priming effect could be observed in normal aging. The preservation of cross-modal priming effects in the aging supports the idea that implicit memory is intact in normal aging.

The most important finding of the present study was the interaction between the mask and the semantic congruency. As predicted by the grounded cognition theory, the mask interfered with the processing of the target in the item-congruent condition. But on the other hand, the mask facilitated the processing of the picture target processing in the item-incongruent condition. It seems difficult to explain this interaction according to the classical assumptions in the amodal approach. Regarding mask interference, this effect is generally explained by a superposition of a sensory stimulus on a target stimulus which both share the same modality (for a review, see Van den Bussche, Notebaert, & Reynvoet, 2009). In the present study, the mask does not share the modality of the prime. In addition, the masking effect could be defined as a forward masking, which is the presentation of the mask before the target stimulus, because this masking effect is limited to 300 ms (Enns & Di Lollo, 2000) and an inter-stimulus interval (ISI) of 500 ms was used in the present study.

Another way to explain the interaction would be to explore hypotheses based on attention. The first hypothesis would be that the mask distracted the attention of the participant from the prime so that the priming effect was less efficient. If this was true, then the mask would not have facilitated the processing in the semantically incongruent condition as was observed in our study. Moreover, the correct response rates in the unmasked conditions (.97) was equivalent to those in the masked conditions (.97), while this hypothesis suggests that participants should have poorer performance for masked stimuli than for unmasked ones (Vallet, Simard, & Versace, 2011). A second hypothesis would be that attention was divided between the two modalities (Alais, Morrone, & Burr, 2006). In this case, the visual mask would overload the visual attention capacity leading to less efficient processing of the visual target. However this would mean that the mask should have the same effect

in the semantically incongruent condition and which was not the case in the present study. Finally, the attention hypotheses also suggest that masked conditions should be more correlated with attention/executive tasks than the unmasked conditions only. This hypothesis did not find support in the present study since the reaction times of all the experimental conditions were very highly inter-correlated. It seems therefore unlikely that attention alone underlies the interaction, which suggests that the amodal approach of knowledge could not explain the results. No direct relation is supposed to exist between the sensory modalities in those models (e.g. [Tulving & Schacter, 1990](#); [Tulving, 1995](#)).

The next question is then how to explain the interaction between mask and semantic congruency. The facilitation effect of the mask in the semantically incongruent condition might come from a pre-activation of the visual modality by the mask. Indeed, it was demonstrated several times that an unrelated bimodal presentation (here, the sound prime and the mask) could lead to faster reaction times in the processing of the next stimulus in the same modality ([Arieh & Marks, 2008](#)). While we might expect the same to happen in the semantically congruent condition, the memory component of the situation complicated the situation. According to the grounded cognition theory, the sound prime leads to the simulation of the associated stimuli, here the visual representation ([Brunel et al., 2009](#); [Vallet et al., 2010](#)). This simulation should not occur if the same modalities are involved in another processing ([Kaschak et al., 2005](#)) since the simulation occurs in the same brain areas as the one involved with these modalities ([Ishai & Sagi, 1995](#)), and since perception and memory may be closer than previously thought ([Riou et al., 2011](#)). Our interpretation of mask interference is therefore that the visual mask has interfered with the automatic and direct activation of the visual representation associated with the sound prime. In other words, the visual mask might overlap with the activation (simulation) of the visual associated representation of the sound prime. These data support a perceptual (or sensory-dependent) nature of audiovisual interactions and thus support the grounded cognition theory.

The results demonstrated that elderly adults presented a similar interaction between the mask and the semantic congruency factors as the young adults, suggesting that elderly adults, as young adults, may have modal knowledge ([Vallet, Simard, & Versace, 2011](#)). Sensory-dependent knowledge in elderly adults is an important finding. First, it is a necessary toward validating the grounded approach of cognition. Secondly, sensory-dependent knowledge represents an interesting way to explain the associations between executive functions, memory and auditory and visual acuity that have been reported in the literature ([Gussekloo et al., 2005](#); [Valentijn et al., 2005](#)). These correlations have been explained by different hypotheses such as poorer perception of the task, or a common underlying factor remaining undefined (for a discussion of these hypotheses, see [Scialfa, 2002](#)). Yet, the sensory-dependent

hypothesis supposes that a less accurate perception or a less efficient perceptual processing should decrease the quality of memories. This assumption is interesting for explaining some of the effects of aging on cognition. Indeed, poorer memories might be harder to distinguish from others (Brunel et al., 2010) such as in recall tasks, and they should lead to poorer memory quality (Bernard et al., 2007). The lack of interaction between the groups and the other factors suggests that the same mechanism may underpin the cross-modal interactions in young and elderly adults. One might argue that this is not true since several studies have found an early white matter and a grey matter decline in aging. A cerebral decline might then alter the communications between the sensory brain areas (Giorgio et al., 2010), but these changes do not significantly impact the sensory areas themselves or their connectivity (Ceponiene, Westerfield, Torki, & Townsend, 2008).

Direct communication between modalities, as supposed by the modal approach, has found some support in the neurobiological data. Until recently, each sensory system was thought to be functionally and neurally independent. Interaction and integration between modalities would thus occur only in heteromodal brain areas (e.g. Driver & Spence, 2000). Nevertheless, research performed in the last decade has indicated that the different modalities interact together even at a very low level. First demonstrated in animals (e.g. Cappe & Barone, 2005), direct connections between the primary auditory and primary visual areas have also been observed in humans (Cappe, Rouiller, & Barone, 2009; Martuzzi et al., 2007). Moreover, the temporal timing of the co-activation could occur very rapidly, under 100ms (Giard & Peronnet, 1999; Raji et al., 2010) supporting the hypothesis that memory and perception are closer than previously supposed (for a review, see Graham, Barense, & Lee, 2010).

However, the present study had some limitations. For instance, the time window chosen might be surprising. A short time window will reinforce the likelihood of a cross-modal integration (Colonus & Diederich, 2010) so that the prime and the mask in the present study might have been integrated together. Against this hypothesis, learned associations would be superior to direct perception in influencing multisensory perception (Mitterer & Jesse, 2010). In addition, the ISI used was also unusual for a study on multisensory integration (e.g. Chen & Spence, 2010). Yet multisensory integration could occur with an ISI of 500 ms as in the present study (Wallace et al., 2004). The time window could also be questioned because aging is characterized by a slowing effect that may shift the time windows for multisensory perception. Against this hypothesis, young and older adults seem to share the same time windows for multisensory perception (Horváth, Czigler, Winkler, & Teder-Sälejärvi, 2007). An ISI of 500 ms appears to be a reasonable choice since it is beyond the forward masking time window of 300ms after the mask (Enns & Di Lollo, 2000). In addition, a shorter ISI might interfere with the

activation between modalities since a study demonstrating that a shorter ISI (100 ms) led to an additive effect compared to longer ISI (300) leading to an integration of the activations ([Labeye et al., 2008](#)).

In conclusion, the present study demonstrated for the first time that audiovisual interactions for semantically related stimuli are perceptual and direct. This result was found for both young and older adults. A direct interaction between modalities is supported by modal approaches of knowledge such as the grounded cognition theory. The data also suggests that different mechanisms could underpin the stimuli which are not semantically related. In this case, a facilitation effect was observed following the visual mask. This interaction raises questions the nature of interactions for unrelated stimuli, or unlearned associations. Further research is needed to explore this issue.

References

- Alais, D., Morrone, C., & Burr, D. (2006). Separate attentional resources for vision and audition. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *273*, 1339–1345.
- Alais, D., Newell, F., & Mamassian, P. (2010). Multisensory processing in review: from physiology to behaviour. *Seeing and Perceiving*, *23*, 3–38.
- Arieh, Y., & Marks, L. E. (2008). Cross-modal interaction between vision and hearing: a speed-accuracy analysis. *Perception & Psychophysics*, *70*, 412–421.
- Ballesteros, S., Gonzalez, M., Mayas, J., Garcia-Rodriguez, B., & Reales, J. (2009). Cross-modal repetition priming in young and old adults. *The European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 366–387.
- Barense, M., Gaffan, D., & Graham, K. (2007). The human medial temporal lobe processes online representations of complex objects. *Neuropsychologia*, *45*, 2963–2974.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617–645.
- Bernard, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Baron, J. (2007). Neural correlates of age-related verbal episodic memory decline: a PET study with combined subtraction/correlation analysis. *Neurobiology of Aging*, *28*, 1568–1576.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness: trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and Cognition*, *19*, 926–937.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, *44*, 195–208.
- Burgess, P., & Shallice, T. (1997). *The Hayling and Brixton tests*. Bury St. Edmunds, UK: Thames Valley Test Company.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*, *17*, 85–100.

- Calvert, G. A., & Thesen, T. (2004). Multisensory integration: methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology*, *98*, 191–205.
- Cappe, C., & Barone, P. (2005). Heteromodal connections supporting multisensory integration at low levels of cortical processing in the monkey. *The European Journal of Neuroscience*, *22*, 2886–2902.
- Cappe, C., Rouiller, E. M., & Barone, P. (2009). Multisensory anatomical pathways. *Hearing Research*, *258*, 28–36.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., & Goulet, P. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performance et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau culturel. *Acta Neurologica Belgica*, *90*, 207–217.
- Ceponiene, R., Westerfield, M., Toriki, M., & Townsend, J. (2008). Modality-specificity of sensory aging in vision and audition: evidence from event-related potentials. *Brain Research*, *1215*, 53–68.
- Chen, Y.-C., & Spence, C. (2010). When hearing the bark helps to identify the dog: semantically-congruent sounds modulate the identification of masked pictures. *Cognition*, *114*, 389–404.
- Chen, Y.-C., & Spence, C. (2011). Crossmodal semantic priming by naturalistic sounds and spoken words enhances visual sensitivity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*, 1554–1568.
- Cohen, J., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). Psyscope: an interactive graphic system for designing and controlling experiments in the psychology. *Behavior Research Methods*, *25*, 257–271.
- Colonus, H., & Diederich, A. (2010). The optimal time window of visual-auditory integration: a reaction time analysis. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *4*, 1–6.
- Delis, D., Kaplan, E., & Kramer, J. (2001). *D-KEFS executive function system*. San Antonio: The Psychological Corporation, a Harcourt Assessment Company.
- Doehrmann, O., & Naumer, M. J. (2008). Semantics and the multisensory brain: how meaning modulates processes of audio-visual integration. *Brain Research*, *1242*, 136–150.
- Driver, J., & Spence, C. (2000). Multisensory perception: beyond modularity and convergence. *Current Biology*, *10*, 731–735.
- Easton, R., Srinivas, K., & Greene, A. (1997). Do vision and haptics share common representations? Implicit and explicit memory within and between modalities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *23*, 153–163.
- Enns, J., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 345–352.
- Folstein, M. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, *12*, 189–198.

- Giard, M., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 473–490.
- 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*, 943–951.
- Graham, K., Barense, M., & Lee, A. (2010). Going beyond LTM in the MTL: a synthesis of neuropsychological and neuroimaging findings on the role of the medial temporal lobe in memory and perception. *Neuropsychologia*, *48*, 831–853.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *6*, 705–726.
- Gussekloo, J., de Craen, A. J. M., Oudkerk, C., van Boxtel, M. P. J., & Westendorp, R. G. J. (2005). Sensory impairment and cognitive functioning in oldest-old subjects: the leiden 85+ study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *13*, 781–786.
- Habib, R., Jelicic, M., & Craik, F. (1996). Are implicit memory deficits in the elderly due to differences in explicit memory processes? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *3*, 264–271.
- Horváth, J., Czigler, I., Winkler, I., & Teder-Sälejärvi, W. A. (2007). The temporal window of integration in elderly and young adults. *Neurobiology of Aging*, *28*, 964–975.
- Hugenschmidt, C., Peiffer, A., McCoy, T., Hayasaka, S., & Laurienti, P. (2009). Preservation of crossmodal selective attention in healthy aging. *Experimental Brain Research*, *198*, 273–285.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, *268*, 1772–1774.
- Kaschak, M., Madden, C., Theriault, D., Yaxley, R., Aveyard, M., Blanchard, A., & Zwaan, R. (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, *94*, 79–89.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, *129*, 108–111.
- Laurienti, P., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, *27*, 1155–1163.
- Laurienti, P., Kraft, R. A., Maldjian, J. A., Burdette, J. H., & Wallace, M. T. (2004). Semantic congruence is a critical factor in multisensory behavioral performance. *Experimental Brain Research*, *158*, 405–414.
- Lezak, M., Howieson, D., Loring, D., & Fisher, J. (2004). *Neuropsychological assessment 4th ed.* New York: Oxford University Press.
- Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience & Biobehavioral*

Reviews, 26, 777–783.

- Martuzzi, R., Murray, M. M., Michel, C. M., Thiran, J.-P., Maeder, P. P., Clarke, S., & Meuli, R. A. (2007). Multisensory interactions within human primary cortices revealed by BOLD dynamics. *Cerebral Cortex*, 17, 1672–1679.
- Mather, M. (2010). Aging and cognition. *WIREs Cognitive Science*, 1, 346–352.
- McGeorge, P., Taylor, L., Della Sala, S., & Shanks, M. F. (2002). Word stem completion in young adults, elderly adults, and patients with Alzheimer's disease: evidence from cross-modal priming. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17, 389–398.
- Mitterer, H., & Jesse, A. (2010). Correlation versus causation in multisensory perception. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17, 329–334.
- Molholm, S., Martinez, A., Shpaner, M., & Foxe, J. (2007). Object-based attention is multisensory: co-activation of an object's representations in ignored sensory modalities. *European Journal of Neuroscience*, 26, 499–509.
- Mulatti, C., & Coltheart, M. (2012). Picture-word interference and the response-exclusion hypothesis. *Cortex*, 48, 363–372.
- Nusbaum, N. J. (1999). Aging and sensory senescence. *Southern Medical Journal*, 92, 267–275.
- Nyberg, L., Winocur, G., & Moscovitch, M. (1997). Correlation between frontal lobe functions and explicit and implicit stem completion in healthy elderly. *Neuropsychology*, 11, 70–76.
- Park, D. C., & Gutchess, A. H. (2002). Aging, cognition, and culture: a neuroscientific perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 859–867.
- Peiffer, A., Mozolic, J., Hugenschmidt, C., & Laurienti, P. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, 18, 1077–1081.
- Raij, T., Ahveninen, J., Lin, F.-H., Witzel, T., Jääskeläinen, I. P., Letham, B., ... Belliveau, J. W. (2010). Onset timing of cross-sensory activations and multisensory interactions in auditory and visual sensory cortices. *European Journal of Neuroscience*, 31, 1772–1782.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory improves visual search. *Memory & Cognition*, 39, 1094–1102.
- Ryan, J. D., Moses, S. N., Ostreicher, M. L., Bardouille, T., Herdman, A., Riggs, L., & Tulving, E. (2008). Seeing sounds and hearing sights: the influence of prior learning on current perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 1030–1042.
- Salthouse, T. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, 54, 35–54.
- Schneider, T. R., Engel, A. K., & Debener, S. (2008). Multisensory identification of natural objects in a two-way crossmodal priming paradigm. *Experimental Psychology*, 55, 121–132.

- Scialfa, C. T. (2002). The role of sensory factors in cognitive aging research. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*, 153–163.
- Sinnett, S., Soto-Faraco, S., & Spence, C. (2008). The co-occurrence of multisensory competition and facilitation. *Acta Psychologica*, *128*, 153–161.
- Slotnick, S. D., & Schacter, D. L. (2006). The nature of memory related activity in early visual areas. *Neuropsychologia*, *44*, 2874–2886.
- Spehar, B. P., Tye-Murray, N., & Sommers, M. S. (2008). Intra- versus intermodal integration in young and older adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *123*, 2858–2866.
- Spence, C. (2007). Audiovisual multisensory integration. *Acoustical Science and Technology*, *28*, 61–70.
- Stroop, J. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, *18*, 643–662.
- Tabachnick, B., Fidell, L., & Osterlind, S. (2001). Using multivariate statistics.
- Tulving, E. (1972). Organization of memory. In E. T. . W. Donaldson (Ed.), (pp. 381–403). New York: Academic Press.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Tulving, E., & Schacter, D. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, *247*, 301–306.
- Valentijn, S., van Boxtel, M., van Hooren, S., Bosma, H., Beckers, H., Ponds, R., & 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*, 374–380.
- Vallesi, A., McIntosh, A. R., & Stuss, D. (2011). Overrecruitment in the aging brain as a function of task demands: evidence for a compensatory view. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 801–815.
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-dependent knowledge in young and elderly adults: arguments from the cross-modal priming effect. *Current Aging Science*, *4*, 137–149.
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (sous presse). Exploring the contradictory results on the cross-modal priming effect in normal aging: a critical review of the literature. In *Psychology of priming*. Hauppauge: Nova Science Publishers Inc.
- Van den Bussche, E., Notebaert, K., & Reynvoet, B. (2009). Masked primes can be genuinely semantically processed. *Experimental Psychology*, *56*, 295–300.
- Van der Linden, M. (2004). L'épreuve de rappel libre/rappel indicé à 16 items (RL/RI-16). In M. Van der Linden & F. Coyette (Eds.), *L'évaluation des troubles de la mémoire*. (pp. 25–47). Marseille: Solal.

- Wallace, M., Roberson, G., Hairston, W., Stein, B., Vaughan, J., & Schirillo, J. (2004). Unifying multisensory signals across time and space. *Experimental Brain Research*, *158*, 252–258.
- Warrington, E., & James, M. (1991). *The visual object and space perception battery*. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company.

7.A Appendices

7.A.1 Correlations between the different experimental conditions in the young and older adults' groups.

Table 7.5: Correlations between the different experimental conditions in the young and older adults' group.

		Reaction Times		Correct Resp.	
		Young	Older	Young	Older
Congruent Unmasked	Congruent Masked	0.92	0.84	0.01	0.09
Congruent Unmasked	Incongruent Unmasked	0.87	0.86	0.03	0.12
Congruent Unmasked	Incongruent Masked	0.93	0.88	0.05	0.07
Congruent Masked	Incongruent Unmasked	0.85	0.89	0.24	0.18
Congruent Masked	Incongruent Masked	0.87	0.82	0.43	0.08
Congruent Masked	Incongruent Masked	0.87	0.80	0.02	0.15

Notes. Correct Resp.= Correct Response Rates

7.A.2 Experimental results for each group.

Separated analyses of ANOVA on the reaction times were performed in the young and elderly groups. The results showed similar patterns with the item-congruency by mask interaction as the main result (see Figure 7.3).

In the young adults, the reaction times analyses indicated a main effect of the item-congruency factor, $F(1, 31) = 7.61$, $p < .05$, with slower reaction times in the congruent condition. The data also showed an interaction between item-congruency and mask factors, $F(1, 31) = 10.34$, $p < .05$. There was no other effect. The detailed analysis of the interaction between the mask and the item-congruency showed that the unmasked items in the semantically congruent unmasked condition were processed faster than masked items, $t(31) = -3.42$, $p < .05$. In contrast, the items in the unmasked item-incongruent condition trended to be processed slower than the masked items, $t(31) = -1.64$, $p = .05$.

In the elderly group, the reaction times analyses indicated an interaction between item-congruency and mask factors, $F(1, 31) = 6.81$, $p < .05$. There was no other effect. The detailed analysis of the interaction between the mask and the item-congruency showed that the unmasked items in the semantically congruent unmasked condition were processed faster than masked items, $t(31) = -2.57$, $p < .05$. In

contrast, the items in the unmasked item-incongruent condition were processed slower than the masked items, $t(31) = -1.74, p = .05$.

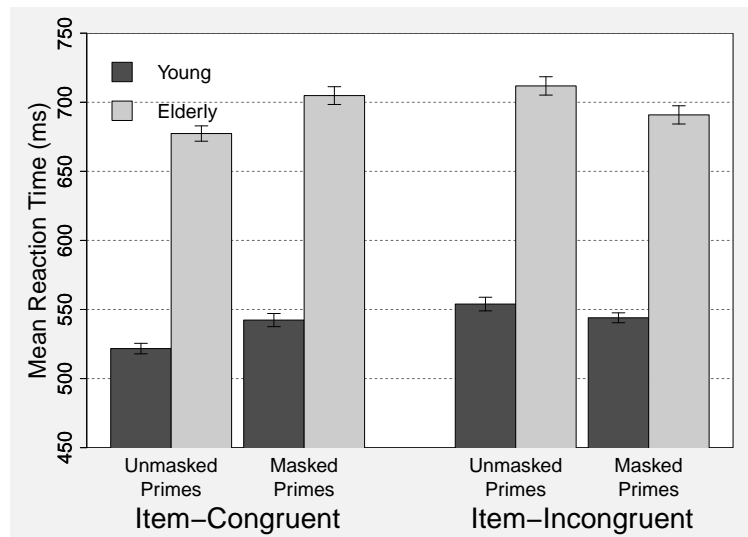


Figure 7.3: Interaction between the mask and the semantic congruency factors by group on the reaction times with standard errors.

Synthèse intermédiaire

Cet article a exploré plus avant la nature et la spécificité de l'effet d'interférence du masque observé dans l'Expérience 1 présentée dans l'article précédent. Le même type de paradigme d'amorçage inter-sensoriel portant sur du matériel familier bi-modal (son et photographie) a été utilisé. Comme précédemment, des jeunes adultes et des personnes âgées cognitivement saines ont réalisé une tâche de catégorisation vivant/non-vivant. Le paradigme a été adapté à court terme, c'est-à-dire que l'amorce et la cible étaient présentées au sein d'un même essai. Cette adaptation permet de manipuler la congruence sémantique afin de tester la nature et la spécificité de l'effet du masque. Autrement dit, dans la moitié des essais inclus dans l'analyse, la cible correspondait à la l'amorce entendu (miaulement – chat) et dans l'autre moitié la cible référait à un exemplaire différent de l'amorce appartenant à une une même catégorie.

Les résultats répliquent un effet d'amorçage significatif pour les jeunes adultes comme pour les personnes âgées. Le principal résultat est l'interaction entre le masque et la congruence sémantique. Lorsque l'amorce et la cible réfèrent à la même connaissance, le masque a eu un effet interférant, répliquant l'effet observé dans le précédent article. À l'inverse, lorsque l'amorce et la cible correspondent à deux connaissances différentes (i.e. deux exemplaires dans une même catégorie), le masque a eu un effet facilitateur. Cette interaction est en accord avec les approches modales de la mémoire puisque l'interférence du masque ne doit s'observer que pour des activations (simulation) d'éléments associés à une même trace mnésique. Cette interaction va à l'encontre de l'hypothèse attentionnelle, puisque celle-ci suppose un effet similaire quelque soit la congruence sémantique.

Ces données suggèrent que le traitement d'un stimulus se traduit par une (co)-activation directe des composantes associées à ce stimulus. Ainsi, une altération des voies de communication entre les aires cérébrales sous-jacentes aux traitements de ces composantes devrait entraîner un déficit de ces co-activations. La maladie d'Alzheimer (MA) a pu être caractérisée comme un syndrome de déconnexion cérébrale, rendant cette pathologie particulièrement pertinente à l'étude de cette hypothèse. L'avancée en âge étant le premier facteur de la MA, les personnes âgées cognitivement saines représentent le groupe contrôle idéal pour les patients souffrant de la MA permettant de dresser un continuum dans les recherches présentées jusqu'à présent.

Quatrième partie

Un syndrome de déconnexion cérébrale dans la maladie d'Alzheimer ?

Chapitre 8

The disconnection syndrome in the Alzheimer's disease

The Cross-modal Priming Example.

Guillaume T. Vallet^{1,2}, Carol Hudon^{2,3}, Martine Simard²
and Rémy Versace¹

¹ Laboratoire EMC, Lyon2 University, Lyon, France

² School of Psychology, Laval University, Quebec City, Canada

³ Centre de recherche de l'institut de universitaire en santé mentale de Québec,
Quebec City, Canada

Soumis à *Cortex* le 08/03/2012.

Acknowledgements

Guillaume Vallet and Rémy Versace are supported by a grant from the Rhône-Alpes Region in the cluster "Handicap, Aging, and Neurosciences".

Abstract

Implicit memory is generally supposed to be preserved in Alzheimer's disease (AD). Yet, some implicit priming effects are impaired and others are not. The preserved / impaired priming effects are often interpreted according to the perceptual / conceptual or identification / production distinctions. Perceptual–identification priming paradigms shall be preserved and conceptual–production priming paradigms impaired. A third interpretation is yet possible based on the disconnection syndrome hypothesis. According to this hypothesis, patients with AD should fail tasks requiring relatively complex brain communications. The present study tests this latter hypothesis with two cross-modal priming experiments using an identification task. A visual meaningless mask presented with half of the auditory primes tested the perceptual nature of the cross-modal priming effect. The control group exhibited significant priming effects. Moreover, the mask interfered with this effect demonstrating its perceptual nature. Patients with AD did not present any priming effect nor mask interference. The present findings therefore showed that perceptual priming using an identification task could be impaired in AD supporting the disconnection syndrome hypothesis.

Keywords: Alzheimer's disease; Implicit memory; Cross-modal priming; Disconnection syndrome.

8.1 Introduction

Amnesic patients demonstrate massive explicit memory impairment –typically in episodic memory– whereas most of implicit memory tasks (priming effects) remain preserved (Squire & Zola-Morgan, 1997). This dissociation was thought to be true in Alzheimer's disease (AD) as well. AD represents the most common form of dementia initially characterized by a progressive episodic memory deterioration (e.g. Fleischman & Gabrieli, 1999) and preservation of implicit memory assessed using priming effects. However, several studies have demonstrated that all forms of priming effects are not equally preserved in AD. It is now widely accepted that perceptual priming is preserved and conceptual priming is impaired (see Fleischman, 2007, for a review). According to other studies, the significant distinction is between identification tasks –preserved– and production tasks –impaired (Fleischman et al., 2001). A third alternate explanation might also account for the preserved/impaired patterns of priming in AD based on the cerebral disconnection syndrome hypothesis (Delbeuck et al., 2003). This hypothesis suggests that any task involving a communication between several brain areas of patients with AD should be altered. Consequently, a perceptual priming paradigm using an identification task that requires a communication between different brain areas should also be impaired. The present study was designed to assess this particular issue with two experiments.

A priming effect is observed in various tasks when the previous presentation of one stimulus (the prime) facilitates the processing of a subsequent stimulus (the target). Different forms of priming should be differentiated based on the material used –perceptual and conceptual priming (Keane et al., 1991) or according to the link between the stimuli. If the same stimulus is used as prime and target, the priming is called repetition or direct priming (Tulving & Schacter, 1990). If the stimuli are linked by a semantic relationship such as "doctor–nurse" then the paradigm is called semantic or associative priming (e.g. Hutchison, 2003; Verfaellie, Martin, Page, Parks, & Keane, 2006). Finally, if the two stimuli refer to the same semantic object, but are presented in different modalities, the priming is called cross-modal priming (e.g. meow sound–cat's picture) (Schneider, Engel, & Debener, 2008).

Priming effects were thought to be preserved in AD as it is supposed to be for amnesia (Squire & Zola-Morgan, 1997). Supporting this hypothesis, repetition and perceptual priming in different modalities are preserved in these AD patients (see, Fleischman, 2007; Meiran & Jelicic, 1995, for a review). Nevertheless, studies have reported a more complex pattern of results for conceptual priming paradigm in AD. For instance, some authors found that patients with AD are impaired for priming effects based on newly learned associations (Ergis et al., 1998), whereas another

study found significant priming effect using a similar paradigm (Christensen & Birrell, 1991). However, very few studies were conducted on this issue. More data are available for conceptual/semantic priming, but the results remain contradictory. Regarding within-modality conceptual priming, it was sometimes reported as impaired (Keane et al., 1991; Monti et al., 1996) and sometimes as preserved (Ergis et al., 1995; Martins & Lloyd-Jones, 2006; Nakamura et al., 2000) in patients with AD. Cross-modal priming effects lead to similar results with one study demonstrating normal priming effect (Carlesimo et al., 2001), whereas two others did not (Carlesimo et al., 2004; McGeorge et al., 2002).

One way to explain these contradictions might come from the strength of the semantic relationship between the stimuli. Based on two experiments, Balota et al. (1999) have concluded that AD patients presented priming effect only if a strong and unambiguous semantic relationship linked primes and targets. Another explanation of the discrepancy relies on the task used in these studies. As pointed out by Fleischman and Gabrieli (1998), the lack of significant priming effect was generally reported in studies using production tasks such as word completion (Keane et al., 1991) or exemplar generation (Monti et al., 1996) tasks. These tasks appear to involve more conscious strategies of retrieval, which might explain some aging effects on priming (Geraci & Barnhardt, 2010). In addition, attention demands on these tasks are higher than on identification tasks and might explain why patients with AD are impaired on production tasks (Gabrieli et al., 1999).

Neuroimaging data offer a new way to understand the preserved/impaired priming effect pattern in Alzheimer's disease with the disconnection syndrome hypothesis. This hypothesis was first proposed in the 1980' (Morrison, Scherr, & Lewis, 1986), but the idea met a new growing interest more recently (for a review, see Delbeuck et al., 2003). The emphasis of this hypothesis is to consider AD not as "the consequence of a pathophysiology in one or more neuronal systems but rather [as] a disturbance of the brain's effective connectivity suggesting abnormal interactions between neuronal systems" (Delbeuck et al., 2003, p.80). Some brain regions are more vulnerable to the disconnection than other parts as cortico-cortical connections, anterior-posterior networks and interhemispheric connections (for a review, see Chua, Wen, & Slavin, 2008). The disconnection is not a complete break down of the cerebral connection, but rather a degradation of their effectiveness. Consequently, complex brain synchronizations are impaired whereas simpler communications remain preserved (Stam et al., 2007).

Applied to cognitive tasks, the synchronization degradation has obvious deleterious consequences for divided attention tasks and executive tasks that are underlain by large networks (Perry & Hodges, 1999). The disconnection syndrome also disrupts multisensory integration for meaningless (Festa et al., 2005) and meaningful (Delbeuck et al., 2007) stimuli and should have negative repercussions on episodic

memory (Sperling et al., 2010; Stoub et al., 2006) and working memory (Parra et al., 2009). Yet, no study published to date addressed the question of priming effects. A disconnection syndrome will probably have no or few repercussions on repetition priming effects since they involve a limited number of brain areas (Schacter & Buckner, 1998). However, conceptual priming (Rissman, Eliassen, & Blumstein, 2003) and cross-modal priming effects (Sass, Krach, Sachs, & Kircher, 2009) involve larger networks, which might be impaired by a disconnection between the different components. Cross-modal priming paradigms should even be more sensitive to the disconnection because different studies demonstrated that sensory modalities are disconnected in AD (Golob et al., 2001).

The main objective of the present study was therefore to test perceptual priming effects according to the disconnection syndrome hypothesis in Alzheimer's disease. According to this hypothesis, a perceptual priming paradigm using an identification task should be impaired in patients with AD if a synchronous brain communication is required as in the cross-modal priming paradigm. This hypothesis was tested with two experiments using a masked cross-modal priming paradigm from auditory to visual modalities. In Experiment 1, the paradigm was in a long-term form, meaning that all the targets were presented 5 minutes following the first phase. In Experiment 2, the paradigm was adapted into a short-term form, meaning that the target was immediately following the prime in the same trial. Experiment 2 was conducted to manipulate the semantic congruency. The short-term form allows this manipulation, i.e. the prime and the target could refer to the same or to different semantic objects. In both experiments, participants had to categorize the stimuli into animals or artefacts. For half of the auditory primes, a visual meaningless mask was simultaneously presented. The mask was used to assess the perceptual/conceptual nature of the cross-modal priming effect. Previous studies using these paradigms have demonstrated a mask interference suggesting that cross-modal interactions are perceptual and direct (Vallet et al., 2010; Vallet, Riou, Versace, & Simard, 2011). These paradigms have also been validated in normal aging confirming the perceptual nature of the effect in healthy elderly adults (Vallet, Simard, & Versace, 2011). Based on the disconnection hypothesis, we expected that patients with AD should not present any cross-modal priming effect, whereas elderly controls should. The mask should interfere with the priming effect in the elderly group demonstrating the perceptual nature of the effect, whereas it should have no effect in patients with AD.

8.2 Experiment 1: Long-Term Priming Paradigm

8.2.1 Method

Participants

Eighteen healthy elderly and 18 patients with AD were included in the experiment and were recruited in France (see Table 8.1). All patients received a diagnostic of probable AD according to the DSM-IV (American Psychiatric Association, 2004) and the NINCDS-ADRDA criteria (McKhann et al., 1984). They were all in the early to moderate stages of the disease defined by a MMSE score between 18 and 26. These patients were recruited in four different centers at the general hospital of Bourg en Bresse, two specialized centers in Lyon and Dijon and with the collaboration of a neurologist in private practice. All patients were stabilized on cholinesterase inhibitors since at least three months.

The healthy elderly group was recruited using public announcements and with the help of two community centers in Lyon. These participants were education- and age-matched with the AD patients. The data of the healthy elderly participants were presented and discussed in a previous study (Vallet, Simard, & Versace, 2011). In this latter study, a group of 24 participants were recruited. From these participants, 18 participants were selected to match the number and demographic characteristics of patients in the AD group in respect with the experimental counterbalances. Health information was gathered from all participants during an extensive medical history and medication interview. Participants with a medical history and/or taking medications for conditions with known sensory or neurological effects were excluded. All participants in the study were native French speakers and demonstrated adequate speech, visual and hearing performances.

All participants underwent a neuropsychological screening battery which included standard tests of general cognitive functioning [Mini-Mental State Examination (Folstein, 1975)], verbal memory [RL/RI-16 free and cued recall task (Van der Linden, 2004)], working memory [Forward and backward digit span (Wechsler, 2000)], executive functions [Trail Making Test (GREFEX, 2008; Lezak et al., 2004) and Stroop test (GREFEX, 2008)], and executive-semantic functions [word fluency test (Cardebat et al., 1990)].

The present study was in accordance with the ethical standards of the responsible committee on human experimentation (Lyon 2 University) and with the Helsinki Declaration of 1975, as revised in 2000. All participants signed an informed consent

Table 8.1: Demographic and neuropsychological data of healthy elderly adults and patients with AD included in Experiment 1.

		Elderly adults (18)		Patients with AD (18)	
		Mean	SD	Mean	SD
Demographics					
	Sex (F/M)	13/5		13/5	
	Age (years)	76.17	8.62	79.83	2.75
	Education (years)	11.67	2.50	12.17	3.07
Neuropsychological Screening					
<i>Global</i>	MMSE	28.17	1.54	22.28	1.67 *
<i>Memory</i>	RL/RI				
	Immediate Recall (/16)	14.89	1.49	10.19	3.21 *
	Sum of free recall (/48)	27.44	6.53	7.39	8.64 *
	Sum of total recall (/48)	43.39	4.19	18.67	13.73 *
	Delayed free recall (/16)	10.33	2.30	1.75	2.82 *
	Delayed total recall (/16)	15.50	0.79	5.94	4.60 *
	Recognition	15.94	0.24	14.31	1.78 *
<i>Executive</i>	Stroop				
	Color	73.00	16.59	103.82	19.41 *
	Word	67.06	23.58	69.18	18.30
	Word-Color	175.89	68.98	320.12	109.26 *
	Errors Word-Color	2.33	2.89	8.06	6.19 *
	TMT				
	A	66.89	33.88	96.65	43.65 *
	B	215.50	138.57	308.94	104.36 *
	Errors Part A	0.33	0.59	0.65	1.00
	Errors Part B	1.67	1.78	3.59	2.35 *
	Digit span				
	Forward	5.67	1.08	5.17	0.99
	Backward	4.33	1.24	3.78	0.65
<i>Mixed</i>	Verbal fluency (2 min.)				
	Categorical	30.06	10.24	16.29	7.52 *
	Phonemic	19.06	6.22	12.94	7.43 *

Notes. Executive= executive functions; SD= standard deviation; *= *t*-test, $p < .05$.

form before the experimental session started. Each participant was tested individually in sessions that lasted approximately 1.5 hours for healthy elderly participants, and about 2 hours for patients with AD. Following a short clinical interview, the participants began the cognitive battery. They first responded to the MMSE, and then to the memory test, the RL/RI-16. During the 15 minutes separating the last immediate recall from the delayed recall, they completed the TMT, the Stroop task and the Digit Spans. After the recognition task, participants completed the word fluency test and, finally, they performed the experiment described below.

Materials

The materials and procedure for this experiment were identical to those described in a previous study (Vallet, Simard, & Versace, 2011). Therefore, only the main points will be presented below. The priming paradigm was composed of two separated phases. In the first phase –study phase– all the sound primes were presented. For half of them, a visual meaningless mask was simultaneously displayed on the screen defining the masked condition. Participants had to complete an animal/artefact categorization task. The second phase –test phase– was composed of all the visual targets to be categorized as animals or artefacts. These targets could belong to three different conditions: old-unmasked, old-masked and new. The old-unmasked condition refers to pictures from which the corresponding sound was heard in the study phase. The old-masked condition was similar to the old-unmasked condition except that the sound prime was presented with the visual mask. Finally, the new condition corresponded to photographs with no corresponding sound heard in the study phase.

Sixty familiar bimodal items (photographs and sounds) from a database developed in our laboratory were used (see Vallet et al., 2010). For the need of the categorization task, half of the items (30) represented animals, and the other half, artefacts. In addition, 10 visual color masks were created as meaningless stimuli. All the photographs and masks had the same format (393 x 295 pixels with a resolution of 72 x 72 dots per inch) and all the sounds were edited to last 1,000 msec.

Forty sounds were included in the study phase. Half of them were included in the unmasked condition and the other half in the masked condition. The sixty photographs were divided into three conditions in the test phase: old-unmasked, old-masked and new. All the stimuli were counterbalanced in all the conditions across participants (three different experimental lists). In addition, six sounds and six pictures (not included in the analyses) were used for the practice trials of the two phases. The practice trials represented all the experimental conditions.

A trial-unique paradigm was chosen in order to avoid uncontrolled effects, which might result from multiple presentations (see [Barens et al., 2007](#)). Consequently, the experiment was composed of 20 trials per condition.

Procedure

The experiment was conducted using a MacIntosh MacBook Pro using Psyscope software X B53 ([Cohen et al., 1993](#)) to set up and manage the experiment. Each participant was tested individually in one session lasting approximately 10 minutes (see [Figure 8.1](#) for an illustration of the protocol). The participants were informed that they were taking part in a study on reaction speed to visual and auditory stimuli. The procedure was described by the experimenter. The participants were asked to keep their eyes open during all the experiment. Each participant adjusted the auditory intensity in order to reach a comfortable level.

In the study phase, each trial started with a central fixation point displayed for 500 msec. This was followed 300 msec later, by a 1,000 msec sound presented bi-aurally through a stereo headset. Half of the stimuli corresponded to animal sounds. Finally, a white screen was displayed for 3,000 msec or until the subject responded to the categorization task. In the masked trials, a visual mask appeared at the beginning of the sound and continued to be displayed for 4,000 msec or until the end of the trial. Participants had to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the sound corresponded to an animal or to an object. They had to answer by pressing the appropriate key on the keyboard. The 40 experimental trials were preceded by six practice trials.

After the first phase (study phase), the participants had a 3 minute break. During this break, an open discussion was engaged. Then, the participants were presented with the instructions for the test phase and began the six new practice trials. The test phase consisted in the categorization of 60 pictures. One-third of these pictures were new (no corresponding sound had been presented in the study phase). One-third corresponded to a sound presented without a visual mask in the study phase (old-unmasked items). At last, the final third corresponded to a sound presented with a visual mask in the study phase (old-masked items). The trial sequences were similar to those used in the study phase, except that pictures placed centrally were presented instead of sounds. The presentation time was 1,000 msec and no mask was used. The participants had to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the pictures corresponded to an animal or to an object.

All the stimuli were presented according to a pseudo-random order. The response keys used were 'd' and 'k' and were counterbalanced across the participants.

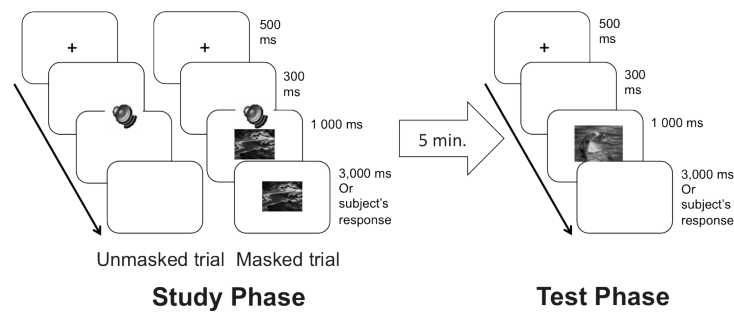


Figure 8.1: Illustration of the experimental protocol of Experiment 1. All auditory primes were presented and categorized in the study phase. Then, all photograph targets were categorized. Half of the primes were presented with a visual meaningless mask.

Response logging started with the presentation of the sound in the study phase, and with the presentation of the picture in the test phase.

Statistical analyses

Data were first treated by Excel 2008 for Macintosh (Microsoft Corp.) and then analyzed using R version 2.11.1 (R Foundation for Statistical Computing). The mean reaction times for correct responses and mean rates of correct responses were calculated across subjects for each experimental condition. Reaction times by condition exceeding 3,000 msec and 2.5 standard deviations above each participant's mean and reaction times less than 150 msec and 2.5 standard deviations below each participant's mean were treated as outliers and removed from the analyses (less than 5% of the data). Separate repeated measures analyses of variance (ANOVA) were performed on percentages of correct responses and reaction times. The analyses of the study phase were performed according to a 2 (group: elderly vs. patients with AD) x2 (masking: masked vs. not masked) ANOVA with repeated measures for the last variable. The analyses of the test phase were performed according to a 2 (group: elderly vs. patients with AD) x3 (item type: new; old-masked; old-unmasked) ANOVA with repeated measures for the last variable. An alpha level of 0.05 was used for all the ANOVA tests.

8.2.2 Results and Discussion

Study Phase

The data of the study phase are presented in Table 8.2.

The analyses performed on the correct responses revealed a main effect of group, $F(1, 34) = 6.58$, $p < .05$, $\eta_{partial}^2 = .16$, with less errors committed by healthy elderly participants compared to Alzheimer's patients (91% vs. 86% of correct responses). On average, the participants registered a correct response rate of 89%, they thus performed the task accurately. There was no significant effect of the mask factor, $F(1, 34) = 2.17$, $p = .15$, and there was no group by mask interaction, $F < 1$.

The analyses of the reaction times showed a main effect of group, $F(1, 46) = 11.84$, $p < .01$, $\eta_{partial}^2 = .26$, with shorter reaction times in the control group compared to the AD group. There was no significant effect of the mask factor, $F(1, 34) = 2.04$, $p = .16$, and no group by mask interaction, $F < 1$.

Table 8.2: Means and standard deviations for correct response rates and reaction times for the elderly and the patients with AD in the study phase of Experiment 1.

Groups	Conditions	CR (rate)		RT (ms)	
		Mean	SD	Mean	SD
Elderly (N=18)	Unmasked	0.90	0.09	1404	412.00
	Masked	0.92	0.10	1420	492.96
AD patients (N=18)	Unmasked	0.85	0.12	1939	468.53
	Masked	0.88	0.11	1884	523.28

Notes. AD= Alzheimer's disease; RT= reaction time;
CR= correct response rate; SD= standard deviation.

Test Phase

The data of the test phase are presented in Table 8.3.

The analysis performed on the correct responses revealed only a main effect of group $F(1, 34) = 4.89$, $p < .05$, $\eta_{partial}^2 = .13$, but no other effect ($F < 1$). The elderly participants registered a correct response rate of 98% and the Alzheimer's patients a rate of 97%, they thus performed the task very accurately.

The analysis of reaction times revealed an item types by group interaction, $F(2, 68) = 3.66$, $p < .05$, $\eta_{partial}^2 = .09$. There was no group effect ($F(1, 34) = 2.75$, $p = .11$) and no item type effect ($F(1, 34) = 1.28$, $p = .28$).

The group by item-type interaction was analyzed by separate ANOVAs for the control participants and Alzheimer's patients (see Figure 8.2). In the elderly group, the results showed a main effect of the item type, $F(2, 34) = 17.00$, $p < .01$, $\eta_{partial}^2 = .34$. Planned comparisons demonstrated that responses were significantly

Table 8.3: Means and standard deviations for the elderly and AD patients in all the experimental conditions of Experiment 1, test phase

Groups	Conditions	CR (rate)		TR (ms)	
		Mean	SD	Mean	SD
Elderly (N=18)	New	0.99	0.03	890	278.46
	Old-Masked	0.98	0.04	876	267.21
	Old-Unmasked	0.98	0.03	837	260.16
AD patients (N=18)	New	0.96	0.04	1020	279.53
	Old-Masked	0.97	0.04	1005	264.52
	Old-Unmasked	0.97	0.04	1030	304.70

Notes. AD= Alzheimer's disease; RT= reaction time;
CR= correct response, SD= standard deviation.

faster for old items than for new items, $p < .01$, and for old-masked items, $p < .01$. The difference indicated a cross-modal priming effect (-18.5 ms). No significant difference was observed between new and old-masked items, $p = .34$. In the AD group, the results showed no significant effect of the item type ($F < 1$).

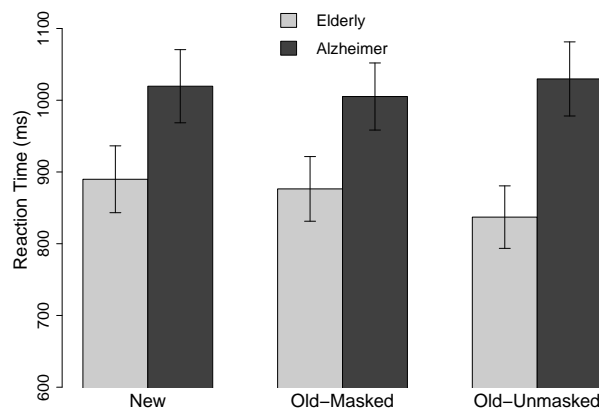


Figure 8.2: Interaction between the group and the mask in the test phase of Experiment 1

Discussion

A first point to note is that patients with AD performed accurately the categorization task. Their correct response rate was superior to 85% in the study phase and superior to 96% in the test phase. These patients were slower than elderly controls in the study phase, but no significant effect was observed in the test phase. The lack of mask effect in the study phase suggests that the masked auditory primes were not processed differently than the unmasked primes. The main result of the

experiment was the group by item-type interaction in the test phase. Subsequent analyses revealed that elderly controls showed a significant cross-modal priming effect (old-masked subtracted from the new condition) contrary to AD patients. This priming effect replicated the results of cross-modal priming studies in healthy aging using familiar material (Ballesteros et al., 2009; Norman et al., 2006). More important here, the mask presented in the study phase was interfering with the priming effect. It was sharing the target's modality (visual) and not the modality of the prime. Old-masked items were processed as new items, whereas the old items were processed faster than old-masked items.

Since no mask effect was observed in the study phase, and since the stimuli in the old-masked condition were processed as the other stimuli, the interference does not seem to rely on worst processing of the primes. The interference is therefore related to the activation of the target rather than to the masking of auditory prime. These results suggest a direct activation between the modalities as hypothesized by the grounded cognition theory (see Vallet et al., 2010). According to the grounded cognition theory, knowledge remains grounded in its features (mainly sensory-motor) forming modal knowledge (see, Barsalou, 2008, for a review). The cognitive system is supposed to simulate the situation to process and this simulation is thought to occur in the same brain areas than perception (e.g. Ishai & Sagi, 1995; Simmons, Hamann, Harenski, Hu, & Barsalou, 2008). Consequently, the mask might interfere with simulation of the associated modalities of the prime, suggesting a perceptual interference. A perceptual interference between modalities appears unlikely in the amodal approach of knowledge since the cross-modal interactions occur in semantic memory (Chen & Spence, 2010). The results of the elderly group, as well as the implications of these data, were further discussed in a previous article (Vallet, Simard, & Versace, 2011).

Regarding AD, the results showed a lack of priming effect. According to the amodal approach of memory, cross-modal priming effects are supposed to be underlied by semantic memory (Chen & Spence, 2010; Tulving, 1995). The lack of effect in patients with AD might thus be explained by the early impairment of semantic memory that could be reported in this population (Chertkow et al., 2008; Joubert et al., 2010). This hypothesis is supported by some studies demonstrating impaired semantic priming effect (e.g. Hernández, Costa, Juncadella, Sebastián-Gallés, & Reñé, 2008). However, other studies have also reported normal semantic priming effects (e.g. Giffard et al., 2001; Laisney et al., 2011). These contradictory results question the validity of the semantic based priming effects in AD. Nevertheless, the mask by item-type interaction in the elderly group demonstrated the perceptual nature of the priming effect. Perceptual priming is supposed to be preserved according to the literature (Fleischman & Gabrieli, 1998; Fleischman et al., 2005; Yano, Umeda, & Mimura, 2008). Consequently, patients with AD should present a

priming effect, but did not here.

Several explanations may account for these different contradictions. A first hypothesis is that despite the mask interference observed in the elderly participants of the present study, the priming effect was semantic in nature. In this case, the mask effect should rely on attention since the mask was meaningless. Attention resources could have been divided between modalities so that the prime was less efficiently processed, and so was the target (Mulligan, 2003). A second hypothesis could be that the long-term form of priming used in the present experiment led to the loss of the initial activation of the prime processing (Heindel, Salmon, Fennema-Notestine, & Chan, 1998). Experiment 2 was designed to test these two hypotheses.

8.3 Experiment 2: Short-Term Priming Paradigm

The long-term form of the cross-modal priming used in Experiment 1 was adapted into a short-term form. In this case, the target immediately follows the prime in the same trial. In addition, this design allows the manipulation of semantic congruency between the prime and the target. A semantic congruent situation corresponds typically to the presentation of a complex visual stimulus paired with a matching auditory counterpart, for instance the picture of a dog and a barking sound. An attention-based mask interference should alter the processing of the target regardless of the semantic congruency. On the contrary, a simulation explanation of the mask effect supposes that the mask effect would be restricted to the semantic congruent condition. Finally, if the lack of effect reported in Experiment 1 results from a loss of activation then, patients with AD should present a priming effect in the short-term form.

8.3.1 Method

Participants

Sixteen Alzheimer's patients and 16 healthy elderly adults were included in Experiment 2. None of them had taken part to the previous experiment.

The demographic characteristics of the two groups are presented in Table 8.4. All the patients met the criteria of probable AD according to the DSM-IV (American Psychiatric Association, 2004) and to the NINCDS-ADRDA criteria (McKhann

et al., 1984). All the patients were in the mild to moderate stages of the disease defining by a MMSE score above 18. These patients were recruited in Quebec City (Quebec, Canada) in the community, in a community center, or in the pool of patients already followed in our laboratory. Most of them (12) took a cholinesterase inhibitor since at least three months, the others did not take any nootropic. The healthy elderly individuals were recruited through public announcements and two community centers in Quebec City. Thirty two healthy elderly took part in larger study on memory. From this sample, 16 participants were education and age matched with the AD patients.

As for Experiment 1, health information was gathered in all participants during an extensive interview about their history and medication. Participants with a medical history and/or taking medications for conditions with known sensory or neurological effects were excluded.

All participants underwent a neuropsychological screening battery which included hearing perception [audiogram measuring audio frequencies and auditory volume (Hearing test, Digital Recordings)], visual acuity [Monoyer's test at 3 meters], cognitive speed [simple reaction time task (SRT)], a standard test of general cognitive functioning [Mini-Mental State Examination (Folstein, 1975)], verbal memory [RL/RI-16 free and cued recall task (Van der Linden, 2004)], executive functions [Trail Making Test (Delis *et al.*, 2001; Lezak *et al.*, 2004); Stroop test (GREFEX, 2008) and the Hayling Test (adapted from, Burgess & Shallice, 1997)], visuo-spatial abilities [Visual Object and Space Perception battery (Warrington & James, 1991)], shape detection, incomplete letters and number location sub-tests], and executive-semantic functions [word fluency test (Cardebat *et al.*, 1990)].

This research was approved by the Ethical Committee of the "Institut universitaire en santé mentale de Québec" and all participants signed an informed consent form prior to the experimental session. Each participant was tested individually in sessions that lasted approximately 3 hours for the elderly participants, and about 4.5 hours for the patients with AD. The older adults completed the protocol in two sessions each lasting 1.5 hours. The patients with AD completed the protocol in three sessions each lasting about 1.5 hours. Usually, a week separated the different sessions.

Materials and procedure

The material and procedure were identical to those described in a previous study (Vallet, Riou, *et al.*, 2011) so that only the main points will be presented below.

Table 8.4: Demographic and neuropsychological data of healthy elderly adults and patients with AD included in Experiment 2.

			Elderly adults (16)		Patients with AD (16)	
			Mean	SD	Mean	SD
Demographics						
	Sex (F/M)		12/4		12/4	
	Age (years)		74.19	7.39	75.25	7.59
	Education (years)		14.81	5.56	14.19	4.43
Neuropsychological Screening						
<i>Global</i>	MMSE		28.69	1.01	24.19	4.43 *
<i>Speed</i>	Simple Reaction time		303.00	51.78	330.67	35.96
<i>Perception</i>	Visual Acuity	Uncorrected	6.69	3.49	6.82	3.13
	Visual Acuity	Corrected	4.68	3.32	6.91	3.00 *
	Auditory Acuity		6.18	2.92	6.95	2.83
	VOSP					
		Screening	19.75	0.44	19.36	0.96
		Letters	19.31	0.87	17.25	4.89
		Numbers localisation	8.81	1.17	9.00	3.56
<i>Memory</i>	RL/RI					
		Immediate Recall (/16)	15.38	0.00	10.44	3.6 *
		Sum of free recall (/48)	39.28	0.62	8.38	8.48 *
		Sum of total recall (/48)	46.31	2.24	21.31	14.33 *
		Delayed free recall (/16)	12.88	2.33	3.00	3.86 *
		Delayed total recall (/16)	15.86	0.34	7.27	5.12 *
		Recognition	15.86	0.34	12.00	3.72 *
<i>Executive</i>	Stroop					
		Color	55.44	8.46	93.50	67.00
		Word	40.66	5.68	56.13	24.85
		Word-Color	91.03	16.74	227.93	106.33 *
		Errors Word-Color	0.12	0.42	5.33	6.29 *
	TMT					
		Part 1	29.13	5.74	34.43	15.70
		Part 2	45.69	13.17	98.29	83.10 *
		Part 3	51.06	15.37	81.69	56.96
		Part 4	123.13	61.42	229.46	104.29 *
		Part 5	32.56	10.89	51.36	30.97 *
		Errors Part 4	1.13	1.36	3.00	2.38 *
	Hayling Test					
		Part A	49.44	5.70	45.62	18.41
		Part B	143.75	42.00	175.17	100.42 *
<i>Mixed</i>	Verbal fluency					
		Categorical	17.44	3.42	11.13	4.42 *
		Phonemic	11.50	4.06	7.75	3.81

Notes. Executive= executive functions; SD= standard deviation; *= *t*-test, $p < .05$.

Contrary to Experiment 1, Experiment 2 used a short-term cross-modal priming paradigm. In other words, the sound prime and the picture target belonged to the same trial and were not presented in two distinct phases. The same categorization task into animals/artefacts was used.

The general design was a 3 (congruency: item-congruent, item-incongruent, category-incongruent) x2 (mask: unmasked primes, masked primes) within factors (see Table 8.5 for the distribution of the factors and the number of stimuli by condition). Half of the trials corresponded to category-congruent situation in which the sound prime and the picture target belonged to the same semantic category (animals vs. artefacts). Two sub-conditions were included in the category-congruent: 1) the item-congruent condition in which the sound prime and the picture target refer to the same object ("meow" sound – cat's picture); 2) the item-incongruent condition (guitar sound – hornet picture). Category-congruent situation represented the condition of interest in the present study as explained below. The other trials were included in the category-incongruent condition, i.e. with the prime and target in different categories, and were used in order to avoid any possible prediction in the categorization task. Half of all the trials were divided into the unmasked and masked conditions.

Overall, 256 stimuli were used: half of them (128) were sounds and half color photographs illustrating the objects in their natural context. Half of the stimuli (128) represented familiar animals (e.g. cow, cat, dog, lion) and the other half familiar artifacts (e.g. piano, guitar, bell, airplane). One hundred and ten stimuli were the same than those used in Experiment 1. Fifteen new bimodal (photograph and corresponding sound) items were added in order to adapt the experimental material for the Quebec population. These new stimuli were tested to ensure they kept the same properties than those previously included. These 140 stimuli were used in the experimental conditions included in the analyses. From the 10 visual masks used in Experiment 1, 8 were included in Experiment 2. The photographs, masks and sounds had the same physical properties than that described in Experiment 1.

For the needs of the categorization task, 84 stimuli (half photographs) were added. These stimuli were objects that are not typically associated with a sound (e.g. ant, table) or hard to identify in the auditory modality (e.g. clarinet sound, birdsong) as suggested by the results of a pre-test experiment. These stimuli were included in the conditions not analyzed. Finally, 32 stimuli (half photographs) were used in the 16 practice trials and not included in the analyses. The practice trials represented all the experimental conditions, and they were the same for all the participants. As for Experiment 1, a trial-unique paradigm was chosen.

In the present experiment, the manipulation of semantic congruency was in an

Table 8.5: Repartition of the number of stimuli as function of the experimental factors.

Category-Congruency	Item-Congruency	Mask	Stimuli	Total
Category-Congruent	Item-Congruent	Unmasked	14 bimodal stimuli	28
		Masked	14 bimodal stimuli	28
	Item-Incongruent	Unmasked	14 sounds + 14 pictures	28
		Masked	14 sounds + 14 pictures	28
Category-Incongruent		Unmasked	28 sounds + 28 pictures	56
		Masked	28 sounds + 28 pictures	56

Note. Bimodal stimuli= sound and its matching picture (meow sound – cat’s picture).

exemplar level rather than a categorical level. This choice allows a more specific control of the congruency since the analyses are performed between stimuli in different conditions belonging to the same category. The inconvenient of this choice is that the category-incongruent condition should also be included to avoid any possible prediction in the categorization task.

All the stimuli belonging to the category-congruent condition were counter-balanced in all the sub-conditions: item-congruent unmasked and masked; and item-incongruent unmasked and masked. The participants were randomly assigned to one of the 4 different experimental lists. The stimuli in the category-incongruent condition were not counterbalanced with the other conditions (category-congruent), because it was impossible to find the same bimodal, familiar, and recognizable features as those previously chosen. These items were thus excluded from the analyses. All the stimuli were presented according to a pseudo-random order.

8.3.2 Priming task procedure

The same general procedure used in Experiment 1 was used in Experiment 2 (see Figure 8.3). The participants were told that before the presentation of each picture, they would hear a sound which could either match or not match the picture. They were also informed that sometimes a coloured rectangle might appear on the screen as they hear the sound. The participants were instructed to ignore these stimuli (sounds and rectangles) in order to focus only on the pictures for the categorization task.

Each trial started with a fixation point displayed for 800 msec. This was followed, 300 msec later, by a 1,000 msec sound presented bi-aurally through a stereo headset. For half of these sounds, a visual mask was presented simultaneously

for 1,000 msec. Five hundred msec later, a centrally positioned picture appeared for 1,000 msec, followed by a white screen displayed for 4,000 msec or until the participant responded. The participants were asked to judge, as quickly and as accurately as possible, whether the picture corresponded to an animal or to an artefact, and to answer by pressing the appropriate key on the keyboard. Response logging started with the presentation of the picture target.

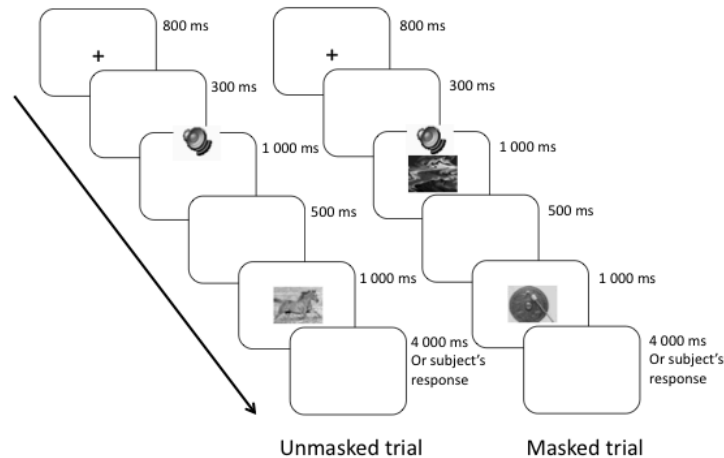


Figure 8.3: Illustration of the experimental protocol in Experiment 2. A sound is presented as the prime. For half of the sound primes, a meaningless visual mask is presented. Then, a photograph is categorized either as an animal or as an artefact.

The experiment was composed of 128 trials including 16 practice trials, 56 category-incongruent trials (half masked), and 56 category-congruent trials (1/4 by condition) constituting 14 trials per condition. The sounds and the pictures were presented in a pseudo-random order. The response keys used were 'd' and 'k' and were counterbalanced across the participants.

Statistical analyses

Data were processed following the same rules than those described in Experiment 1. Since the category-incongruent items as the practice trials were not counterbalanced, they were excluded from the analyses. The analyses were performed with subjects as random variables, according to a 2 (group: healthy elderly vs. patients with AD) x2 (item-congruency: item-congruent vs. item-incongruent) x2 (mask: masked vs. unmasked) with group as the between-subject factor and the others factors as within-subject factors. Local effects were analyzed using *t*-tests. An alpha level of 0.05 was used for all the ANOVA and *t*-tests.

8.3.3 Results and Discussion

Experimental results

The data for each group as a function of the experimental conditions are presented in Table 8.6.

The analysis performed on correct responses revealed only a significant effect for the group factor, $F(1, 30) = 7.11, p < .05, \eta_{partial}^2 = .19$. The Alzheimer's patients committed more errors than the healthy elderly did (97% vs. 90% respectively). All the other factors and interactions were not significant ($F < 1$).

The analysis of reaction times revealed a main effect of the group factor ($F(1, 30) = 11.2, p < .05, \eta_{partial}^2 = .27$), with slower reaction times in the AD group compare to the healthy older adults group. The factor group interacted with the factor mask, $F(1, 30) = 7.89, p < .05, \eta_{partial}^2 = .21$, as well as with factors mask and congruency, $F(1, 30) = 4.43, p < .05, \eta_{partial}^2 = .13$. The mask by congruency was also significant, $F(1, 30) = 9.06, p < .05, \eta_{partial}^2 = .23$. No other effect was observed ($F < 1$, except for the mask factor, $F(1, 30) = 1.49, p = .23$).

Table 8.6: Means and standard deviations for the elderly and AD patients in all the experimental conditions of Experiment 2

Groups	Congruence	Mask	RT (ms)		CR (rate)	
			Mean	SD	Mean	SD
Elderly (N=16)	Item-Congruent	Unmasked	668	91.664	0.97	0.03
		Masked	738	133.556	0.97	0.04
	Item-Incongruent	Unmasked	726	132.659	0.97	0.05
		Masked	691	96.931	0.96	0.05
AD patients (N=16)	Item-Congruent	Unmasked	691	96.931	0.96	0.05
		Masked	937	241.136	0.90	0.14
	Item-Incongruent	Unmasked	901	242.016	0.89	0.14
		Masked	938	244.702	0.89	0.12

Notes. SD= standard deviation; RT= reaction times; CR= correct response.

The different interactions involving the group factor were decomposed by running separated ANOVA for each group for the reaction times (see Figure 8.4). In the healthy elderly group, results indicated a mask effect, $F(1, 15) = 4.64, p < .05, \eta_{partial}^2 = .24$. The unmasked conditions (697ms) are globally processed faster than the masked conditions (715ms). There is also a mask by congruency

interaction, $F(1, 15) = 13.01$, $p < .05$, $\eta_{partial}^2 = .47$. The congruency factor was not significant ($F < 1$). The decomposition of the interaction showed that the unmasked-prime targets were processed faster than masked-prime targets in the item-congruent condition, $t(30) = -1.75$, $p = 0.05$, $d = .37$. On the contrary, no significant difference was observed in the incongruent condition, $t(30) = 0.84$, $p = 0.2$, $d = .13$.

In the Alzheimer's patients group, the data showed a significant effect of the mask factor, $F(1, 15) = 4.7$, $p < .05$, $\eta_{partial}^2 = .24$, but no other effect ($F < 1$). The masked conditions (892ms) were processed faster than the unmasked conditions (937ms).

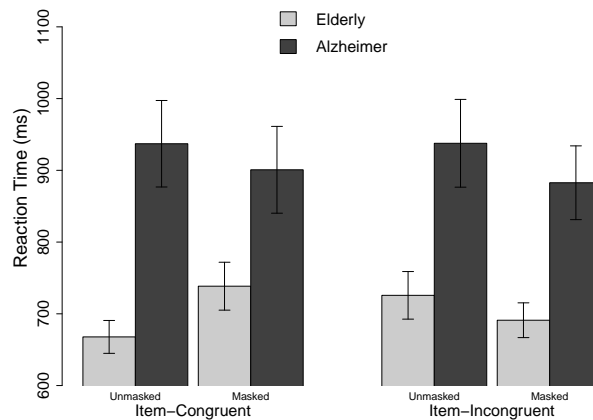


Figure 8.4: Interaction between the group and the mask in the test phase of Experiment 1

Discussion

Experiment 2 was designed to assess the attention hypothesis of the mask interference as well as the loss of activation hypothesis in Alzheimer's disease. In order to assess these hypotheses, the paradigm used in Experiment 1 was adapted into a short-term paradigm. Overall, the data demonstrated the same pattern of results than those observed in Experiment 1. Patients with AD were significantly slower and less accurate than the elderly controls in the neuropsychological tests as in the cross-modal priming paradigm. The main result was the triple interaction between the mask, the semantic congruency and the group factors. In elderly control participants, the faster processing of semantically congruent items compared to semantically incongruent items indicated a cross-modal priming effect. More important for this study, the mask had different effects regarding the semantic congruency. In the congruent condition, the mask interfered with the priming effect, whereas it had no effect in the incongruent condition. This interaction goes against

the attention hypothesis since attention should lead to similar effect regardless of the semantic congruency (e.g. [Mulligan, 2003](#)). The interaction thus supports once again the perceptual nature hypothesis of this effect. In the congruent situation, the mask might have interfered with the automatic activation (simulation) of the associated visual representation. On the contrary, the mask had no effect in the incongruent condition.

In patients with AD, the results did not show any significant cross-modal priming as in Experiment 1. The lack of priming effect can be attributed to a loss of activation since an ISI of 500 msec separated the prime and the target and other studies found significant priming effects using two distinct phases (e.g. [Koivisto et al., 1996](#); [Verfaellie et al., 2000](#)). The semantic hypothesis can also be rejected in Experiment 2 since the results in the elderly adults confirmed the perceptual nature of the paradigm. We argue that the disconnection hypothesis explains the result as supported by the main effect of the mask.

The masked primes were processed faster than the unmasked primes. A possible explanation could be that the processing of the visual mask had facilitated the processing of the visual target by a pre-activation of the visual areas ([Brunel et al., 2009, 2010](#)). This facilitation was previously found in studies on multisensory integration where multimodal situations facilitate the processing of subsequent stimuli (e.g. [Lehmann & Murray, 2005](#); [Molholm, Ritter, Javitt, & Foxe, 2004](#)). The semantic congruency did not modulate the mask effect because the communication between the representations in the different modalities might not be possible as suggested by the disconnection hypothesis ([Stam et al., 2007](#)). The implications of the results are further detailed below.

8.4 General discussion

The present study was aimed at testing the disconnection hypothesis applied to priming in AD. Two experiments were conducted using a masked cross-modal priming paradigm with familiar bimodal stimuli. In each experiment, participants performed an animal/artefact categorization task. Half of the auditory primes were presented with a visual meaningless mask. No mask was presented during the presentation of the visual targets. Experiment 1 was based on a long-term form –i.e. two distinct phases– whereas Experiment 2 was adapted into a short-term form –i.e. prime and target in a same trial. Experiment 2 allowed the manipulation of the semantic congruency between the prime and the target in order to test the specificity of the mask effect.

The results of both experiments demonstrated a significant cross-modal priming effect in the elderly control group. In this group only, the mask interfered with the processing of the visual targets while it was presented with the primes when the prime and target were semantically congruent. The masking effect goes beyond a forward masking, which has been shown limited to 300 msec (Enns & Di Lollo, 2000), whereas at least 5 minutes (Exp. 1) and 500 msec (Exp. 2) separated the masked prime from the target in the present study. The masking effect also could not be explained by a semantic interference because the mask was meaningless. Finally, an attention-based explanation could be ruled out due to the specificity of the mask interference to the congruent situation. The results demonstrate the perceptual nature of the cross-modal priming effect and thus strongly support the grounded cognition theory (Barsalou, 2008; Versace et al., 2009). The processing of the mask should have interfered with this activation since perception and memory appear closer than previously thought (Riou et al., 2011). The assumption of a direction communication between the modalities is also supported by neuroimaging studies demonstrating that mental imagery occurs in the same brain areas than perception (e.g. Ishai & Sagi, 1995); and studies showing direct connections between primary cortical sensory areas (for a review, see Cappe et al., 2009). Reversely, the mask had no significant effect in the incongruent condition suggesting that the mask interference relies on the semantic relationship between the prime and the target. Consequently, the mask demonstrated the perceptual nature of the cross-modal priming.

In patients with AD, the data showed no significant priming effect in both experiments whereas these patients performed the task well (about 90% of correct responses). A lack of statistical power appears unlikely since significant effects were found in the elderly group and since a main effect of the mask was observed in Experiment 2 for AD patients. The raw means did not indicate any trend in favour of a priming effect in the two experiments. The task is probably not responsible for the lack of priming effect since an identification task was used instead of a production task, which is known to be impaired in AD (Fleischman et al., 2001). Moreover, the mask interference in the healthy elderly group demonstrates the perceptual nature of the cross-modal priming effect observed in this task. While conceptual priming effects are sometime reported as impaired (Keane et al., 1991), perceptual priming is recognized as preserved in AD (Fleischman et al., 2001). Consequently, impaired conceptual/production versus preserved perceptual/identification distinction of priming effects in AD seems unable to explain the present results. We claim that the lack of priming effect supports the disconnection hypothesis in AD by suggesting an alteration of the activation from the auditory primes to the associated visual representation (Delbeuck et al., 2007). The disconnection hypothesis suggests that

all conceptual priming effects should be impaired since semantic knowledge is widely distributed in the brain (for a review, see [Cappa, 2008](#)). Nevertheless, most of the studies done on conceptual priming used a unique modality of presentation (mainly visual) with words as material (e.g. [Nakamura et al., 2000](#)). The cross-modal situations are thus more likely to be sensitive to the disconnection syndrome due to the transfer of activation between the modalities ([Golob et al., 2001](#)). Moreover, different studies have shown that the semantic distance modulated the priming effect ([Tivarus, Ibinson, Hillier, Schmalbrock, & Beversdorf, 2006](#)) and, in addition, that patients with AD present preserved conceptual effect only if the semantic relationship between the prime and the target are strong enough ([Balota et al., 1999](#)). We could argue that a weak activation of one of the component of a strong semantic association is enough to activate the other components. On the contrary, a weaker association between the components might require a stronger activation to activate the associated representations.

A first limitation of the present study is that repetition/perceptual priming was not directly tested whereas we claim that perceptual priming is preserved in AD. However, repetition priming was consistently reported as preserved in AD, with effect sizes comparable to those observed in normal aging (for reviews see, [Fleischman & Gabrieli, 1998](#); [Fleischman, 2007](#)). Moreover, the present results focus on within-subject effects with the mask effect as an indicator of the perceptual nature of cross-modal priming. Healthy elderly participants did show significant priming and mask effects. The mask facilitation in the patients with AD (Exp. 2) also suggests that perceptual processing is preserved in our sample of patients because this facilitation is more likely explained by a perceptual pre-activation ([Lehmann & Murray, 2005](#)). Another limit relates to the assumption of a disconnection syndrome in AD whereas no neuroimaging data was provided in the present study. As discussed above, different studies support the disconnection hypothesis using neuropathological and neuroimaging data (for a review, see [Delbeuck et al., 2003](#)). Beyond its neural implications, one can argue that the disconnection syndrome could be considered from a cognitive point of view as well. As we claimed, the lack of priming effect in patients with AD seems to result from an alteration of the (co)-activation of the associated representations in memory. This effect could be restrained to a cognitive interpretation even if neuroimaging studies would provide interesting and useful data on the possible link between the lack of priming and the disconnection between cortical areas in AD ([Schneider, Debener, Oostenveld, & Engel, 2008](#)).

Taken together, the data of the present study support the disconnection syndrome hypothesis in AD. Applied to priming effects, it seems that priming effects relying on relatively complex activation between representations, or complex communication between brain areas, might be impaired. This is the case in cross-modal and some

conceptual priming paradigms. Reversely, repetition priming or conceptual priming based on strong relationship between the prime and the target shall be preserved in AD. The present study shows the relevance of the disconnection hypothesis in AD to explain the cognitive profile observed in these patients. Further studies are required to assess more precisely the link between the cerebral disconnection assessed with neuroimaging and the impact of this disconnection on cognitive functioning.

References

- American Psychiatric Association. (2004). *DSM-IV-TR manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Paris : Masson.
- Ballesteros, S., Gonzalez, M., Mayas, J., Garcia-Rodriguez, B., & Reales, J. (2009). Cross-modal repetition priming in young and old adults. *The European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 366–387.
- Balota, D. A., Watson, J. M., Duchek, J. M., & Ferraro, F. R. (1999). Cross-modal semantic and homograph priming in healthy young, healthy old, and in Alzheimer’s disease individuals. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *5*, 626–640.
- Barensse, M., Gaffan, D., & Graham, K. (2007). The human medial temporal lobe processes online representations of complex objects. *Neuropsychologia*, *45*, 2963–2974.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617–645.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: sensory priming effects in semantic categorization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*, 955–964.
- Burgess, P., & Shallice, T. (1997). *The Hayling and Brixton tests*. Bury St. Edmunds, UK: Thames Valley Test Company.
- Cappa, S. F. (2008). Imaging studies of semantic memory. *Current Opinion in Neurology*, *21*, 669–675.
- Cappe, C., Rouiller, E. M., & Barone, P. (2009). Multisensory anatomical pathways. *Hearing Research*, *258*, 28–36.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., & Goulet, P. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performance et dynamiques de production en fonction du sexe, de l’âge et du niveau culturel. *Acta Neurologica Belgica*, *90*, 207–217.
- Carlesimo, G., Mauri, M., Fadda, L., Turriziani, P., & Caltagirone, C. (2001). Intact

- cross-modality text-specific repetition priming in patients with Alzheimers Disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*, 569–580.
- Carlesimo, G. A., Turriziani, P., Paulesu, E., Gorini, A., Caltagirone, C., Fazio, F., & Perani, D. (2004). Brain activity during intra- and cross-modal priming: new empirical data and review of the literature. *Neuropsychologia*, *42*, 14–24.
- Chen, Y.-C., & Spence, C. (2010). When hearing the bark helps to identify the dog: semantically-congruent sounds modulate the identification of masked pictures. *Cognition*, *114*, 389–404.
- Chertkow, H., Whatmough, C., Saumier, D., & Duong, A. (2008). Cognitive neuroscience studies of semantic memory in Alzheimer's disease. *Progressive Brain Research*, *169*, 393–407.
- Christensen, H., & Birrell, P. (1991). Explicit and implicit memory in dementia and normal ageing. *Psychological Research*, *53*, 149–161.
- Chua, T., Wen, W., & Slavin, M. (2008). Diffusion tensor imaging in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: a review. *Current Opinion in Neurology*, *21*, 83–92.
- Cohen, J., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). Psyscope: an interactive graphic system for designing and controlling experiments in the psychology. *Behavior Research Methods*, *25*, 257–271.
- Delbeuck, X., Collette, F., & Van der Linden, M. (2007). Is Alzheimer's disease a disconnection syndrome? Evidence from a crossmodal audio-visual illusory experiment. *Neuropsychologia*, *45*, 3315–3323.
- Delbeuck, X., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Alzheimer's disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychology Review*, *13*, 79–92.
- Delis, D., Kaplan, E., & Kramer, J. (2001). *D-KEFS executive function system*. San Antonio: The Psychological Corporation, a Harcourt Assessment Company.
- Enns, J., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 345–352.
- Ergis, A., Van der Linden, M., & Deweer, B. (1995). Cross-form priming in normal aging and in mild dementia of the Alzheimer type. *Cortex*, *31*, 699–710.
- Ergis, A., Van der Linden, M., & Deweer, B. (1998). Priming for new associations in normal aging and in mild dementia of the Alzheimer type. *Cortex*, *34*, 357–373.
- Festa, E., Insler, R., Salmon, D. P., Paxton, J., Hamilton, J., & Heindel, W. (2005). Neocortical disconnectivity disrupts sensory integration in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *19*, 728–738.
- Fleischman, D., & Gabrieli, J. (1998). Repetition priming in normal aging and Alzheimer's disease: a review of findings and theories. *Psychology and Aging*, *13*, 88–119.
- Fleischman, D., Monti, L., Dwornik, L., Moro, T., Bennett, D., & Gabrieli, J. (2001). Impaired production priming and intact identification priming in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *7*, 785–794.

- Fleischman, D., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D. E., & Schneider, J. (2005). Implicit memory and Alzheimer's disease neuropathology. *Brain*, *128*, 2006–2015.
- Fleischman, D. A. (2007). Repetition priming in aging and Alzheimer's disease: an integrative review and future directions. *Cortex*, *43*, 889–897.
- Fleischman, D. A., & Gabrieli, J. D. E. (1999). Long-term memory in Alzheimer's disease. *Current Opinion in Neurobiology*, *9*, 240–244.
- Folstein, M. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, *12*, 189–198.
- Gabrieli, J. D., Vaidya, C. J., Stone, M., Francis, W. S., Thompson-Schill, S. L., Fleischman, D. A., ... Wilson, R. S. (1999). Convergent behavioral and neuropsychological evidence for a distinction between identification and production forms of repetition priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*, 479–498.
- Geraci, L., & Barnhardt, T. (2010). Aging and implicit memory: examining the contribution of test awareness. *Consciousness and Cognition*, *16*, 606–616.
- Giffard, B., Desgranges, B., Nore-Mary, F., Lalevee, C., de la Sayette, V., Pasquier, F., & Eustache, F. (2001). The nature of semantic memory deficits in Alzheimer's disease: new insights from hyperpriming effects. *Brain*, *124*, 1522–1532.
- Golob, E. J., Miranda, G. G., Johnson, J. K., & Starr, A. (2001). Sensory cortical interactions in aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *22*, 755–763.
- GREFEX. (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques : Evaluation en pratique clinique* (O. Godefroy, Ed.). Marseille: Solal.
- Heindel, W. C., Salmon, D. P., Fennema-Notestine, C., & Chan, A. S. (1998). Repetition priming with nonverbal stimuli in patients with dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychology*, *12*, 43–51.
- Hernández, M., Costa, A., Juncadella, M., Sebastián-Gallés, N., & Reñé, R. (2008). Category-specific semantic deficits in Alzheimer's disease: a semantic priming study. *Neuropsychologia*, *46*, 935–946.
- Hutchison, K. A. (2003). Is semantic priming due to association strength or feature overlap? A microanalytic review. *Psychonomic Bulletin and Review*, *10*, 785–813.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, *268*, 1772–1774.
- Joubert, S., Brambati, S. M., Ansado, J., Barbeau, E. J., Felician, O., Didic, M., ... Kergoat, M.-J. (2010). The cognitive and neural expression of semantic memory impairment in mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *48*, 978–988.
- Keane, M. M., Gabrieli, J. D., Fennema, A. C., Growdon, J. H., & Corkin, S. (1991). Evidence for a dissociation between perceptual and conceptual priming in Alzheimer's disease. *Behavioral Neuroscience*, *105*, 326–342.

- Koivisto, M., Portin, R., & Rinne, J. (1996). Perceptual priming in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Neuropsychologia*, *34*, 449–457.
- Laisney, M., Giffard, B., Belliard, S., de la Sayette, V., Desgranges, B., & Eustache, F. (2011). When the zebra loses its stripes: Semantic priming in early alzheimer's disease and semantic dementia. *Cortex*, *47*, 35–46.
- Lehmann, S., & Murray, M. M. (2005). The role of multisensory memories in unisensory object discrimination. *Brain Research*, *24*, 326–334.
- Lezak, M., Howieson, D., Loring, D., & Fisher, J. (2004). *Neuropsychological assessment 4th ed.* New York: Oxford University Press.
- Martins, C. A. R., & Lloyd-Jones, T. J. (2006). Preserved conceptual priming in Alzheimer's disease. *Cortex*, *42*, 995–1004.
- McGeorge, P., Taylor, L., Della Sala, S., & Shanks, M. F. (2002). Word stem completion in young adults, elderly adults, and patients with Alzheimer's disease: evidence from cross-modal priming. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *17*, 389–398.
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. (1984). Clinical diagnosis of Alzheimer's disease: report of the NINCDS-ADRDA Work Group under the auspices of Department of Health and Human Services Task Force on Alzheimer's Disease. *Neurology*, *34*, 939–944.
- Meiran, N., & Jelicic, M. (1995). Implicit memory in Alzheimer's disease: a meta-analysis. *Neuropsychology*, *9*, 291–303.
- Molholm, S., Ritter, W., Javitt, D., & Foxe, J. (2004). Multisensory visual-auditory object recognition in humans: a high-density electrical mapping study. *Cerebral Cortex*, *14*, 452–465.
- Monti, L. A., Gabriel, J. D. E., Reminger, S. L., Rinaldi, J. A., Wilson, R. S., & Fleischman, D. A. (1996). Differential Effects of Aging and Alzheimer's Disease on Conceptual Implicit and Explicit Memory Disease on Conceptual Implicit and Explicit Memory. *Neuropsychology*, *10*, 101–112.
- Morrison, J., Scherr, S., & Lewis, D. (1986). The laminar and regional distribution of neocortical somatostatin and neuritic plaques: implications for Alzheimer's disease as a global neocortical disconnection syndrome. In A. Scheibel, A. Wechsler, & M. Brazier (Eds.), *The biological substrates of Alzheimer's disease* (pp. 115–131). Orlando: Academic Press.
- Mulligan, N. W. (2003). Effects of cross-modal and intramodal division of attention on perceptual implicit memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 262–276.
- Nakamura, H., Nakanishi, M., Hamanaka, T., Nakaaki, S., & Yoshida, S. (2000). Semantic priming in patients with Alzheimer and semantic dementia. *Cortex*, *36*, 151–162.
- Norman, J., Crabtree, C., & Norman, H. (2006). Aging and the visual, haptic, and cross-modal perception of natural object shape. *Perception*, *35*, 1383–1395.
- Parra, M. A., Abrahams, S., Fabi, K., Logie, R., Luzzi, S., & Della Sala, S. (2009). Short-term memory binding deficits in Alzheimer's disease. *Brain*, *132*,

- 1057–1066.
- Perry, R. J., & Hodges, J. R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease: a critical review. *Brain*, *122*, 383–404.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory improves visual search. *Memory & Cognition*, *39*, 1094–1102.
- Rissman, J., Eliassen, J. C., & Blumstein, S. E. (2003). An event-related fMRI investigation of implicit semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*, 1160–1175.
- Sass, K., Krach, S., Sachs, O., & Kircher, T. (2009). NeuroImage Lion – tiger – stripes: neural correlates of indirect semantic priming across processing modalities. *Neuroimage*, *45*, 224–236.
- Schacter, D., & Buckner, R. L. (1998). Priming and the brain. Review. *Neuron*, *20*, 185–195.
- Schneider, T. R., Debener, S., Oostenveld, R., & Engel, A. K. (2008). Enhanced EEG gamma-band activity reflects multisensory semantic matching in visual-to-auditory object priming. *Hearing Research*, *42*, 1244–1254.
- Schneider, T. R., Engel, A. K., & Debener, S. (2008). Multisensory identification of natural objects in a two-way crossmodal priming paradigm. *Experimental Psychology*, *55*, 121–132.
- Simmons, W. K., Hamann, S. B., Harenski, C. L., Hu, X. P., & Barsalou, L. W. (2008). fMRI evidence for word association and situated simulation in conceptual processing. *Journal of Physiology*, *102*, 106–119.
- Sperling, R., Dickerson, B., Pihlajamaki, M., Vannini, P., LaViolette, P., Vitolo, O., ... Johnson, K. (2010). Functional alteration in memory networks in early Alzheimer's disease. *Neuromolecular Medicine*, *12*, 27–43.
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1997). Amnesia, memory and brain systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *352*, 1663–1673.
- Stam, C., Jones, B., Nolte, G., Breakspear, M., & Scheltens, P. (2007). Small-world networks and functional connectivity in Alzheimer's disease. *Cerebral Cortex*, *17*, 92–99.
- Stoub, T. R., Stebbins, G. T., Leurgans, S., Bennett, D. A., & Shah, R. C. (2006). Hippocampal disconnection contributes to memory dysfunction in individuals at risk for Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*, 10041–10045.
- Tivarus, M. E., Ibinson, J. W., Hillier, A., Schmalbrock, P., & Beversdorf, D. Q. (2006). An fMRI study of semantic priming: modulation of brain activity by varying semantic distances. *Behavioural Neurology*, *19*, 5–9.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass: MIT Press.
- Tulving, E., & Schacter, D. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, *247*, 301–306.

- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- Vallet, G., Riou, B., Versace, R., & Simard, M. (2011). The sensory-dependent nature of audio-visual interactions for semantic knowledge. In C. Hoelscher, T. Shipley, & L. Carlson (Eds.), *Proceedings of the 33rd annual conference of the cognitive science society* (pp. 2077–2082). Boston, MA: Cognitive Science Society.
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-dependent knowledge in young and elderly adults: arguments from the cross-modal priming effect. *Current Aging Science*, *4*, 137–149.
- Van der Linden, M. (2004). L'épreuve de rappel libre/rappel indicé à 16 items (RL/RI-16). In M. Van der Linden & F. Coyette (Eds.), *L'évaluation des troubles de la mémoire*. (pp. 25–47). Marseille: Solal.
- Verfaellie, M., Keane, M., & Johnson, G. (2000). Preserved priming in auditory perceptual identification in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *38*, 1581–1592.
- Verfaellie, M., Martin, E., Page, K., Parks, E., & Keane, M. M. (2006). Implicit memory for novel conceptual associations in amnesia. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *6*, 91–101.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Warrington, E., & James, M. (1991). *The visual object and space perception battery*. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company.
- Wechsler, D. (2000). *WAIS-III: Echelle de l'intelligence de wechsler pour adultes - troisième édition*. (P. C. de Psychologie Appliquée., Ed.).
- Yano, M., Umeda, S., & Mimura, M. (2008). Preserved priming but insensitivity to perceptual fluency on recognition judgments in Alzheimer's disease. *Psychogeriatrics*, *8*, 178–187.

Synthèse intermédiaire

Ce dernier article représente l'application des deux paradigmes d'amorçage inter-sensoriel à la problématique de la maladie d'Alzheimer (MA). Comme pour les amnésies en générale, les patients souffrant de la MA sont décrits comme possédant une mémoire implicite préservée, dont les effets d'amorçages. Pourtant, certains effets d'amorçages sont rapportés comme déficitaires ce qui a poussé les auteurs à proposer deux distinctions pour rendre compte des effets préservés versus perturbés. La première distingue les paradigmes perceptifs de ceux conceptuels et la seconde les tâches d'identification versus de production. Les paradigmes perceptifs et les tâches d'identifications seraient préservés alors que les autres seraient altérés.

L'hypothèse de connaissances modales soutenue par les résultats obtenus dans les précédents articles permet d'envisager une troisième voie. Ainsi, des liens étroits entre perception et mémoire laissent supposer qu'un déficit d'intégration multisensorielle sous-tendrait un déficit épisodique. Ce déficit est explicable par le syndrome de déconnexion qui stipule une altération de la communication cérébrale dans la MA. La conséquence de cette déconnexion est que toutes les tâches et tous les paradigmes qui reposent une communication entre les aires cérébrales seraient potentiellement altérés.

Cette hypothèse peut être testée grâce aux paradigmes d'amorçages développés dans cette thèse. Ainsi, l'effet du masque a permis de démontrer le caractère perceptif de l'amorçage et une tâche d'identification est employée. L'hypothèse de déconnexion suppose alors que ce paradigme sera échoué pour les patients Alzheimer alors que les interprétations classiques supposeraient l'inverse.

Les interactions significatives entre le groupe et l'amorçage pour l'Expérience 1 et 2 montrent que les personnes âgées présentent un effet significatif contrairement aux patients Alzheimer. Tout comme les personnes âgées, le masque ne semble pas avoir perturbé le traitement de l'amorce (Exp. 1) diminuant l'hypothèse d'une mauvaise activation. Le masque a même un effet principal facilitateur pour les patients indépendamment de la congruence sémantique (Exp. 2). Ce résultat renforce l'hypothèse d'un problème de propagation de l'activation de l'amorce vers les composantes associées. Prises ensemble, ces données supportent le syndrome de déconnexion dans la MA et ouvre la voie d'une considération des fonctions préservées/altérées dans la MA selon les implications d'une communication corticale plus ou moins complexe.

Cinquième partie

Discussion générale

Chapitre 9

Discussion des résultats expérimentaux

9.1 Rappel de la problématique générale

Cette thèse de doctorat s'inscrit à la fois dans une démarche fondamentale, à travers la psychologie cognitive et expérimentale, et une démarche clinique via la neuropsychologie. La principale question en trame de fond de ce travail porte sur la nature et l'organisation des connaissances en mémoire. Au niveau fondamental, il s'agira de tester la validité d'une approche incarnée de la mémoire auprès de jeunes adultes et de personnes âgées cognitivement saines. Le niveau clinique sera testé quant à lui à travers le vieillissement normal et celui pathologique. En effet, le vieillissement normal représente un enjeu de santé publique en plus d'être le premier facteur de risque de la démence la plus fréquente au monde, la maladie d'Alzheimer. Les personnes âgées et les patients souffrant de la maladie d'Alzheimer présentent des difficultés mnésiques rendant ces deux populations particulièrement pertinentes pour l'étude de la mémoire.

9.1.1 Deux approches théoriques de la mémoire

L'introduction théorique (voir Chapitre 1 page 9) ainsi que les deux premiers articles (voir Chapitres 4 et 5) ont souligné l'existence de deux grands types d'approches de la mémoire que sont le structuralisme et le fonctionnalisme. Les différences entre ces approches s'articulent essentiellement autour de la question de représentations stockées. Selon les théories représentationnelles, valables pour les approches structuralistes, les connaissances mnésiques sont stockées dans le

système cognitif (Fodor, 1975). Les différentes manifestations mnésiques comme l'émergence de connaissances sémantiques ou épisodiques s'expliquent alors par l'existence de représentations de natures différentes. Une différence de nature entre les représentations implique à son tour que ces représentations soient sous-tendues par des systèmes, ou sous-systèmes, mnésiques distincts (Squire, 2004). À l'opposé de ces approches, les théories dites incarnées de la cognition, basées sur le connexionnisme, supposent une émergence dynamique des connaissances (Hinton et al., 1986). Les différentes manifestations de la mémoire surviennent selon des profils d'activation particuliers en interaction avec les demandes de la tâche et les attentes du sujet (Glenberg, 1997).

Cette problématique ciblée sur les représentations peut s'opérationnaliser autour de la question des relations entre mémoire et perception. En effet, les approches structuralistes sont classiquement amodales, c'est-à-dire que les connaissances (représentations) sont abstraites de leurs propriétés sensori-motrices. La perception précède la mémoire. Le modèle SPI (Tulving, 1995) est une bonne illustration des modèles appartenant à ces approches. En revanche, les approches incarnées définissent des connaissances modales, c'est-à-dire ancrées dans leurs propriétés sensori-motrices. La mémoire et la perception deviennent très similaires, voire confondues. Le modèle Act-In (Versace et al., 2009), dans lequel s'inscrit cette thèse, est une modélisation prometteuse de ces approches modales.

Bien que les approches amodales aient dominé la recherche et la pratique clinique en psychologie jusqu'à présent, les approches incarnées connaissent un essor indéniable depuis une dizaine d'années. Toutefois, ces approches demeurent quasiment inappliquées aux problématiques de la neuropsychologie. Pourtant, ce type d'approches permettrait de rendre compte autrement des problématiques mnésiques, voire de développer de nouveaux outils cliniques d'évaluation ou de prise en charge de la mémoire. En outre, des populations présentant des atteintes concomitantes de la perception et de la mémoire constituent un modèle de recherche idéal pour tester les liens entre mémoire et perception. Le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer (MA) répondent à ces critères.

9.1.2 Vieillesse normale et maladie d'Alzheimer

Le vieillissement croissant de la population se manifeste notamment par des enjeux de santé grandissants (Freund & Smeeding, 2010 ; Lutz et al., 2008). Parmi les modifications associées à l'avancée à l'âge, les difficultés cognitives, particulièrement reliées au fonctionnement mnésique, sont aux premiers plans (Grady, 2008 ; Park & Gutches, 2002). Ces difficultés chez les aînés en santé se traduisent en un handicap majeur pour les personnes développant une maladie d'Alzheimer, ou

maladies associées (Cummings, 2004; Helmer et al., 2006). Ce lien est d'autant plus valable que l'avancée en âge est le premier facteur de risque de la MA (Berr, Wancata, & Ritchie, 2005). Cette situation met en avant l'intérêt et l'importance de la compréhension de la mémoire et de son (dys)fonctionnement. Toutefois, les atteintes mnésiques diffèrent à la fois quantitativement et qualitativement entre le vieillissement normal et la MA. Ainsi, les personnes âgées manifestent essentiellement une altération de la qualité de leurs souvenirs (Friedman et al., 2010; Piolino et al., 2006; Schacter et al., 1997) associée à des difficultés de rappels (Davis et al., 2003; Ozen & Rezaki, 2007). Au contraire, la MA se caractérise par une dégradation globale des connaissances épisodiques (Fleischman & Gabrieli, 1999; Hudson, 2008).

Le vieillissement est aussi caractérisé par une dégradation sensorielle et de la perception (Schneider & Pichora-Fuller, 2000). La perception de plus haut niveau, comme l'illustre l'intégration multisensorielle, est cependant préservée (Laurienti et al., 2006). Cette atteinte perceptive est statistiquement associée à l'atteinte cognitive en générale et mnésique en particulier (Valentijn et al., 2005). L'interprétation de ces liens demeure discutée, mais semble s'inscrire naturellement dans une approche modale de la mémoire. En effet, une dégradation de la perception devrait se traduire par une dégradation de la qualité de la connaissance émergente, et donc, par un appauvrissement du souvenir et une moins bonne distinctivité de celui-ci par rapport aux autres entraînant des difficultés de rappels. La MA partage cette dégradation de la perception, mais se distingue par un déficit d'intégration multisensorielle (Delbeuck et al., 2007). Celui-ci pourrait provenir du syndrome de déconnexion cérébrale observé dans cette maladie. Cette déconnexion permettrait potentiellement d'expliquer les troubles mnésiques par un déficit d'intégration des propriétés spécifiques à une connaissance dite épisodique.

9.1.3 Hypothèses générales

Ces quelques données permettent d'établir les hypothèses suivantes :

- des connaissances modales supposent un lien direct entre les différentes propriétés d'une connaissance,
- le traitement d'une propriété devrait alors conduire à une activation directe et de nature perceptive des propriétés associées à celle-ci,
- cette activation devrait être perturbée par le traitement d'un stimulus partageant les caractéristiques de ces propriétés associées (masque),
- les personnes âgées devraient avoir des connaissances modales, comme les jeunes adultes, pour valider les théories incarnées dans un spectre plus large

de la cognition,

- les liens entre mémoire et perception observés chez les personnes âgées s'expliqueraient par ces connaissances modales,
- le syndrome de déconnexion de la MA sous-tendrait le déficit de mémoire épisodique chez ces patients en raison du déficit d'intégration des composantes de la trace.

Ces hypothèses ont été testées auprès de jeunes adultes, personnes âgées saines et patients ayant reçu le diagnostic probable de maladie d'Alzheimer à un stade léger à modéré. Deux séries de protocoles expérimentaux ont été proposées et alliaient deux expériences cognitives novatrices avec des batteries de tests neuropsychologiques et perceptifs. Ces tests se concentraient sur la mémoire et les fonctions exécutives, ainsi que sur la perception visuelle et auditive (Exp. 2). Les deux expériences se basaient sur un paradigme d'amorçage inter-sensoriel de la modalité auditive vers celle visuelle. À chaque fois, les participants devaient catégoriser en vivants/non-vivants les stimuli. L'Expérience 1 était sous la forme à long terme, c'est-à-dire que toutes les amorces étaient présentées dans une première phase et toutes les cibles dans une seconde phase. L'Expérience 2 était sous la forme à court terme, c'est-à-dire que la cible précédait l'amorce au sein d'un même essai. Ce format à court terme permet notamment de manipuler la congruence sémantique entre l'amorce et la cible et permet ainsi de tester la spécificité des interactions intersensorielles. Pour les deux expériences, un masque abstrait était présenté simultanément à l'amorce auditive, et ce pour la moitié des essais. L'originalité résidait dans le fait que ce masque partageait la modalité de la cible, i.e. visuelle, plutôt que celle de l'amorce et demeurait sans signification (i.e. sans lien sémantique avec les amorces ou les cibles).

9.2 La nature des connaissances dans la cognition normale

Deux groupes de personnes âgées saines ont été inclus dans ce travail de recherche. Pour l'Expérience 1, reposant sur le paradigme d'amorçage inter-sensoriel à long terme, un groupe de 24 participants a été recruté (voir Chapitre 6 page 145). Le second groupe, de 32 participants, a complété la seconde expérience qui reposait sur l'adaptation à court terme du paradigme employé dans l'Expérience 1 (voir 7 page 179). Chacun de ces deux groupes était comparé à un groupe contrôle de jeunes adultes appariés en niveau socio-culturel. En plus des expériences cognitives, tous les participants ont complété une batterie de tests neuropsychologiques évaluant

diverses fonctions cognitives, dont la mémoire épisodique, la mémoire sémantique et les fonctions exécutives. Les participants inclus dans l'Expérience 2 ont complété, en plus de ces épreuves, des tests de perceptions visuelles et auditives de bas niveau. Ces batteries de tests ont permis de vérifier les critères d'inclusions (par exemple, absence de trouble cognitif). Ils avaient aussi pour vocation de permettre d'établir des corrélations pour les participants entre leurs performances aux expériences d'amorçages et leurs performances aux tests neuropsychologiques.

9.2.1 Amorçage inter-sensoriel

Premièrement, les résultats des deux expériences démontrent un effet d'amorçage inter-sensoriel pour les participants jeunes et âgés. Dans la version à long terme (Exp. 1), les personnes âgées présentent un effet d'amorçage qui est significativement plus prononcé que celui observé chez les jeunes adultes. Cependant, cet effet n'est pas retrouvé pour l'amorçage à court terme (Exp. 2). Un effet plus prononcé pour les personnes âgées est en accord avec les résultats démontrant une meilleure intégration multisensorielle chez ces personnes (Laurienti et al., 2006), et s'expliquerait par un déficit d'attention sélective unimodale (Hugenschmidt et al., 2009). L'absence de cet effet dans l'Expérience 2 pourrait suggérer que l'adaptation à court terme du paradigme ne permet plus aux personnes âgées de tirer bénéfice de leur meilleure intégration en raison du délai trop court séparant l'amorce et la cible (ISI de 500 ms). Une seconde hypothèse serait que le paradigme à court terme implique davantage une interaction qu'une intégration multisensorielle. L'interaction multisensorielle désignerait une simple activation alors que l'intégration correspondrait à l'élaboration d'une représentation qui est plus que la simple somme de ses composantes (Driver & Noesselt, 2008; Versace et al., 2009).

L'observation d'effets d'amorçages inter-sensoriels pour du matériel familier réplique les différents travaux réalisés auprès de jeunes adultes (voir Schneider, Engel, & Debener, 2008). Pour le vieillissement normal, ce résultat a davantage de répercussions. En effet, la littérature rapporte des résultats contradictoires concernant ce type d'amorçage avec des effets préservés ou perturbés (voir pour revue, Vallet et al., sous presse). Cette revue de littérature a montré que deux études sur les huit publiées ne rapportaient pas d'effet significatif. Ces deux études ont notamment comme point commun distinctif des autres études le recours à une tâche de complément de mots. La littérature a déjà questionné l'emploi de cette tâche comme tâche implicite dans des paradigmes d'amorçages. Ainsi, différents auteurs ont montré que les participants réalisant une tâche de complément de mots dans un paradigme inter-sensoriel étaient conscients du lien entre les amorces et les cibles (e.g. Richardson-Klavehn & Gardiner, 1996). Cette conscience suppose qu'une contamination explicite pourrait avoir lieu (mais voir, Fay, Isingrini, & Pouthas,

2005 ; Richardson-Klavehn & Gardiner, 1998), en particulier pour le vieillissement (Geraci & Barnhardt, 2010). D'une manière générale, la revue de Fleischman and Gabrieli (1998) avance l'hypothèse que les tâches de production, comme celle de complément de mots, sont déficitaires chez les aînés en raison de l'atteinte exécutive (Nyberg et al., 1997). Cette hypothèse fut remise en question par d'autres auteurs (Geraci, 2006), bien qu'ils démontrent une implication des performances en mémoire explicite dans la réalisation de cette tâche. L'implication explicite se confirme à travers les études de corrélations entre cette tâche et les fonctions exécutives. Ainsi, des corrélations significatives ont pu être observées tant pour les jeunes adultes que pour les personnes âgées (Davis et al., 1990). Au contraire, la tâche de catégorisation employée dans les études de cette thèse est corrélée avec les fonctions exécutives uniquement pour les participants âgés. Cette différence de profils d'associations entre les populations et les tâches considérées semble à même de rendre compte des contradictions rapportées autour des effets inter-sensoriels dans le vieillissement. La tâche de complément de mots requerrait davantage les fonctions exécutives pour être réalisée, fonctions altérées dans le vieillissement. L'absence d'effet d'amorçage significatif serait expliquée par un déficit de réalisation de la tâche plutôt qu'un déficit d'amorçage per se.

9.2.2 Effet du masque sensoriel

Le principal résultat de ces expériences provient de l'effet du masque visuel. Dans les deux études, celui-ci a interféré avec l'effet d'amorçage tant pour les participants jeunes que ceux âgés lorsque l'amorce et la cible référaient à une même connaissance sémantique. Il est à souligner encore une fois que ce masque était sans signification (abstrait) et partageait la modalité de la cible, et non celle de l'amorce. La différence de modalité entre le masque et l'amorce démarque ces paradigmes utilisés ici de ceux dits de masquages¹, puisque ceux-ci visent à masquer, i.e. interférer avec, le traitement de l'amorce en superposant une information dans la même modalité (Van den Bussche et al., 2009). Il ne semble pas non plus que l'effet du masque provienne d'un effet de masquage anticipé², puisque leurs effets sont supposés être limités à 300 ms (Enns & Di Lollo, 2000) et que plusieurs minutes séparaient les deux phases dans les l'Expérience 1 et qu'un ISI de 500 ms était utilisé dans l'Expérience 2. L'absence de signification du masque, i.e. non sémantiquement défini, suppose également qu'il ne devrait pas interférer avec le traitement sémantique de l'amorce ou de la cible (e.g. Mulatti & Coltheart, 2012). Une interférence sémantique est pourtant l'hypothèse la plus crédible d'un effet d'interférence pour les approches amodales de la mémoire. En effet, ces dernières supposent que l'effet d'amorçage inter-sensoriel est de nature sémantique, c'est-à-dire résulte de l'activation du

¹Traduction pour "Masking procedure".

²Traduction pour "Forward masking".

concept amodal correspondant aux stimuli traités (Chen & Spence, 2010 ; Tulving & Schacter, 1990).

Une seconde hypothèse explicative repose sur un effet attentionnel du masque. Ainsi, la présence du masque pourrait avoir perturbé le traitement de l'amorce, interférant avec la bonne préactivation du concept en mémoire sémantique. Cependant, aucun effet relatif au masque ne fut observé dans la phase d'étude de l'Expérience 1, tant pour les temps de réaction que pour les taux de bonnes réponses. Ce résultat suggère que le masque n'a pas altéré le bon traitement de l'amorce, du moins sa bonne catégorisation. Cette idée est renforcée par le fait que les cibles associées à une amorce masquée ne sont pas moins bien catégorisées que celles associées à une amorce non masquée dans la phase test (taux de bonnes réponses). Ces arguments constituent une première étape pour rejeter l'hypothèse attentionnelle, mais ils proviennent d'hypothèses nulles (absence de résultat significatif) soulignant la faiblesse de la démonstration. Ainsi, l'attention pourrait avoir été tout de même divisée entre les modalités à traiter (voir Mulligan, 2003).

L'Expérience 2 a été menée afin de répondre à ces limites. L'adaptation du paradigme sous un format à court terme a ainsi permis de manipuler la congruence sémantique. L'hypothèse attentionnelle laisse supposer que le masque devrait avoir le même effet quelle que soit la congruence sémantique s'il s'agit juste d'une question d'engagement/désengagement attentionnel (Commodari & Guarnera, 2008) ou d'attention divisée (Alais et al., 2006). Contredisant cette hypothèse, une interaction entre le masque et la congruence sémantique est démontrée. Le masque a eu un effet interférant lorsque les couples amorces–cibles sont sémantiquement congruents, et, à l'inverse, il a eu un effet facilitateur pour des couples amorces–cibles non congruents. Cette interaction pourrait s'expliquer de la manière suivante : l'interférence résulterait du blocage de l'activation (simulation) de la composante visuelle associée à l'amorce auditive (Kaschak et al., 2005 ; Vallet, Riou, et al., 2011), alors que la facilitation pourrait provenir d'une pré-activation de la modalité visuelle (voir Brunel et al., 2009, 2010). En effet, les principes de la cognition située supposent que le traitement d'une partie d'une trace mnésique se traduit par la simulation des composantes associées (Barsalou, 2009 ; Versace et al., 2009). Comme cette simulation mnésique est similaire à celle perceptive (Riou et al., 2011 ; Slotnick & Schacter, 2006), et se déroulerait dans les mêmes zones cérébrales que la perception (Ishai & Sagi, 1995), le masque visuel devrait interférer avec la simulation des composantes visuelles associées aux amorces auditives. Cette interférence devrait bien être limitée aux composantes associées en mémoire. Au contraire, lorsque la cible était sémantiquement incongruente avec l'amorce, le traitement du masque visuel pourrait avoir pré-activé le traitement visuel permettant un traitement plus rapide de l'image cible (voir Brunel et al., 2009). Le masque interférerait bien avec la simulation de la représentation visuelle associée à l'amorce et serait donc sans effet interférant pour une cible ne correspondant pas à cette représentation.

Cette interprétation demeure théorique et devrait être testée, par exemple avec la manipulation du degré de similitude entre les différents exemplaires. Le masque devrait avoir un effet interférant avec des cibles sémantiquement incongruentes, mais qui partagent de nombreuses similitudes perceptives avec la représentation associée à l'amorce.

Une autre considération possible provient des profils cognitifs des populations testées. Ainsi, les personnes âgées sont reconnues présenter des difficultés attentionnelles (e.g. [Verhaeghen & Cerella, 2002](#)) notamment pour l'attention sélective unimodale ([Hugenschmidt et al., 2009](#)) par rapport à de jeunes adultes. Cette particularité suggère que des effets différents entre les groupes devraient être observés si l'hypothèse attentionnelle est vraie. La différence devrait être particulièrement marquée pour les conditions masquées par rapport aux autres conditions. En accord partiel avec cette prédiction, une interaction entre le groupe et le facteur item a été observée dans l'Expérience 1. Cependant, cette interaction démontre un effet d'amorçage plus important chez les aînés sans pour autant traduire un effet différent du masque. En outre, cette interaction n'est pas constatée dans l'Expérience 2. Par conséquent, les différences de profils cognitifs entre ces populations ne semblent pas soutenir l'hypothèse attentionnelle.

Enfin, l'hypothèse attentionnelle sous-entend que les items masqués soient associés aux tests évaluant l'attention (ou les fonctions exécutives dans une mesure plus large). À tout le moins, cette condition expérimentale (masquée) devrait se distinguer significativement des autres puisque l'attention sous-tendrait l'effet du masque. Contrairement à ces prédictions, les différentes conditions étaient très fortement inter-corrélées entre elles pour les temps de réaction dans les deux expériences. Cette inter-corrélation indique que les conditions masquées ne se distinguent pas de celles non masquées. Ce résultat suggère alors que c'est davantage la variance de la tâche de catégorisation qui est capturée dans les temps de réaction, diminuant la crédibilité de l'hypothèse attentionnelle.

9.2.3 Connaissances sensori-motrices chez les jeunes adultes et les personnes âgées saines

L'ensemble de ces données suggère que le paradigme d'amorçage inter-sensoriel combiné à la présentation d'un masque employé dans ces expériences semble à même de tester la nature des connaissances en mémoire. En effet, les modèles amodaux et modaux de la mémoire aboutissent à des prédictions opposées quant à la (co)-activation des composantes associées en mémoire. Alors que les modèles amodaux définissent une interaction indirecte des propriétés sensori-motrices à travers un concept abstrait dans la mémoire sémantique, les modèles modaux supposent une

(co)-activation directe des composantes associées. Cette (co)-activation est alors perceptive dans le cas de composantes sensorielles comme la représentation auditive et visuelle d'une connaissance. Un stimulus sans signification ne devrait donc pas interférer avec cette interaction selon une approche amodale, alors qu'il le devrait dans une approche modale s'il partage les propriétés des cibles activées.

Les résultats obtenus sont en faveur de cette dernière hypothèse puisque le masque a interféré avec cette (co)-activation uniquement lorsque l'amorce et la cible correspondaient à une même connaissance. Il apparaît alors que les interactions inter-sensorielles pour des connaissances existantes soient de nature perceptive et s'opèrent sans un intermédiaire sémantique décontextualisé. Ces données supportent par conséquent les approches incarnées de la cognition. Autrement dit, les connaissances mnésiques resteraient ancrées dans leurs propriétés constitutives. Ces résultats sont valables tant pour les jeunes adultes que pour les personnes âgées cognitivement saines.

Des connaissances sensori-motrices placent au premier plan le fonctionnement perceptif et moteur dans celui mnésique. Pour les jeunes adultes, ce résultat est essentiel pour la compréhension de la mémoire, mais aussi pour définir et comprendre les liens entre la mémoire, la perception et l'attention (voir [Brunel et al., 2009](#) ; [Riou et al., 2011](#)). Cette approche de la mémoire force à une plus grande interpénétration des champs de recherche et remet en cause les travaux réalisés jusqu'à présent. Il ne s'agit pas de remettre en question la validité des résultats obtenus, mais plutôt de reconsidérer la possible interprétation qui en est faite (voir par exemple [Ashby & Ell, 2002](#) ; [Berry, Shanks, & Henson, 2008](#)).

Pour les personnes âgées, ce résultat permet en premier lieu d'étendre les conclusions observées pour les jeunes adultes à un plus large spectre du développement humain. Des connaissances modales constituent une avancée significative pour la compréhension du vieillissement notamment dans les liens entre l'atteinte cognitive et l'atteinte sensorielle rapportés dans le vieillissement ([Valentijn et al., 2005](#)), ainsi que dans le fonctionnement mnésique (voir chapitre suivant). Ce résultat pourrait aboutir à de nouvelles techniques de prise en charge ou de stimulation cognitive des personnes vieillissantes (voir les conclusions). Enfin, l'établissement de connaissances modales dans le vieillissement devrait permettre d'envisager autrement les approches diagnostiques des maladies démentielles ayant comme principales caractéristiques des troubles mnésiques. La MA représente par conséquent une cible privilégiée.

9.3 Syndrome de déconnexion cérébrale dans la maladie d'Alzheimer

Deux groupes de patients ayant reçu le diagnostic probable de maladie d'Alzheimer ont été inclus dans les mêmes protocoles que ceux présentés ci-dessus (voir Chapitre 8 page 211). En raison des difficultés de recrutement, le nombre de participants par groupe était inférieur à celui des personnes âgées avec respectivement 18 et 16 patients. Un soin particulier a été apporté sur l'appariement des personnes âgées avec les patients en tenant compte du niveau socio-culturel, de l'âge, et du genre. Bien entendu, la sélection des participants âgés s'est également faite selon les conditions expérimentales afin de respecter tous les contre-balancements expérimentaux.

Les résultats des deux expériences contrastent avec ceux obtenus pour les jeunes adultes et les personnes âgées saines. Point central pour les expériences passées chez les jeunes adultes et personnes âgées saines, le masque sensoriel ne semble pas avoir interféré avec le traitement des amorces (Exp. 1) ou avec celui des cibles (Exp. 1 et 2) pour les patients. Le masque a toutefois un effet facilitateur dans l'Expérience 2, et ce quelle que soit la congruence sémantique reliant l'amorce et la cible. Cette facilitation semble résulter des mêmes effets que pour les personnes sans difficulté cognitive. La présentation du masque visuel aurait pré-activé les aires visuelles, facilitant le traitement ultérieur de la cible (Brunel et al., 2009). L'absence d'interférence du masque est notamment explicable par l'absence d'effet d'amorçage significatif. Il est notable que la littérature sur le sujet demeure restreinte et contradictoire, avec quelques études rapportant des effets d'amorçages significatifs (Carlesimo et al., 2001) ou à l'inverse déficitaires (McGeorge et al., 2002). Comme pour le vieillissement normal, et avec davantage de poids, certains auteurs ont questionné le choix de la tâche en incriminant les tâches de production comme déficitaire dans la MA (e.g. Fleischman et al., 2001). Ces tâches impliquent en effet un plus grand recrutement attentionnel pour ces patients (Gabrieli et al., 1999). D'autres facteurs bien connus, comme l'homogénéité des profils, le nombre de participants, etc. joueraient bien entendu un rôle significatif dans l'observation d'effet d'amorçage (pour une synthèse, voir Fleischman, 2007).

Pour les expériences incluses dans cette thèse, l'absence d'effet d'amorçage ne semble pas s'expliquer par un échec de la réalisation de la tâche. Bien que ces patients présentent des taux de bonnes réponses significativement inférieurs à ceux des personnes âgées, le taux de bonnes réponses moyen demeure très élevé avec près de 90% de réussite. Le choix de la tâche ne semble pas non plus a priori à même d'expliquer cette absence d'effet. Alors que les tâches de productions pourraient être altérées (Fleischman et al., 2001), la tâche de catégorisation employée ici devrait

davantage dépendre d'un appariement mnésique (e.g. [Goldstone & Hendrickson, 2010](#)), supposé préservé. En outre, cette absence d'effet ne semble pas résulter d'une possible trop grande hétérogénéité des profils. En effet, tous les patients inclus étaient à un stade léger à modéré, mais surtout, l'observation des profils individuels montre clairement que la très grande majorité des patients présente un profil plat ou inversé entre les différentes conditions (voir Annexes [A.1](#)). Cette observation suggère également que l'absence d'effet ne provient pas d'un manque de puissance statistique, argument supporté par des interactions significatives entre le groupe et les conditions expérimentales (Exp. 1 et 2).

D'un point de vue théorique, cette absence d'effet pourrait s'expliquer partiellement par l'hypothèse d'une nature sémantique de cet effet d'amorçage inter-sensoriel. Ainsi, les approches structuralistes de la mémoire (i.e. amodales) interprètent les effets inter-sensoriels comme étant sémantiques ([Chen & Spence, 2010](#)) et ces effets sont supposés déficitaires dans la MA ([Fleischman, 2007](#) ; [Keane et al., 1991](#)). Une première limite de cette interprétation est que d'autres auteurs montrent des effets préservés ou même améliorés (e.g. [Giffard et al., 2001](#)). Mais surtout, les effets constatés dans la cognition normale auprès des jeunes adultes et des personnes âgées saines, suggèrent fortement que cet effet est de nature perceptive et non sémantique (voir section précédente). Or, les amorçages perceptifs sont unanimement considérés comme préservés dans la MA ([Fleischman et al., 2005](#) ; [Fleischman, 2007](#)). Une absence d'effet d'amorçage apparaît alors surprenante pour les approches amodales de la mémoire.

Une possible interprétation est fournie par l'hypothèse d'un syndrome de déconnexion cérébrale dans la MA ([Delbeuck et al., 2003](#)). Cette théorie a comme origine le constat de l'altération de la communication entre les aires cérébrales des patients Alzheimer ([Stoub et al., 2006](#)). Autrement dit, toute tâche nécessitant une communication cérébrale relativement complexe serait échouée pour ces patients ([Stam et al., 2007](#)). Néanmoins, une communication de plus bas niveau, ou basée sur des connaissances fortement reliées entre elles ([Balota et al., 1999](#)), serait encore fonctionnelle. Ces données permettent de recentrer les distinctions entre les effets d'amorçages. Ainsi, les amorçages de répétition seraient préservés alors que les effets d'amorçages impliquant un transfert d'activations entre plusieurs aires cérébrales seraient altérés dans la MA (sauf pour des activations simples ou pour des connaissances fortement reliées).

Cette hypothèse de déconnexion peut être mise en parallèle avec une altération de l'intégration multisensorielle en générale ([Senkowski, Schneider, Foxe, & Engel, 2008](#)) ou dans la MA en particulier ([Delbeuck et al., 2007](#)). Cette intégration pourrait également être mise en lien avec la mémoire ([Jensen, Kaiser, & Lachaux, 2007](#) ; [Stoub et al., 2006](#)). Cette chaîne logique fait alors écho à l'hypothèse explicative d'Act-In d'un déficit d'intégration responsable des troubles mnésiques.

Chapitre 10

Modèle Act-In

La recherche menée au cours de cette thèse s'inscrit dans le cadre théorique des modèles incarnés de la mémoire, et plus particulièrement le modèle Act-In ([Versace et al., 2009](#)). Une formalisation possible de ce modèle a été présentée en tant que chapitre théorique (voir Chapitre 5, page 93). Cette formalisation s'axe sur les données issues du fonctionnement normal chez le jeune adulte et met en avant la catégorisation comme mécanisme de base de la cognition et de la mémoire. Il est alors pertinent de s'interroger sur l'application de ce modèle aux problématiques du vieillissement normal et pathologique. Cette section va s'intéresser dans un premier temps à l'interprétation des résultats de cette thèse à la lumière de ce cadre théorique, et dans un second temps aux propositions théoriques qui peuvent être élaborées à partir de ces données en retour.

10.1 Amorçage inter-sensoriel et Act-In

10.1.1 Le modèle Act-In

Le modèle Act-In (voir Chapitre 5, page 93) est un modèle fonctionnaliste et incarné s'inscrivant dans la lignée des modèles à traces multiples (e.g., [Hintzman, 1984](#)). Comme ces derniers, Act-In suppose que chaque épisode vécu par l'individu se traduit par la création d'une trace mnésique au sein d'un système unique de mémoire. Les traces conservent les propriétés existantes aux moments de sa création, ce qui veut dire que nos connaissances sont modales, avec au premier plan les aspects sensori-moteurs. Toutefois, ces traces ne sont pas le reflet exact de la situation, mais elles résultent au contraire de l'interaction entre cette situation, les connaissances passées et les buts de l'individu comme la notion d'écho dans le modèle Minverva

II (Hintzman, 1984). Le corolaire de ce postulat est qu'il n'existe pas non plus de perception objective dans la mesure où les connaissances existantes influencent automatiquement la perception de l'individu (e.g. Riou et al., 2011).

Act-In définit deux processus dans l'émergence des connaissances, l'activation et l'intégration (voir Reder et al., 2009, pour un modèle de mémoire basé sur ces mêmes processus). La base de l'émergence des connaissances repose sur le mécanisme d'activation (Versace et al., 2009). Le traitement d'un épisode va se traduire par la propagation en cascade des activations résultantes du traitement de la situation vers les autres composantes associées à la trace (Brunel et al., 2009, 2010). Cette activation est définie comme automatique et interactive. Autrement dit, l'activation d'un des composants de la trace devrait activer les autres composants associés à cette trace, activation qualifiée d'intra-trace. Cette activation peut aussi se diffuser à travers les différentes traces selon leur(s) point(s) commun(s), activation désignée comme inter-traces. Le second processus, l'intégration, suppose que la création d'une trace mnésique est davantage que la somme des activations impliquées à son traitement (Labeye et al., 2008). Cette intégration prendrait essentiellement place au moment de la création de la trace (encodage) et lierait ensemble les composantes de la trace.

10.1.2 Effets d'amorçage inter-sensoriel

Les paradigmes utilisés dans cette thèse semblent dépendre essentiellement du mécanisme d'activation, et plus particulièrement de l'activation intra-trace. Ainsi, l'effet d'amorçage inter-sensoriel pourrait se décomposer de la manière suivante. La présentation de l'amorce sonore, par exemple un miaulement, se traduit par son traitement par les aires auditives. Si le profil d'activation, ou plus précisément l'activation de certains sous-composants, correspond à des épisodes déjà vécus – i.e. des traces mnésiques – l'activation résultante du traitement devrait alors se propager aux composantes associées à ces sous-composants. Dans l'exemple donné, le traitement du miaulement activera les composantes associées, comme celle visuelle (image d'un chat) si la personne a déjà été confrontée à des chats miaulant au cours de sa vie.

Cette interprétation trouve une première limite dans le fait que l'activation intra-trace est censée impliquer un nombre très restreint de traces. En d'autres mots, l'activation intra-trace devrait se limiter au traitement d'un exemplaire particulier (ou de peu d'exemplaires), exemplaire(s) rencontré(s) par le participant. Pourtant, la présentation de l'amorce, ou même de la cible, ne correspond probablement pas à des exemplaires réellement rencontrés par le participant. C'est d'ailleurs pourquoi des sons et des images les plus prototypiques possible ont été inclus comme matériel

expérimental afin de favoriser l'activation entre les amorces et les cibles. Ainsi, la probabilité que le traitement de l'amorce active la cible visuelle associée est augmentée puisque les stimuli présentés devraient activer des composants communs aux exemplaires connus par la personne. Cette non-spécificité suppose alors que le mécanisme d'activation impliqué dans ces paradigmes d'amorçage inter-sensoriel dépend à la fois de l'activation intra et inter-traces : inter-traces pour la propagation de l'activation à des propriétés sensorielles stéréotypées ou proches de celles présentes (amorce et cible) et intra-trace pour la propagation de l'activation aux composantes associées à l'amorce.

L'activation se propagerait bien de manière automatique, à la fois entre les composantes de la trace et les dimensions communes entre les traces. La concomitance des deux formes d'activation suppose alors une compétition entre celles-ci. En effet, ces formes d'activations ne peuvent pas être indépendantes l'une de l'autre puisque la connaissance doit émerger selon une forme particulière (e.g. épisodique ou sémantique) en fonction de quelle forme d'activation prend le dessus. L'activation inter-traces serait probablement privilégiée puisque la majeure partie des actions d'un individu repose sur des connaissances générales et catégorielles (voir le Chapitre 5). Il serait imaginable que cette compétition soit guidée par les besoins de la tâche et des buts de l'individu. L'émergence de la connaissance est alors contrainte par la situation (environnement) comme supposée par les théories incarnées de la cognition (Glenberg, 1997).

L'effet du masque sensoriel s'interprète de la même manière au sein d'Act-In que pour les approches incarnées en général. Ce point ne sera donc pas redétaillé ici. L'idée générale est que le traitement d'un stimulus perceptivement présent est prioritaire sur la simulation (activation) des composantes associées partageant les mêmes propriétés que ce stimulus (Kaschak et al., 2005). Autrement dit, le masque visuel a empêché la bonne activation intra-trace de la représentation visuelle associée à l'amorce auditive (Vallet, Riou, et al., 2011).

10.2 Vieillesse normale et maladie d'Alzheimer

10.2.1 Vieillesse normale

Les effets du vieillissement peuvent aussi s'expliquer au sein d'Act-In. Le chapitre d'introduction sur le vieillissement (voir page 21) a décrit brièvement comment les approches incarnées pouvaient expliquer les effets globaux du vieillissement sur la

mémoire. Le coeur de cette interprétation repose sur le constat d'une dégradation sensorielle et perceptive avec l'avancée en âge (Schneider & Pichora-Fuller, 2000). L'hypothèse de connaissances modales implique que cette altération doit se répercuter par une altération des connaissances, ou plus justement de l'émergence de celles-ci. D'ailleurs, de nombreux travaux démontrent des liens statistiques forts entre déclin perceptif et déclin cognitif dans le vieillissement (e.g. Lindenberger & Ghisletta, 2009; Valentijn et al., 2005).

Des connaissances de moins bonne qualité devraient se répercuter directement sur la qualité et la reviviscence des souvenirs (Friedman et al., 2010), et par conséquent, sur leur discriminabilité vis-à-vis des autres souvenirs (traces) (Brunel et al., 2010; Brunel, Goldstone, Vallet, Riou, & Versace, en révision). Cette explication rendrait alors compte des difficultés de rappels, qu'il soit par soi-même (rappel libre), contextuel ou de la source. Elle permettrait aussi d'expliquer l'augmentation des fausses reconnaissances par un souvenir plus flou et donc plus sujet à interférence (voir Annexes B.1).

Qu'en est-il des effets particuliers rapportés dans cette recherche ? L'observation d'effets d'amorçage inter-sensoriel pourrait apparaître surprenante aux premiers abords. Ainsi, si ces effets d'amorçage dépendent bien de l'activation directe des composantes associées à l'amorce, alors la dégradation perceptive devrait logiquement se traduire par une faible activation initiale. Autrement dit, une moins bonne perception devrait entraîner une activation affaiblie (émergence) des composantes auditives de l'amorce. Cette moins bonne activation devrait à son tour se traduire par une moins bonne propagation de l'activation entre les composantes de la trace. La conséquence serait un effet d'amorçage amoindri. De même, le masque pourrait avoir une plus grande interférence puisque l'activation initiale serait diminuée. La (co)-activation des autres composantes serait alors plus sensible à une interférence.

Pourtant, les résultats démontrent un effet équivalent (Exp. 2) ou supérieur (Exp. 1) chez les aînés comparativement aux jeunes adultes. L'explication qui semble la plus crédible repose sur un corollaire de l'avancée en âge. Les expériences d'amorçage se basent sur l'usage de matériel très familier, et par conséquent, les personnes âgées ont dû être davantage exposées à ce matériel comparativement aux jeunes adultes. Cette exposition devrait avoir renforcé les liens entre les composantes favorisant la diffusion de l'activation. Ainsi, la dégradation sensorielle/perceptive devrait entraîner une moins bonne activation des composantes associées, mais ce phénomène serait compensé par des liens plus forts entre les composantes. Cette hypothèse trouve un appui dans les paradigmes testant de nouvelles associations ou nouveaux items. Il apparaît que celles-ci sont significativement moins bien traitées que des associations déjà existantes tant pour les tâches d'amorçage (Ergis et al., 1998; Soldan et al., 2009) que de reconnaissance et de rappel (Belleville, Ménéard, & Lepage, 2011).

Le mécanisme d'intégration serait quant à lui intact, ce qui expliquerait les capacités relativement préservées d'apprentissage et de récupération épisodique lors de tâches non complexes (i.e. n'impliquant pas un rappel stratégique). Les personnes âgées devraient être capables de tirer bénéfice d'une situation multimodale comme les jeunes adultes (e.g. [Brunel et al., 2010, en révision](#)). Ce postulat ouvre la voie à des nouveaux programmes de stimulation de la mémoire qui mettraient l'emphase sur des présentations multimodales et travailleraient le lien intégratif entre ces modalités. Ce phénomène expliquerait aussi pourquoi l'auto-indiçage, comme essayer de s'auto-questionner pour retrouver un souvenir, serait une méthode efficace pour ces personnes. La différence d'atteinte de la mémoire entre les personnes âgées et les patients Alzheimer résulterait alors d'une différence d'atteinte de processus. L'activation serait tout autant altérée (si ce n'est davantage) dans la MA, mais le processus d'intégration ferait lui aussi défaut. Cette distinction qualitative serait alors en faveur d'une approche distinguant clairement le vieillissement normal et la MA.

10.2.2 Maladie d'Alzheimer

Les données présentées en introduction de cette thèse suggèrent que les troubles cognitifs observés dans la MA ne peuvent être expliqués par les mêmes hypothèses que celles employées dans le vieillissement normal (voir page 35). Ainsi, bien que la MA soit également caractérisée par une atteinte sensorielle et perceptive, atteinte un peu plus marquée que pour le vieillissement, les atteintes cognitives apparaissent non seulement quantitativement plus importantes que celles du vieillissement, mais également qualitativement différentes. La mémoire est touchée dans presque toutes ses expressions, sauf pour certaines procédures et effets d'amorçage de répétition, et dans tous ses processus ([Carlesimo & Oscar-Berman, 1992](#) ; [Fleischman, 2007](#)). L'atteinte mnésique peut alors être qualifiée d'authentique contrairement à celle du vieillissement qui semble davantage médiatisée par l'atteinte des fonctions exécutives ([Troyer et al., 1994](#)).

Cette différence de profils entre ces deux populations exclut une interprétation basée uniquement sur la dégradation des connaissances en mémoire traduisant la dégradation perceptive. Il apparaît alors que le second mécanisme supposé par Act-In, l'intégration, puisse rendre compte théoriquement de ces phénomènes. Cette intégration est supposée prendre place essentiellement au moment de l'encodage et traduirait la formation d'une trace mnésique qui soit plus que la simple somme de ses composantes. Cette intégration lierait ensemble les différentes composantes de la trace, dont les aspects contextuels, émotionnels et multisensoriels. Cette intégration serait déficitaire dans la MA comme suggérée par différents travaux, tant sur la mémoire de travail ([Parra et al., 2009](#)), la mémoire épisodique ([Stoub et](#)

al., 2006) que pour les aspects sensoriels (Festa et al., 2005) et multi-sensoriels en interaction avec ceux mnésiques (Delbeuck et al., 2007). Selon que l'intégration soit impliquée uniquement lors de l'acquisition de nouvelles connaissances ou également à la récupération de celles-ci, un déficit d'intégration se traduira par des difficultés majeures d'acquisition de nouvelles connaissances et potentiellement de récupération. Autrement dit, les patients souffrants de la MA ne pourraient pas intégrer les différents composants d'une trace épisodique conduisant à un déficit de mémoire épisodique.

Cette difficulté d'intégration pourrait provenir de la déconnexion cérébrale rapportée dans la MA (Delbeuck et al., 2003). Ainsi, toute activité cognitive nécessitant une communication cérébrale relativement complexe devrait être altérée. Paradoxalement, ce déficit de communication s'apparente davantage à un problème d'activation que véritablement d'intégration. Les résultats des Expériences 1 et 2 sont en faveur de cette hypothèse. En effet, les patients Alzheimer ne présentent pas d'effet d'amorçage inter-sensoriel malgré le fait qu'il soit de nature perceptive. Le modèle Act-In supposerait alors un déficit d'activation intra-trace, c'est-à-dire que le traitement de l'amorce sonore ne permet pas la transmission de l'activation aux composantes liées à celle-ci (la forme visuelle). Il ne semble pas que la relation entre les composantes soit pour autant coupée puisque lorsque le lien sémantique est suffisamment fort, des effets d'amorçage inter-sensoriel puissent être observés (Balota et al., 1999). Ce dernier résultat questionne l'explication du déficit d'amorçage par un simple mécanisme d'activation, puisque certaines activations seraient possibles et pas d'autres. L'hypothèse d'un déficit d'intégration resurgit alors. Néanmoins, Act-In dans sa forme actuelle suppose que l'intégration intervient essentiellement à l'encodage alors que le déficit observé ici se rapporte davantage à l'émergence de la connaissance (récupération). Ces données conduisent à quelques réflexions sur le modèle Act-In.

10.3 Réflexions sur le modèle Act-In

10.3.1 De l'intégration à la pondération des activations

Le modèle Act-In dans sa version initiale suppose que l'intégration est un mécanisme unitaire quelle que soit l'émergence de la connaissance. L'intégration est supposée prendre une place prépondérante lors de l'encodage, c'est-à-dire au moment de l'apprentissage de nouvelle information (constitution d'une nouvelle

trace)¹. Cette intégration jouerait un rôle essentiel dans la force de la trace, c'est-à-dire dans le renforcement des liens entre ses composantes. Rôle qui explique l'importance de cette intégration pour l'émergence des connaissances sous forme épisodique². Plus la trace est forte plus le souvenir serait vivace et persistant (voir Rohrer, 1996). Ce serait davantage le processus d'activation qui distinguerait l'émergence de la connaissance en connaissance épisodique par l'activation intra-trace, ou sémantique via l'activation inter-traces. Cette définition des rôles de l'intégration et de l'activation apparaît cependant surprenante dans une approche purement fonctionnelle de la mémoire. En effet, supposer que l'intégration intervient lors de la formation d'une nouvelle trace laisse à penser que cette étape peut être distinguée de la récupération d'une trace réintroduisant les processus relatifs à un stockage mnésique³. Pourtant, le modèle Act-In suppose bien que ces deux étapes peuvent être confondues : « in the approach that we advocate here, it is not really possible to dissociate these two stages⁴ ».

Une émergence dynamique des connaissances, comme supposée par les approches connexionnistes, conduit au contraire à confondre l'encodage et la récupération comme illustré par la sonde et l'écho dans le modèle MINERVA-II (Hintzman, 1984). Bien qu'Hintzman distingue ces deux étapes, de par la nature du modèle qui suppose la création d'une nouvelle trace à chaque épisode, la sonde est modifiée par l'activation résultante du système amenant l'émergence d'une connaissance différente de celle présente à l'encodage (l'écho). Autrement dit, la récupération d'un épisode, suite aux indices de l'environnement et des buts du sujet, constitue en même temps l'encodage d'un nouvel épisode. D'ailleurs, des séries de travaux depuis les dix dernières années ont montré la malléabilité des souvenirs (e.g. Schwabe & Wolf, 2009). Alors que les souvenirs étaient supposés se consolider sous une forme quasi immuable, il apparaît au contraire que ceux-ci peuvent être modifiés à nouveau, soit par « l'interférence » de nouveaux apprentissages (voir Nader, 2003, pour revue) soit par une modification du souvenir lui-même (Bevilaqua, Medina, Izquierdo, & Cammarota, 2008). Ce phénomène est le plus souvent interprété comme un retour du souvenir épisodique en mémoire de travail, sous-système mnésique capable de modifier le souvenir. Selon une approche fonctionnelle, l'émergence de la connaissance se confond avec l'acquisition d'une nouvelle trace mnésique, essentiellement composée des propriétés activées des traces qui ont émergé, mais

¹« Act-In therefore assumes that the emergence of specific knowledge requires intra-trace integration during encoding, that is to say the integration of the components within the same trace. » (Chapitre 5, section Forming a new traces).

²« The likelihood that a trace can be specifically reactivated depends on : i) its distinctiveness, and ii) the level of integration (or binding) of the components of the trace » (Chapitre 5, section Knowledge emergence through interactive activations)

³Les processus d'encodage et de récupération ne peuvent exister que s'il existe un stockage des représentations.

⁴Traduction : « dans l'approche que nous défendons ici, il n'est pas réellement possible de dissocier ces deux étapes. »

avec le possible ajout des nouveaux composants présent dans la situation actuelle. Cette description en terme de traces apparaît cependant coûteuse. Il semble plus parcimonieux d'imaginer une modification du poids des unités de traitement et de leurs connexions induite par une plasticité cérébrale (pondération). Ainsi, ce ne serait pas la récupération et l'encodage d'une nouvelle trace, mais plutôt une modification des connexions reliant les différentes propriétés activées et la possible création de nouvelles connexions (voir [Rousset, 2000](#) ; [Versace et al., 2009](#)).

Cette approche de pondération s'avère également plus plausible au niveau du fonctionnement cérébral comme le suggèrent les principes et lois Hebbiennes ([Brown & Milner, 2003](#) ; [Hebb, 1949](#)). Les théories computationnelles hebbiennes se basent sur le fait que l'activité du système (ici du système nerveux) modifie les propriétés du réseau. Ces modifications influencent à leur tour tout traitement subséquent qui se base sur ce réseau. En d'autres mots, la mémoire résulterait des modifications du système par l'activité même du système. Il est notable que ce principe trouve des validations empiriques, notamment au niveau physiologique avec les principes de potentialisation et dépotentialisation à long terme des synapses (voir [Squire & Kandel, 2002](#)).

Cette argumentation suggère que puisque l'encodage et la récupération sont confondus, l'intégration devrait prendre place à chaque émergence des connaissances ([Labeye et al., 2008](#)). Il est alors envisageable de donner un rôle plus important à l'intégration dans l'émergence des formes de connaissances (voir [Zimmer, Mecklinger, & Lindenberger, 2006](#)). Les connaissances existantes sur le fonctionnement cérébral et l'intégration multisensorielle offrent d'ailleurs une approche intéressante sur les possibles rôles de l'intégration. La pertinence de cette étude est soulignée par les nombreux travaux qui démontrent que la majeure partie des opérations du cerveau pourrait impliquer un traitement multisensoriel (voir pour revue, [Ghazanfar & Schroeder, 2006](#)) et par le fait que les approches incarnées définissent des connaissances modales avec aux premiers plans les aspects sensori-moteurs.

10.3.2 Intégration intra-trace et inter-traces ?

Une manière simple de donner plus de poids à l'intégration dans l'émergence des connaissances et de transposer les principes intra et inter-traces de l'activation vers l'intégration. Ce serait l'intégration intra-trace qui définirait l'émergence de connaissances épisodiques et celle inter-traces qui sous-tendrait l'émergence des connaissances sémantiques. Les termes intra-trace et inter-traces ne sont cependant pas en adéquation avec la vision de pondération proposée ci-dessus et pourraient être dénommés autrement. L'intégration intra-trace pourrait être qualifiée de multidimensionnelle puisqu'il s'agit d'intégrer ensemble les différentes modalités sensorielles,

mais également le contexte temporo-spatial, le vécu émotionnel, etc. Le terme de dimensions sera ici employé comme désignant un ensemble de composantes comme celles motrices, sensorielles, contextuelles, ou émotionnelles. L'intégration inter-traces pourrait quant à elle être qualifiée d'intradimensionnelle c'est-à-dire une intégration des composantes au sein d'une même dimension. Des intégrations intradimensionnelles pourraient avoir lieu en parallèle selon chaque dimension impliquée. Ces deux formes d'intégrations ne sont pas indépendantes l'une de l'autre, mais prendraient place selon des intégrations en cascade, probablement d'abord au sein de chaque dimension puis de plus en plus entre elles. Cette vision est en accord avec les connaissances actuelles sur le rôle de certaines régions intégratives dans le cerveau. Par exemple, les influx sensoriels peuvent être intégrés par modalités comme pour les éléments visuels le long de la voie ventrale et dans le cortex périrhinal (Bussey & Saksida, 2007), mais aussi entre les modalités sensorielles par des connexions directes (e.g. Cappe & Barone, 2005; Cappe et al., 2009) ou aires intégratives comme le sillon temporal supérieur (Stevenson & James, 2009). Des régions plus antérieures, dont les lobes frontaux aux premiers plans, joueraient un rôle dans l'intégration multidimensionnelle (e.g. Gaffan, 2005) comme illustré par les marqueurs somatiques (Reimann & Bechara, 2010).

Concernant les aspects épisodiques, les travaux sur l'intégration multisensorielle démontrent que des stimuli, reliés ou non sémantiquement entre eux, seront intégrés s'ils sont présentés suffisamment proches les uns des autres dans le temps et dans l'espace (e.g. Spence, 2007). Ce phénomène est désigné sous le nom de la règle d'unité⁵ (e.g. Vatakis & Spence, 2008). Cette situation correspond à une possible définition d'un épisode et indique que cette intégration serait automatique et non volontaire. Cette intégration n'est pas limitée à des éléments présents en perception, puisque cette intégration serait également valable pour les connaissances déjà existantes en mémoire (Opitz, 2010) et prendrait place dans des zones cérébrales communes à celles sous-tendant la mémoire (Graham et al., 2010; Murray & Richmond, 2001). D'ailleurs, ce rôle de l'intégration multisensorielle en mémoire est confirmé par le constat que l'intégration multisensorielle est influencée par les connaissances existantes de l'individu (Ernst & Bühlhoff, 2004; Mitterer & Jesse, 2010; Ryan et al., 2008) et de ses attentes (Schutz & Kubovy, 2009). Cette intégration multidimensionnelle ne se limiterait pas aux aspects multisensoriels, mais concernerait toutes les dimensions dont le contexte (e.g. Starns & Hicks, 2008) ou l'émotion (e.g. Mather, 2007).

Appliqué à Act-In, il est envisageable que la présence concomitante de différents stimuli dans l'environnement soit intégrée entre eux en tant qu'épisode. Ces informations pourraient être également intégrées aux connaissances déjà existantes, soit en modifiant les souvenirs existants (pondération des activations) ou à l'inverse,

⁵Traduction proposée pour « Unity assumption ».

c'est-à-dire que les connaissances en mémoire influenceraient la « création » de cette nouvelle connaissance. Autrement dit, l'intégration multisensorielle est à même de jouer un rôle clé dans le fonctionnement mnésique. Il a aussi été montré des effets facilitateurs d'une présentation multisensorielle sur une identification unimodale (Lehmann & Murray, 2005 ; Molholm et al., 2004). L'intégration multisensorielle aiderait aussi à la discrimination de stimuli présentés de manière unimodale (Lehmann & Murray, 2005). Ce dernier résultat fait écho à la distinctivité évoquée par Act-In et son rôle crucial dans l'émergence de souvenirs épisodiques (e.g. Goh & Lu, 2012). D'ailleurs, le niveau d'intégration de tous les éléments de la trace permettrait de différencier une reconnaissance de type « Remember », supposée épisodique, d'une reconnaissance « Know », supposée sémantique (Meiser, Sattler, & Weisser, 2008). Cette intégration multidimensionnelle permettrait de rendre compte d'une partie des déficits épisodiques des personnes âgées (Chalfonte & Johnson, 1996) comme suggérées par l'hypothèse d'un déficit d'association (pour revue, voir Old & Naveh-Benjamin, 2008). Cette hypothèse d'association, ainsi que les liens entre mémoire et perception dans le vieillissement suggèrent que l'activation joue aussi un rôle déterminant dans le fonctionnement mnésique des personnes âgées. Une altération de la qualité de leurs représentations se traduirait par une activation également amoindrie et donc de plus grandes difficultés d'activation des composantes associées en mémoire. Ce mécanisme d'intégration peut être appliqué à la MA, puisque les déficits épisodiques s'expliqueraient naturellement par un déficit d'intégration des différentes composantes d'un épisode. Ce déficit serait quantitativement plus important que celui observé dans le vieillissement, mais non qualitativement différent. Autrement dit, mettre au premier plan l'intégration dans l'émergence des connaissances plutôt que l'activation supporte davantage une hypothèse d'un continuum entre le vieillissement normal et la MA (pour une critique théorique sur la MA en tant qu'entité distincte, voir Whitehouse & George, 2009). Ce débat sur le possible continuum entre vieillissement et MA ne sera pas détaillé ici puisque les données recueillies ne permettent pas de supporter clairement l'une ou l'autre hypothèse.

Quant à l'émergence des connaissances sémantiques, celle-ci pourrait s'expliquer par une intégration des activations selon une dimension particulière ou un faible nombre de dimensions (Goldstone & Steyvers, 2001). Ainsi, les cortex périrhinaux sont reconnus jouer un rôle majeur dans l'intégration visuelle, notamment celle de haut niveau (Bussey & Saksida, 2007). Ces régions sont également celles les plus touchées dans la démence sémantique, maladie caractérisée par une atteinte sémantique (Mummery et al., 2000). L'atteinte de ces régions entraînerait un déficit de perception et reconnaissance d'items ambigus sur le plan visuel (Barense et al., 2010). Il est alors imaginable que le déficit sémantique rapporté pour la catégorie des vivants puisse s'expliquer par une atteinte de l'intégration des composantes visuelles (pour une discussion sur le sujet, voir Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011). Cette intégration traduirait une abstraction des composants spécifiques de cha-

cune des connaissances (traces) activées pour ne garder que l'activation (ou les activations) commune(s) à chacune d'elle(s). Il ne s'agirait pas seulement d'une simple diffusion d'activation puisque l'abstraction des éléments spécifiques nécessiterait une intégration de ces activations selon la dimension ciblée. Cette forme d'intégration expliquerait par exemple le phénomène de coût de changement⁶. Cet effet se traduit par un ralentissement pour vérifier l'appartenance d'une propriété à un concept lorsque la modalité impliquée dans la propriété est différente de celle impliquée dans l'essai précédent (e.g. [Pecher et al., 2003](#)). Cet effet supporterait les approches incarnées de la cognition puisque ce coût traduirait la simulation du système cognitif. Le coût de changement pourrait résulter du changement d'intégration d'une modalité à une autre. L'intégration interdimensionnelle serait donc à même d'expliquer l'émergence des aspects sémantiques, que ce soit dans la définition de propriétés générales (les oiseaux ont des ailes, deux pattes, etc.) ou les phénomènes de catégorisation (e.g. vivant/non-vivant).

Ces descriptions des possibles rôles de l'intégration semblent pouvoir expliquer d'un point de vue théorique l'émergence des connaissances sous forme épisodique et sémantique. Les quelques structures cérébrales évoquées le long de cette section indique une certaine plausibilité de l'implémentation cérébrale de ces processus. Ces données demeurent lacunaires et un mécanisme neuro-physiologique permettant d'unifier l'explication de ces intégrations est manquant. L'hypothèse la plus prometteuse pour ce rôle apparaît être les activités oscillatoires.

10.3.3 Act-In et activités oscillatoires

Cette proposition du rôle de l'intégration dans l'émergence des connaissances trouve une explication neuro-biologique très plausible dans les activités oscillatoires. L'activité oscillatoire désigne une forme de communication entre des groupes neuronaux, proches ou éloignés les uns des autres dans le cerveau (voir [Sauseng & Klimesch, 2008](#), pour une présentation détaillée des oscillations). Cette communication se traduit par des profils de décharges similaires lorsque ces groupes de neurones traitent un même objet/épisode. C'est pourquoi l'étude des oscillations s'est d'abord portée sur l'intégration multisensorielle et sur l'émergence à la conscience. Ainsi, une activité oscillatoire traduirait le traitement dans différentes modalités d'un même percept (intégration multisensorielle, voir [Senkowski et al., 2008](#)) et cette synchronisation des activités permettrait l'émergence à la conscience (voir [John, 2002](#), pour revue). Autrement dit, une activité consciente serait une activité engageant une bonne synchronisation des traitements dans le cerveau. Cette capacité à rendre compte de l'intégration multisensorielle implique presque nécessairement

⁶Traduction proposée pour « Switching cost »

un rôle de l'attention. D'ailleurs, les phénomènes attentionnels et de mémoire de travail sont régulièrement étudiés selon des méthodes d'analyses des oscillations (e.g. [Jensen et al., 2007](#)).

Les oscillations sont également à même d'expliquer les autres types de phénomènes mnésiques, en différenciant par exemple les encodages sémantiques de ceux dits épisodiques ([Hanslmayr, Spitzer, & Bauml, 2009](#)). Une revue récente fut dédiée à l'intégration en mémoire et démontre les différents rôles possibles de l'intégration dans l'expression épisodique ou sémantique d'une connaissance ([Klimesch, Freunberger, & Sauseng, 2010](#)). Dans le cadre de l'émergence des connaissances sous forme épisodique, les études démontrent un rôle clé dans la communication entre les hippocampes et le néo-cortex via ces oscillations ([Sirota & Buzsáki, 2005](#)). Les oscillations permettent aussi d'expliquer l'intégration d'un item dans son contexte ([Summerfield & Mangels, 2005](#)) ou encore l'appariement sémantique d'information dans différentes modalités ([Schneider, Debener, et al., 2008](#)).

L'étude des phénomènes oscillatoires est également pertinente pour la neuropsychologie ([Uhlhaas & Singer, 2006](#)). Concernant la MA, la revue menée par [Jeong \(2004\)](#) apporte des arguments électrophysiologiques à l'hypothèse d'un syndrome de déconnexion en soulignant les déficits de communication entre les aires cérébrales. Il est alors possible d'établir des modèles de la mémoire rendant compte de l'ensemble des expressions de la mémoire selon une approche dynamique basée sur ces oscillations ([Başar, 2005](#)). Ces phénomènes oscillatoires, ainsi que ce modèle, ne seront pas détaillés ici, car ce travail de thèse demeure dans une approche comportementale. Il est tout de même notable que l'analyse des oscillations ouvre la porte à une approche intégrée de la cognition et constitue indubitablement une voie d'avenir pour la recherche tant fondamentale qu'appliquée (voir [Fuster, 2009](#)).

Chapitre 11

Limites et expériences complémentaires souhaitables

Les travaux présentés au sein de cette thèse ne sont pas exempts d'un certain nombre de limites. La plupart de ces limites sont d'ordre méthodologique bien que certaines concernent davantage des points théoriques. Bien que la majorité de ces limites soient relativement mineures, quelques-unes questionnent plus avant la validité ou la portée des résultats.

Une première limite globale est que l'ensemble des passations, saisies des données, cotations, et interprétations des résultats a été réalisé par une seule personne. Ainsi, des erreurs de saisies ont pu survenir, malgré les précautions apportées (double saisie et vérification aléatoire des saisies). Plus gênant, en tant que responsable de ce projet, cette personne pourrait avoir été biaisée dans la passation ou la cotation des tests. Ce point semble particulièrement valable pour les tests neuropsychologiques, mais apparaît moins plausible dans le cas des expériences d'amorçage qui représentent la partie centrale de cette recherche. Bien que la transmission orale des consignes pouvait être biaisée, la présence d'instructions écrites devrait avoir limité ce possible biais. De plus, les différences de temps de réaction entre les conditions d'intérêt étant de l'ordre de 20 à 40 ms, il semble difficilement imaginable que l'expérimentateur ait pu influencer les participants dans le traitement des conditions visées. Une autre réponse à cette limite provient de l'homogénéité des passations. L'avantage d'avoir une seule personne pour les passations et cotations et de garder une certaine constance évitant le biais d'expérimentateurs différents. Bien entendu, il serait préférable de répliquer ces résultats avec une plus grande division des tâches afin de véritablement contrôler ce possible biais.

Une autre limite générale concerne l'hypothèse de connaissances modales. Il a ainsi été souligné à plusieurs reprises dans ce travail que les composantes sensori-

motrices seraient les principales caractéristiques de ces connaissances. Toutefois, l'ensemble des données et discussions proposées porte presque exclusivement sur les aspects sensoriels et nullement sur ceux moteurs. Ces derniers, avec l'action d'une manière plus globale, sont pourtant déterminants dans l'émergence des connaissances (e.g. [Brouillet et al., 2010](#) ; [Ellis & Tucker, 2000](#)). De plus, ces aspects jouent probablement un rôle particulièrement important dans le vieillissement puisqu'il est marqué par une diminution des capacités motrices. Il apparaît donc essentiel de poursuivre des travaux dans ce sens.

Ce chapitre se concentrera essentiellement sur les limites relatives aux paradigmes d'amorçage puisque ceux-ci constituent le coeur de cette recherche. Les limites concernant les tests neuropsychologiques et leur usage pour l'établissement de corrélations seront abordées, bien que moins détaillées.

11.1 Paradigmes d'amorçage inter-sensoriel

11.1.1 Taille d'échantillonnage

Une première limite classiquement rapportée est la taille relativement restreinte des échantillons inclus, limite particulièrement saillante pour les patients souffrants de la maladie d'Alzheimer. Contrairement aux recommandations d'échantillonnage supérieur à trente personnes pour assurer la normalité des distributions, les groupes ayant participé au paradigme d'amorçage à long terme étaient composés de 24 personnes par groupe pour les jeunes adultes et les personnes âgées saines et de 18 personnes pour les patients Alzheimer. Ce critère est par contre rempli pour l'Expérience avec des échantillons de 32 personnes pour les groupes de jeunes adultes et personnes âgées saines. Malheureusement, ce nombre est divisé par deux pour les patients avec seulement 16 personnes incluses.

Cette limite est bien entendu valable pour les batteries de tests neuropsychologiques, mais il est notable que la plupart des études réalisées dans ce domaine auprès de personnes âgées saines et patients Alzheimer sont constituées d'échantillon assez restreint. Cette limite sera davantage détaillée dans la prochaine section.

Une première réponse à cette limite pour les expériences d'amorçages réside dans l'application des tests de normalité aux données analysées. Ainsi, les temps de réaction apparaissent bien dans la normalité. Ce n'est pas le cas des taux de bonnes réponses, ce qui pourrait rendre compte de l'absence d'effet pour cette variable. Il est important de souligner que la principale variable dépendante de ces études était les temps de réaction. Toutefois, une meilleure réponse à ces limites provient de la

réplication des résultats à travers les populations pour les groupes jeunes et âgés sans difficulté cognitive et à travers les expériences (Exp. 1 et 2). Ces réplifications suggèrent que le paradigme d’amorçage et les résultats observés sont en partie robustes bien que le besoin de réplication reste d’actualité, notamment pour les patients souffrants de maladie d’Alzheimer.

11.1.2 Matériel

Le choix et la validité du matériel utilisé sont également des limites potentielles pour toutes les études expérimentales (pour une présentation des stimuli, voir Annexes A.2). Un premier point à soulever est le choix comme matériel de sons et photographies, photographies en couleur et en contexte. Ainsi, des stimuli écologiques comme ceux-ci sont certainement moins bien contrôlés que des dessins au trait (voir Snodgrass & Vanderwart, 1980) ou encore des mots contrôlés sur leurs fréquences, longueur, nombre de syllabes, etc. grâce aux bases de données existantes (e.g. BRULEX, Content, Mousty, & Radeau, 1990). De même, le choix de garder les photographies en couleurs se traduit par un moins bon contrôle de la luminance et de la répartition des couleurs à travers les items. Il en va de même pour le contexte, avec la particularité supplémentaire que les outils et instruments de musique sont plus difficilement en contexte sans humain les manipulant et les animaux sont souvent sur un fond de couleur bleue pour le ciel et l’eau (ex. oiseaux, animaux maritimes) ou bien encore vert ou jaune pour l’herbe et la savane (ex. équidés, félidés). Ces spécificités pourraient entraîner des biais pour la catégorisation des items avec des items beaucoup plus facilement catégorisables que d’autres.

Néanmoins, les effets visés dans ces expériences ne sont pas directement relatifs à la bonne catégorisation des items, mais dépendent des effets d’amorçages résultant de la présentation des amorces sonores. L’importance est donc déplacée sur les couples amorces-cibles et non sur les stimuli eux-mêmes. En outre, le contrebalancement des items dans toutes les conditions assure que les différences de traitement observées entre les conditions expérimentales ne proviennent pas d’un biais de sélection d’items.

Un second constat est que le matériel est quasiment identique pour les deux expériences d’amorçage inclus dans cette thèse. La plupart des items ajoutés entre la version à long terme et à court terme du paradigme le furent pour constituer la condition catégorie-incongruente, condition non incluse dans les analyses. Au-delà de ces changements, quelques items ont été remplacés afin de permettre une adaptation optimale à la culture québécoise où les paradigmes à court terme ont été passés et afin d’améliorer la qualité de certains stimuli.

Ce choix pourrait avoir comme effet retors de restreindre la validité des effets aux seuls items inclus. Il apparaît nécessaire de répliquer les résultats observés avec d'autres couples sons-images que ceux utilisés, soit avec des items différents soit avec d'autres exemplaires (i.e. autres représentations) des items inclus. L'extension à d'autres items (nouveaux concepts) que ceux actuellement inclus n'est toutefois pas évidente. Une possible réponse à cette critique réside dans l'interprétation de l'effet du masque en une simulation des modalités associées (Vallet, Riou, et al., 2011). Il est alors imaginable que cette simulation ne doit pouvoir s'observer que si l'amorce est bien identifiée par le système cognitif. Une seconde réponse tient à la spécificité de l'effet. Ainsi, si l'effet est bien item-spécifique comme suggéré par l'effet asymétrique du masque selon la congruence sémantique (Vallet, Simard, Versace, & Mazza, Soumis), des propriétés perceptives se chevauchant entre différents items pourraient se traduire par une interférence non spécifique (généralisée aux items proches). Autrement dit, les items devraient non seulement être bien identifiables, mais également suffisamment distincts les uns des autres, les deux facteurs étant interconnectés.

Il faut également souligner le fait que le choix des items inclus résultait d'un prétest évaluant l'association forme visuelle – forme auditive (cf. Vallet et al., 2010). Alors qu'une présélection des items avait déjà été faite afin que le matériel soit le plus prototypique et identifiable possible, l'association forme visuelle – forme auditive était relativement faible. Autrement dit, peu d'items peuvent correspondre aux critères nécessaires aux contraintes expérimentales testées ici (effet du masque). Au-delà de ce prétest, l'exploration des propriétés d'un nombre important d'items visuels et auditifs (environ 300) met en évidence la difficulté d'identification des stimuli auditifs comparativement aux items visuels qui sont eux quasiment systématiquement bien identifiés (Schneider, Engel, & Debener, 2008). Ce résultat montre la difficulté potentielle du choix des stimuli pour un amorçage inter-sensoriel impliquant les modalités auditive et visuelle.

11.1.3 Modalités et direction de l'amorçage

Cette question de la direction de l'amorçage et des modalités sensorielles soulève une nouvelle limite. Ainsi, les différentes expériences d'amorçages n'ont utilisé que les modalités visuelle et auditive et, de plus, uniquement de la modalité auditive vers celle visuelle. La réplication des résultats est donc souhaitable dans d'autres modalités et dans la direction inverse (i.e., modalité visuelle vers celle auditive). D'un point de vue théorique, la co-activation des autres modalités est supposée par la théorie de la cognition incarnée. D'ailleurs, des effets d'amorçage inter-sensoriel ont pu être observés entre la modalité olfactive et visuelle (Pauli, Bourne Jr, Diekmann, & Birbaumer, 1999) chez les jeunes adultes ou encore entre celle tactile et visuelle,

à la fois chez les jeunes adultes et chez les personnes âgées saines (Ballesteros & Reales, 2004). D'une manière générale, il semblerait que toutes les modalités sensorielles puissent interagir entre elles comme le montre la série d'expériences menée par Förster (2011).

Une deuxième réponse, concernant la direction de l'amorçage, provient d'une expérience précédemment publiée, mais non incluse dans le corps de cette thèse (voir Vallet et al., 2010). Dans celle-ci, le même paradigme d'amorçage à long terme que celui utilisé dans le chapitre 6 a été utilisé auprès de jeunes adultes, mais cette fois dans les deux directions. Les résultats montrent des effets similaires quelle que soit la direction de l'amorçage comme prédit par la théorie de la cognition incarnée. Toutefois, les résultats obtenus dans la direction visuelle–auditive sont d'une taille d'effet inférieure et les observations démontrent une plus grande variance. C'est pourquoi pour les besoins de la thèse, la direction auditive vers celle visuelle a été privilégiée afin de limiter les effets délétères d'une trop grande dispersion de la variance. Cette restriction est d'autant plus importante que les paradigmes d'amorçages furent appliqués aux personnes âgées saines et aux patients souffrants de la maladie d'Alzheimer. Ces deux populations sont en effet reconnues présenter une plus grande variance dans leurs résultats tant au niveau intra-individuel qu'inter-individuels par rapport à celle observée pour des jeunes adultes (e.g. Gorus, De Raedt, & Mets, 2006 ; Hultsch, Strauss, Hunter, & MacDonald, 2008).

11.1.4 Variance et populations incluses

Une différence de répartition des données selon des variances inégales constitue une limite tant méthodologique que statistique. D'un point de vue statistique, c'est avant tout une diminution de la puissance traduisant un possible manque de sensibilité et de fiabilité des outils choisis. Cette moindre puissance pourrait alors masquer des effets qui pourtant existent. À l'inverse, cette variance pourrait produire des effets qui ne reflètent pas le processus cognitif visé.

Une grande variance est essentiellement observée chez les personnes âgées lors de tâches basées sur les temps de réaction (e.g. Fozard, Vercruyssen, Reynolds, Hancock, & Quilter, 1994 ; Salthouse, 2000). Ces effets semblent conditionnés à la fois par la complexité de la tâche (Hultsch, MacDonald, & Dixon, 2002), mais aussi par la possible sous-estimation de performance des personnes âgées lors de la préparation à répondre (voir Vallet, Fortin, & Simard, sous presse). Les patients Alzheimer présenteraient une variance encore plus importante, notamment en lien avec les altérations cérébrales dues à la maladie (Jackson, Balota, Duchek, & Head, 2012). Cette variance représente un enjeu cognitif de taille, puisqu'elle pourrait permettre de discriminer le vieillissement normal de celui pathologique (Duchek

et al., 2009). L'analyse des profils individuels des patients démontre bien cette grande variance et l'hétérogénéité des profils (voir Annexes A.1). Il semble alors que différents sous-groupes devraient être constitués a posteriori afin de rechercher l'existence de variables confondues et essayer d'extraire des régularités en fonctions de ces profils. Cette démarche n'a pas été suivie ici en raison de la taille beaucoup trop restreinte de l'échantillon. Il serait essentiel de mener des études à plus grande échelle pour contrôler ce possible biais. Il est à noter que malgré cette hétérogénéité, il ne semble pas exister de sous-groupes présentant un effet d'amorçage et d'autres non.

Ces points questionnent aussi le choix d'une tâche de catégorisation portant sur les temps de réponse du participant. Il serait peut-être plus judicieux de se concentrer davantage sur les taux de bonnes réponses. Ceux-ci présentent moins de variances en raison du choix limité de réponses. Cette variable dépendante est également insensible à l'effet du ralentissement rapporté dans le vieillissement. Malheureusement, les résultats sur les taux de bonnes réponses montrent des effets plafonds et des variances insuffisantes pour mettre en évidence les possibles effets. Une première solution serait alors de rendre la tâche plus difficile comme en dégradant les items à identifier (voir par exemple, Schneider, Engel, & Debener, 2008). Une deuxième solution serait l'inclusion de nouvelles tâches davantage axées sur le taux de bonnes réponses comme une tâche d'identification ou une tâche de décision lexicale.

Il est notable que bien qu'une différence de variance puisse être gênante, les plans expérimentaux des deux expériences visaient des effets intra-sujet. Autrement dit, les résultats les plus importants étaient la différence des temps de réaction entre des conditions pour un même participant et pour un même groupe. Les effets inter-groupes offraient davantage un regard sur la similitude des profils que sur les effets intrinsèques des variables manipulées. Ces deux points réduisent donc les problèmes soulevés par une différence de variance inter-individuelles.

11.2 Tests neuropsychologiques et corrélations

Le choix des tests neuropsychologiques employés dans les protocoles expérimentaux fait face à d'autres critiques potentielles allant de leur choix à leur usage pour établir des corrélations avec les paradigmes d'amorçages.

11.2.1 Exhaustivité

Le choix des épreuves incluses s'est fait afin de couvrir la plupart des sphères cognitives, testées soit directement (test de mémoire) ou alors indirectement (tests mixtes comme les fluences). Les fonctions mnésiques et exécutives étaient particulièrement visées en raison des populations ciblées et de l'importance de ces fonctions dans une atteinte cognitive. Cependant, bien que les batteries de tests soient relativement conséquentes, elles n'en étaient pas moins non exhaustives. Une première limite est alors l'impossibilité d'établir un profil complet des participants à ces études. Ce manquement pourrait se traduire par le fait que certains participants, mais surtout patients, présentent des déficits ou altérations significatifs dans les domaines non évalués comme les praxies, le langage, ou certaines formes d'attention.

Cette possibilité trouve une première réponse dans l'importance relative de l'existence de ces troubles. Ainsi, la présence d'un trouble praxique ou gnosique est classiquement rapportée dans la maladie d'Alzheimer et ne constituerait en aucun cas un critère d'exclusion. En revanche, l'existence d'un trouble cognitif dans le groupe des personnes cognitivement saines aurait compromis la validité de l'étude. C'est alors que l'importance du regard clinique et de l'interaction entre l'expérimentateur et les participants ressort. En effet, tous les protocoles ont été passés par un psychologue spécialisé en neuropsychologie et dans le vieillissement ce qui devrait assurer une certaine expertise clinique. L'entretien d'anamnèse complet couplé à l'observation des participants devrait permettre à l'expérimentateur de déceler la plupart de ces difficultés. Cette situation s'est d'ailleurs présentée à quelques rares reprises. Le cas échéant des tests complémentaires ont été effectués et les personnes concernées exclues du protocole en cas de doute sur la validité des critères d'inclusion. Un entretien particulier était alors organisé afin de parler de ces difficultés et des options se présentant à la personne. Une dernière réponse spécifique aux patients souffrants de la MA est que ceux-ci n'ont été inclus que s'ils avaient reçu un diagnostic de maladie d'Alzheimer probable ou qu'un collègue de neuropsychologues ait statué en faveur de ce diagnostic.

11.2.2 Choix des tests

Les tests inclus dans les batteries neuropsychologiques correspondent tous à des outils standardisés et pour la plupart couramment utilisés en pratique clinique. Ce premier élément devrait donc assurer une certaine validité des outils et des mesures recueillies. Néanmoins, les outils inclus résultent d'un choix, et ce choix peut être questionné. Par exemple, l'épreuve de mémoire du RL/RI-16 items est un test très fréquemment utilisé en France, mais beaucoup moins au Canada et dans les autres

pays. Parmi ses forces, il offre l'avantage de mieux contrôler les processus à l'oeuvre en forçant et testant l'encodage. Il a cependant comme inconvénient d'être facile et de présenter des scores plafonds pour la majorité de ces indices particulièrement chez les jeunes adultes, mais également pour les personnes âgées saines. Un test plus difficile, comme le California Verbal Learning Test – CVLT (Delis, Kramer, Kaplan, & Ober, 2000) aurait alors pu être choisi. Ce test a toutefois le désavantage d'impliquer beaucoup plus lourdement les fonctions exécutives puisqu'il recourt à une stratégie d'encodage libre. Il en va de même pour les autres tests qui présentent leurs forces et leurs faiblesses.

La première batterie de tests n'incluait pas d'épreuves testant directement la perception visuelle et auditive des participants. Cette absence paraît surprenante à lumière du fait que la principale hypothèse défend des connaissances modales et donc des liens étroits en mémoire et perception. Ainsi, des participants ayant des difficultés sensorielles particulières devraient présenter un profil mnésique également distinct. C'est pourquoi les critères d'inclusion de ces études spécifiaient d'avoir une vue et une ouïe suffisante pour la bonne réalisation des tests. Même si celles-ci n'étaient pas directement testées, la réalisation des autres tests, tout comme le regard clinique de l'expérimentateur, permettait d'évaluer l'existence de difficultés non déclarées. Le deuxième protocole permet de répondre à cette limite en offrant des tests d'acuité visuelle (échelle de Monoyer) et auditive (audiogramme) combinés à des tests de perception de bas niveau (VOSP). Puisque les résultats expérimentaux étaient similaires à ceux rapportés dans le premier protocole, il semble bien que ce facteur sensoriel/perceptif ne soit pas significativement impliqué dans la bonne réalisation des tests dans l'Expérience 1.

Une partie non négligeable des discussions des articles et de cette thèse fut consacrée à l'hypothèse attentionnelle qui pourrait rendre compte des effets rapportés dans ces études. L'absence de test évaluant directement l'attention constitue alors une limite conséquente. Il est notable que certaines composantes de l'attention étaient tout de même directement et indirectement évaluées par les tests inclus. En effet, le construct de fonctions exécutives regroupe partiellement celui d'attention, plus particulièrement pour l'attention sélective, l'engagement/désengagement de l'attention et l'inhibition. Ces aspects furent évalués par le TMT et le Stroop ou même le Hayling test, tout comme indirectement par les fluences verbales. L'attention soutenue et phasique, bien que non testées directement, transparaisent dans la réalisation des autres tests et du protocole en général. L'usage de tests évaluant spécifiquement l'attention dans un prochain protocole serait une étape intéressante. Une autre manière d'exclure avec plus de force l'hypothèse attentionnelle serait d'adapter ces protocoles en condition d'attention divisée. La réplication des résultats actuels dans cette condition soutiendrait une hypothèse perceptive et mnésique et non attentionnelle de l'effet du masque.

11.2.3 Corrélations

La discussion du Chapitre 6 a présenté les principales limites, ainsi que les réponses possibles, aux recours à des analyses de corrélations entre les tests neuropsychologiques et les résultats des paradigmes d'amorçages. Ainsi, la principale limite est la taille très réduite des échantillons pour conduire ce type d'analyse. Il est en effet souvent recommandé d'avoir des groupes supérieurs à 50 ou 100 personnes pour mener une étude de corrélation multiple (Tabachnick et al., 2001). Néanmoins, de nombreux articles ont utilisé cette technique de corrélation multiple avec des échantillons très réduits. De plus, et comme souligné auparavant, les analyses de corrélations étaient menées dans un but exploratoire et constituent une analyse secondaire et non primaire. Ce côté exploratoire permet une plus grande souplesse dans les conditions d'analyse. Dans le même ordre d'idée, les corrélations impliquaient un nombre important de variables. Afin de limiter l'inflation du risque d'erreur de type I, une correction statistique plus importante fut appliquée. Il est aussi notable qu'un des arguments importants pour cette étude est l'intercorrélation entre les conditions expérimentales, impliquant seulement 3 (Exp. 1) ou 4 (Exp. 2) variables.

Globalement, il serait nécessaire de conduire des expériences complémentaires basées sur de plus larges échantillons. Cette situation permettrait également d'établir des scores composites pour les tests évaluant un même construit. Cette étape réduirait alors le nombre de variables et augmenterait encore la portée des résultats.

11.3 Expériences complémentaires

La présentation des différentes limites de ces recherches souligne l'importance de conduire des expériences complémentaires. Cette section propose un rapide survol de ces possibles expériences.

11.3.1 Répliques et extension

En premier lieu, la recherche scientifique se base sur la réplique des résultats. Il serait alors nécessaire de reproduire ces expériences par d'autres équipes de chercheurs. Les mêmes protocoles pourraient être repris presque tels quels. Une augmentation significative du nombre de personnes incluses par groupe serait tout de même souhaitable, particulièrement pour les groupes de personnes âgées et patients Alzheimer.

Dans le même ordre d'idée, il faudrait répliquer les résultats avec du matériel différent, que ce soit d'autres stimuli ou d'autres exemplaires. Une attention particulière devra être apportée à la sélection du matériel afin de vérifier que les stimuli soient identifiables dans les deux modalités. L'extension à d'autres modalités serait également un argument supplémentaire pour les théories incarnées. Il pourra s'agir de tester d'autres modalités ainsi que les différentes directions de l'amorçage. Il semble que les interactions visuo-tactiles soient un bon début puisque des travaux récents (Ballesteros & Mayas, 2009) démontrent un effet d'amorçage tant pour les jeunes adultes que pour les personnes âgées. Les interactions auditivo-tactiles ne sont probablement pas les plus évidentes à tester puisque l'environnement est rarement exploré de cette manière. De plus, les vibrations tactiles sont naturellement reliées à celles auditives (basses fréquences = sons graves), mais demeurent peu discriminantes. Il est d'ailleurs difficile d'imaginer des objets familiers qui puissent être distingués de manière tactile sans d'autres facteurs confondus comme la texture. L'adaptation à d'autres modalités semble plus difficile bien que faisable, puisque les tests gustatifs ou olfactifs sont beaucoup plus contraignants à mettre en place.

Les résultats pourraient aussi être étendus à d'autres populations. Afin de compléter le spectre du développement, il semble particulièrement pertinent de tester ces protocoles auprès d'enfants et d'adolescents. Ces passations pourraient répondre à la question de savoir si les enfants ont également des connaissances modales, comme le supposent les théories incarnées. Le développement représente également une situation expérimentale de choix pour tester la force des liens. Comme avancé en discussion, l'effet d'amorçage devrait dépendre de la force d'association entre les couples amorces-cibles. La plus grande expérience des aînées pourrait expliquer la plus grande taille d'effet observée (Exp. 1). À l'inverse, des enfants étant peu familiers avec certains items ne devraient pas présenter d'effet d'amorçage inter-sensoriel pour ceux-ci. Le corollaire serait que le masque devrait alors avoir un effet facilitateur et non plus interférant dans cette condition (voir Exp. 2).

Ces effets pourraient être testés auprès d'autres populations cliniques présentant des troubles mnésiques. Si l'hypothèse d'une déconnexion cérébrale est valable pour rendre compte des troubles épisodiques, des populations comme les traumatisés crâniens avec le phénomène des lésions axonales diffuses devraient présenter un profil similaire à celui des patients Alzheimer (voir Scheid, Walther, Guthke, Preul, & von Cramon, 2006, pour le lien entre lésion axonales diffuses et cognition). Les aspects sémantiques prédisent également des effets différents. Ainsi, une atteinte temporale externe et des cortex périrhinaux pourraient entraîner un déficit dans l'intégration visuelle (Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011). Cette hypothèse suppose que les patients présentant ce type d'atteinte, comme dans la démence sémantique, auront des effets différents entre les catégories des animaux et des objets. Les résultats d'une étude pilote semblent confirmer cette prédiction (voir Annexes B.2).

11.3.2 Expériences contrôles

Au-delà des répliques des résultats, il serait également avantageux de mieux cibler les effets. Une expérience complémentaire pourrait tester la charge attentionnelle. Comme évoqué ci-dessus, une expérience en attention divisée serait un bon moyen de tester plus directement l'implication de l'attention dans les effets du masque. Une autre expérience pourrait tester la charge attentionnelle par modalité. Ainsi, une autre limite, non évoquée jusqu'à présent, est que les conditions masquées ont une plus grande charge sensorielle, et donc possiblement attentionnelle, par le fait que deux stimuli sont présentés simultanément, contrairement aux conditions non masquées. Il serait intéressant de proposer une nouvelle condition dans laquelle un autre stimulus soit présent en même temps que l'amorce, mais sans pourtant interférer avec la simulation. Une première solution serait de présenter un stimulus dans une modalité non directement impliquée dans l'amorçage comme celle tactile. Une deuxième solution reposerait sur un effet beaucoup plus subtil. Ainsi, les théories incarnées et l'hypothèse d'une simulation supposent que la simulation prend place dans les mêmes aires cérébrales que la perception. Par conséquent, la présentation d'un masque auditif qui ne recouvre pas les mêmes fréquences que celles caractérisant la cible ne devrait pas interférer avec la simulation du son associé à l'amorce visuelle. De même, la présentation d'un masque visuel ne devrait pas interférer avec la simulation s'il est présenté sur une partie différente de celle de la simulation. Autrement dit, présenter le masque comme une sorte de cadre, plutôt que comme un rectangle, ne devrait pas se traduire par un effet interférant du masque. Ce protocole a été testé en 2010 auprès d'une dizaine d'étudiants, mais sans résultat significatif. Une limite majeure dans l'interprétation des résultats est que le matériel avait été modifié (photographies sans contexte et en noir et blanc).

D'autres séries de travaux pourraient tester l'hypothèse d'une meilleure intégration multisensorielle dans le vieillissement. Cet effet qui semble être présent dans l'Expérience 1 ne fut pas retrouvé dans l'Expérience 2. Parmi les pistes de réflexion, la présence d'un délai trop court (ISI) entre l'amorce et la cible a été avancée comme possible raison de cette absence d'effet. Par conséquent, la manipulation de l'ISI serait une piste intéressante pour tester cette hypothèse et la confronter à celle de processus différents entre la version à court terme et à long terme de l'amorçage. Cette manipulation de l'ISI est aussi très pertinente pour la cognition normale. À partir des travaux réalisés au sein de l'équipe ([Labeye et al., 2008](#)), il serait pertinent de tester divers ISI afin de tester l'hypothèse additive vs. intégrative. Des ISI courts se traduiraient par une interaction simple entre les modalités ce qui laisse supposer que le masque aura un effet similaire quelque soit la congruence sémantique, alors que des ISI plus longs devraient renforcer l'intégration et donc possiblement l'effet du masque, effet attendu dans la condition de congruence sémantique.

Les travaux sur l'intégration multisensorielle démontrent l'importance d'une présentation proche dans le temps et dans l'espace des stimuli pour une bonne intégration (Spence, 2007). Il a aussi été discuté dans le chapitre précédent de l'importance de l'intégration dans l'émergence des connaissances ainsi que du fait que l'encodage et la récupération sont probablement confondus selon une approche incarnée. Par conséquent, le masque et l'amorce pourraient avoir été intégrés ensemble, ce qui suppose que la concomitance du masque et de l'amorce serait un facteur clé pour l'apparition de l'effet d'interférence du masque. Il serait pertinent de tester si une présentation anticipée ou retardée de ce masque interfère toujours avec l'effet d'amorçage afin de mieux situer le décours temporel impliqué dans ces paradigmes.

Finalement, les travaux présentés dans cette thèse insistent sur le côté sensoriel des connaissances en affirmant une co-activation directe entre les propriétés/représentations. Cette hypothèse semble trouver un certain support dans les résultats comportementaux, mais il est important de souligner qu'ils ne peuvent en aucun cas statuer sur la réalité biologique de cette co-activation. Cette limite conduit naturellement à l'application de ces protocoles à des méthodologies de neuro-imagerie. Au-delà d'une résolution spatiale intéressante pour situer les activations et notamment l'effet du masque, il s'agirait surtout d'étudier la dynamique temporelle. En effet, une co-activation directe sous-entend qu'elle doit se faire très rapidement (voir Giard & Peronnet, 1999). De même, l'analyse des potentiels évoqués serait pertinente pour explorer l'effet du masque. Par exemple, une modulation de la N400, onde négative intervenante environ 400 ms après la présentation d'un stimulus, traduirait un traitement sémantique (pour une revue sur la N400, voir Kutas & Federmeier, 2011). Autrement dit, la N400 devrait être modulée par la présentation du masque si le traitement sémantique est bien en jeu dans les effets observés dans ces expériences. Par conséquent, des études en EEG, ou même idéalement en MEG, permettraient de jeter un regard plus neuroscientifique sur les effets observés et leur possible nature.

Chapitre 12

Conclusions

12.1 Conclusions générales

Ce travail de thèse visait à tester une approche incarnée de la mémoire appliquée aux problématiques du vieillissement normal et de la maladie d'Alzheimer. Pour ce faire, un paradigme original a été développé à travers deux expériences d'amorçage inter-sensoriel. Ces paradigmes se basaient sur des sons et photographies d'animaux et d'objets familiers. L'ajout d'un masque visuel sans signification présenté en même temps que la moitié des amorces auditives devait permettre de tester la nature des interactions audiovisuelles, et par là même la nature des connaissances en mémoire. Un format à long terme (Exp. 1) et à court terme (Exp. 2) a permis d'évaluer la spécificité de l'effet du masque et ainsi de tester plus avant l'hypothèse attentionnelle et son possible effet.

Au-delà d'un effet d'amorçage significatif chez les jeunes adultes et les personnes âgées saines, le principal résultat provient de l'effet du masque. La spécificité de l'interférence du masque dans la bonne activation de la cible (effet d'amorçage) limité aux conditions de congruence sémantique indique que les interactions multi-sensorielles pour des connaissances existantes sont de natures perceptives et directes. Ces données sont en faveur de l'hypothèse modale de la nature des connaissances en mémoire. Les personnes âgées cognitivement saines présentent des effets similaires à ceux observés chez les jeunes adultes indiquant que ces personnes âgées présenteraient également des connaissances modales. En revanche, les personnes ayant reçu le diagnostic probable de MA ne présentaient aucun effet d'amorçage ni aucun effet d'interférence du masque. Cette absence d'effet d'amorçage apparaît improbable selon les interprétations classiques du fonctionnement cognitif de ces patients, mais semble s'expliquer plus naturellement par l'hypothèse d'une déconnexion cérébrale dans cette maladie. Cette hypothèse peut également s'inscrire au sein des approches

incarnées en soulignant l'importance de l'activation intermodale et de l'intégration de cette activation dans l'émergence des connaissances.

Ces résultats plaident pour un rapprochement entre la mémoire et la perception en montrant que les connaissances seraient ancrées dans leurs propriétés modales, ici sensorielles. Ces liens sont régulièrement rapportés dans le vieillissement, mais une hypothèse modale permet d'aller plus loin en supposant un lien causal direct. En d'autres mots, une altération sensorielle/perceptive se traduirait par une altération de la connaissance (de l'émergence de la connaissance) et donc d'une difficulté de rappel de cette connaissance. Bien que les données présentées dans le corps de cette thèse n'ont pas mis en avant l'étude de ces hypothèses, celles-ci furent tout de même en partie explorées dans les protocoles complétés par les participants. Les résultats démontrent que les personnes âgées présentent une moindre qualité de leurs souvenirs, mais bénéficient d'une isolation sensorielle contrairement aux patients Alzheimer (voir Annexes B.1). De plus, la qualité des souvenirs, tout comme la capacité de rappel en mémoire épisodique des personnes âgées, est corrélée à leur acuité visuelle (voir Annexes B.3) alors que ces liens ne sont pas retrouvés pour les jeunes adultes. Ces résultats confirment ceux obtenus dans les études dans le vieillissement sur les liens entre mémoire et perception (e.g. [Valentijn et al., 2005](#)) tout en étendant ces liens à la qualité des souvenirs.

Des connaissances modales ouvrent également de nouvelles perspectives dans la MA. Le premier volet concerne les méthodes d'évaluation de la mémoire. Il est imaginable de centrer ces évaluations sur les processus plutôt que sur les systèmes, ou même d'apporter un regard davantage qualitatif sur les performances observées. Supportant cette idée, l'adaptation du PPTT en un test de mémoire épisodique/sémantique montre un profil d'erreur spécifique entre le vieillissement normal et la MA (voir Annexes B.1). Les personnes âgées commettent des confusions c'est-à-dire rappellent des items vus, mais non à apprendre, alors que les patients souffrant de la MA commettent des intrusions – items non vus. Le second volet concerne la prise en charge des troubles mnésiques. Des connaissances modales laissent supposer qu'une présentation multimodale ou un travail sur l'intégration des différentes modalités d'un souvenir devrait favoriser la qualité et la ré-émergence de ce souvenir. L'intérêt d'un environnement multisensoriel pour des patients souffrant de démence est reconnu depuis plusieurs années (e.g. [Padilla, 2011](#)), mais le développement de programmes de stimulation cognitive basés sur des aspects multisensoriels demeure très rare (e.g. [Baker et al., 2001](#)).

L'ensemble de ces données valide les principales hypothèses de ce travail avec :

- un apport de nouveaux résultats supportant les approches incarnées,

- la validation de ces approches dans le vieillissement normal et la maladie d'Alzheimer,
- la réplication des liens entre mémoire et perception dans le vieillissement,
- l'extension de ces liens à la qualité des souvenirs,
- un apport de nouveaux résultats en faveur de l'hypothèse d'une déconnexion dans la MA,
- l'ouverture de nouvelles pistes de recherche dans ces populations en proposant l'explication de leurs troubles mnésiques selon des processus plutôt que des systèmes.

Les apports de cette recherche s'inscrivent dans la lignée des travaux montrant la pertinence des approches système unique de la mémoire dans l'explication des troubles cognitifs (e.g. [Carbonnel, 2000](#)). Il est toutefois notable que ces travaux se centrent sur les aspects sémantiques et les atteintes neuropsychologiques relatives à cette forme de mémoire ([Barensse et al., 2010](#) ; [Murre et al., 2001](#)). Les travaux portant sur les aspects épisodiques sont plus rares et portent soit sur des simulations computationnelles ([Jamieson et al., 2010](#)), des études de cas de patients atteints de lésions hippocampiques ([Zaki, 1998](#)) et plus rarement dans des groupes de patients mixtes dont des patients Alzheimer ([Zaki et al., 2003](#)). En outre, les aspects épisodiques sont généralement limités aux tâches de reconnaissance. Il semble alors que cette thèse apporte des résultats pionniers sur la question des approches incarnées dans le vieillissement normal et aussi pathologique (voir aussi [Gomez, 2011](#)).

12.2 Et si la mémoire n'existait pas ?

Sous ce titre provocateur, cette section se propose d'apporter quelques éléments de réflexion sur l'approche épistémologique qui est faite sur la mémoire. Jusqu'à nos jours, la mémoire fut considérée par les sciences (qu'elles soient humaines ou naturelles) comme une fonction, parmi d'autres, appartenant à la cognition. Ainsi, la mémoire serait un système cognitif au même titre que le langage, la vision, l'attention, etc. Une approche incarnée de la cognition questionne pourtant cette organisation, du moins pour la mémoire. En effet, une émergence dynamique des connaissances s'oppose à l'existence de représentations stockées. L'absence de stock laisse supposer qu'il n'existe pas de substrat biologique spécifique aux connaissances. De plus, cette vision incarnée postule un rapprochement important de la perception et de la mémoire où les processus mnésiques pourraient être soit très proches, voire confondus avec ceux perceptifs ([Riou et al., 2011](#)). Autrement dit, la mémoire

ne dépendrait ni de substrats cérébraux ni de processus spécifiques. Les critères définissant un système cognitif ne seraient plus remplis (voir [Fodor, 1975](#)), bien que la mémoire puisse toujours être considérée comme fonction puisque des observations comportementales de la mémoire peuvent être faites. Ce changement de conception se trouve renforcé par l'hypothèse d'une modification des connexions (pondération) comme substrat de la mémoire plutôt que sous forme de traces. La notion de trace demeure pertinente, mais pourrait s'entendre davantage comme la trace laissée par un traitement plutôt que comme une trace mnésique indépendante. D'ailleurs, William Macken de l'Université de Cardiff avait intitulé une de ses présentations à un séminaire à l'Université Laval « Memory is a by-product ». Il défendait cette idée que la mémoire doit être considérée comme la conséquence des autres traitements cognitifs qui sont essentiellement la perception et l'action (voir par exemple [Jones, Hughes, & Macken, 2007](#), pour une application à la mémoire de travail).

Ce changement radical de position vis-à-vis de la mémoire, comme l'émergence des approches incarnées de la cognition, semble signer un changement de conception scientifique de cette fonction. Le philosophe Thomas Kuhn a désigné ces changements de conception scientifique comme des changements paradigmatiques ([Kuhn, 1962](#)). L'histoire, dit-il, est marquée par des changements paradigmatiques se traduisant par le basculement d'un mode de pensée vers un autre, d'une théorie jusque-là dominante, vers une autre. Ce changement correspond à une révolution scientifique selon ses termes. Celles-ci ne se font pas du jour au lendemain, mais se caractérisent par différentes étapes. Alors qu'un paradigme est dominant, comme l'approche multisystèmes pour la mémoire, des résultats aux limites de ceux prédits par ce paradigme commencent à émerger. Dans notre exemple, il pourrait s'agir des capacités épisodiques relativement préservées des patients atteints de démence sémantique, ou encore les bonnes capacités de rappel d'histoire par des patients amnésiques. Ces résultats sont alors intégrés dans le paradigme dominant par des modifications *a posteriori* de celui-ci, comme la proposition d'une connexion directe entre le PRS et la mémoire épisodique ([Hodges & Graham, 2001](#)) ou la création du buffer épisodique ([Baddeley, 2000](#)). Toutefois, le nombre croissant de résultats questionnant le paradigme finit par faire basculer les conceptions scientifiques. Dans le cas de la mémoire, ce changement est pressenti depuis plusieurs années (voir les travaux de [Fuster, 2009](#)). Ce basculement n'a pas encore eu lieu, bien qu'il semble imminent pour la psychologie cognitive. Ce changement ne signifie nullement que les approches incarnées soient juste ou encore que les approches multisystémiques sont fausses, mais simplement que les scientifiques font évoluer leurs conceptions du monde. Ainsi, les approches incarnées bousculent les idées reçues et devront à leur tour être critiquées. Les défis autour de la compréhension de la mémoire humaine sont par conséquent loin d'être relevés et demeurent passionnants !

Bibliographie générale

- Abbenhuis, M., Raaijmakers, W., Raaijmakers, J., & Van Woerden, G. (1990). Episodic memory in dementia of the Alzheimer type and in normal ageing : similar impairment in automatic processing. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *42*, 569–583.
- Aggleton, J. P. (sous presse). Multiple anatomical systems embedded within the primate medial temporal lobe : Implications for hippocampal function. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*.
- Alais, D., Morrone, C., & Burr, D. (2006). Separate attentional resources for vision and audition. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, *273*, 1339–1345.
- Ally, B. A., Gold, C. A., & Budson, A. E. (2009). The picture superiority effect in patients with Alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, *47*, 595–598.
- Altmann, L. J. P., & Mcclung, J. S. (2008). Effects of Semantic Impairment on Language Use in Alzheimer's Disease. *Memory*, *29*, 18–31.
- Alzheimer, A. (1906). Über den Abbau des Nervengewebes. *Centralblatt für Nervenheilkunde und Psychiatrie*, *29*, 526–528.
- American Psychiatric Association. (2004). *DSM-IV-TR manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Paris : Masson.
- Amieva, H., Jacqmin-Gadda, H., Orgogozo, J.-M., Le Carret, N., Helmer, C., Letenneur, L., ... Dartigues, J.-F. (2005). The 9 year cognitive decline before dementia of the alzheimer type : a prospective population-based study. *Brain*, *128*, 1093–1101.
- Anderson, J. (1976). *Language, memory, and thought*. Lawrence Erlbaum.
- Anderson, P. (2003). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, *8*, 71–82.
- Aristote. (-330 av. J.-C.) *De l'âme (édition de 1999)*. Paris : Flammarion.
- Ashby, F., & Ell, S. (2002). Single versus multiple systems of learning and memory. In J. Wixted & H. Pashler (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology : Methodology in experimental psychology* (Wiley ed., Vol. 4, pp. 655–691). New York.
- Augustin, S. (401). *Les Confessions (édition de 1993)*. Flammarion.

- Bäckman, L., Jones, S., Berger, A.-K., Laukka, E. J., & Small, B. J. (2005). Cognitive impairment in preclinical Alzheimer's disease : a meta-analysis. *Neuropsychology, 19*, 520–531.
- Bacon, F. (1620). *Novum organum (édition 2010)*. Paris : Presse Universitaire de France.
- Baddeley, A. (1984). The fractionation of human memory. *Psychological Medicine, 14*, 259–264.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 417–423.
- Baena, E., Allen, P., Kaut, K., & Hall, R. (2010). On age differences in prefrontal function : the importance of emotional/cognitive integration. *Neuropsychologia, 48*, 319–333.
- Baker, R., Bell, S., Baker, E., Gibson, S., Holloway, J., Pearce, R., . . . Wareing, L. A. (2001). A randomized controlled trial of the effects of multi-sensory stimulation (MSS) for people with dementia. *The British Journal of Clinical Psychology, 40*, 81–96.
- Baldwin, C., & Ash, I. (2011). Impact of sensory acuity on auditory working memory span in young and older adults. *Psychology and Aging, 26*, 85–92.
- Ballard, C., Gauthier, S., Corbett, A., Brayne, C., Aarsland, D., & Jones, E. (2011). Alzheimer's disease. *Lancet, 377*, 1019–1031.
- Ballesteros, S., & Mayas, J. (2009). Preserved cross-modal priming and aging : a summary of current thoughts. *Acta Psychologica Sinica, 41*, 1063–1074.
- Ballesteros, S., & Reales, J. M. (2004). Intact haptic priming in normal aging and Alzheimer's disease : evidence for dissociable memory systems. *Neuropsychologia, 42*, 1063–1070.
- Balota, D., Cortese, M., Duchek, J., Adams, D., Roediger III, H., McDermott, K., & Yerys, B. (1999). Veridical and false memories in healthy older adults and in dementia of the Alzheimer's type. *Cognitive Neuropsychology, 16*, 361–384.
- Balota, D. A., Dolan, P., & Duchek, J. M. (2000). Memory changes in healthy young and older adults. In E. Tulving & F. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 395–410). New York: Oxford University Press.
- Balota, D. A., Watson, J. M., Duchek, J. M., & Ferraro, F. R. (1999). Cross-modal semantic and homograph priming in healthy young, healthy old, and in Alzheimer's disease individuals. *Journal of the International Neuropsychological Society, 5*, 626–640.
- Baltes, P. B. (1993). The aging mind : potential and limits. *The Gerontologist, 33*, 580–594.
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span : a new window to the study of cognitive aging ? *Psychology and Aging, 12*, 12–21.
- Baltes, P. B., & Nesselrode, J. R. (1968). Multivariate longitudinal and cross-sectional sequences for analyzing ontogenic and generational change : a methodological note. *Human Development, 11*, 145–171.

- Barensse, M., Rogers, T., Bussey, T., Saksida, L., & Graham, K. (2010). Influence of conceptual knowledge on visual object discrimination : insights from semantic dementia and MTL amnesia. *Cerebral Cortex*, *20*, 2568–2582.
- Barnes, D., & Yaffe, K. (2011). The projected effect of risk factor reduction on Alzheimer's disease prevalence. *Lancet Neurology*, *10*, 819–828.
- Barnes, J., Bartlett, J., van de Pol, L., & Loy, C. (2009). A meta-analysis of hippocampal atrophy rates in Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *30*, 1711–1723.
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617–645.
- Barsalou, L. W. (2009). Simulation, situated conceptualization, and prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *364*, 1281–1289.
- Başar, E. (2005). Memory as the "whole brain work" : a large-scale model based on "oscillations in super-synergy". *International Journal of Psychophysiology*, *58*, 199–226.
- Baudic, S., Barba, G., Thibaudet, M., Smagghe, A., Remy, P., & Traykov, L. (2006). Executive function deficits in early Alzheimer's disease and their relations with episodic memory. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *21*, 15–21.
- Belleville, S., Ménard, M.-C., & Lepage, E. (2011). Impact of novelty and type of material on recognition in healthy older adults and persons with mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, *49*, 2856–2865.
- 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*, 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*, 940–948.
- Bergson, H. (1896). *Matière et mémoire : essai sur la relation du corps a l'esprit*. Félix Alcan.
- Berkeley, G. (1710). *Principes de la connaissance humaine (édition de 1993)*. Paris : Flammarion.
- Berr, C., Wancata, J., & Ritchie, K. (2005). Prevalence of dementia in the elderly in Europe. *European Neuropsychopharmacology*, *15*, 463–471.
- Berry, C., Shanks, D. R., & Henson, R. N. A. (2008). A single-system account of the relationship between priming, recognition, and fluency. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *34*, 97–110.
- Bevilaqua, L. R., Medina, J. H., Izquierdo, I., & Cammarota, M. (2008). Reconsolidation and the fate of consolidated memories. *Neurotoxicity Research*, *14*, 353–358.
- Binney, R., Embleton, K., Jefferies, E., Parker, G., & Lambon Ralph, M. (2010). The ventral and inferolateral aspects of the anterior temporal lobe are crucial in semantic memory : evidence from a novel direct comparison of distortion-

- corrected fMRI, rTMS, and semantic dementia. *Cerebral Cortex*, *20*, 2728–2738.
- Bird, C. M., & Burgess, N. (2008). The hippocampus and memory : insights from spatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*, 182–194.
- Bonello, P. J., Rapport, L. J., & Millis, S. R. (1997). Psychometric properties of the visual object and space perception battery in normal older adults. *The Clinical Neuropsychologist*, *11*, 436–442.
- Bonsang, É., Adam, S., Germain, S., & Perelman, S. (2007). Retraite, activités non professionnelles et vieillissement cognitif. une exploration à partir des données de share. *Economie et Statistique*, *403*, 83–96.
- Borghini, A. M., & Cimatti, F. (2010). Embodied cognition and beyond : acting and sensing the body. *Neuropsychologia*, *48*, 763–773.
- Botez, M. (1996). *Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement*. Montréal, QC: Presses de l'Université de Montréal.
- Braak, H., & Braak, E. (1991). Neuropathological staging of Alzheimer-related changes. *Acta Neuropathologica*, *82*, 239–259.
- Brookmeyer, R., Johnson, E., Ziegler-Graham, K., & Arrighi, H. M. (2007). Forecasting the global burden of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, *3*, 186–191.
- Brouillet, D., & Syssau, A. (2000). *Le vieillissement cognitif normal : vers un modèle explicatif du vieillissement*. Bruxelles : De Boeck.
- 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*, 310–317.
- Brown, R. E., & Milner, P. M. (2003). The legacy of Donald O. Hebb : more than the Hebb synapse. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*, 1013–1019.
- Brunel, L., Goldstone, R., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (en révision). Multimodal memory : generalization and distinctiveness effects. *Experimental Psychology*.
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory : sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition*, *35*, 1081–1088.
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge : sensory priming effects in semantic categorization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*, 955–964.
- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness : trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and Cognition*, *19*, 926–937.
- Bruner, J. (1966). *Toward a theory of instruction*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University Press.
- Budson, A., Wolk, D., Chong, H., & Waring, J. (2006). Episodic memory in Alzheimer's disease : separating response bias from discrimination. *Neuropsychologia*,

- 44, 2222–2232.
- Burke, D. M., & Light, L. L. (1981). Memory and aging : the role of retrieval processes. *Psychological Bulletin*, *90*, 513–546.
- Burns, A. (1992). Psychiatric phenomena in dementia of the Alzheimer type. *International Psychogeriatrics*, *4*, 43–54.
- Bussey, T. J., & Saksida, L. M. (2007). Memory, perception, and the ventral visual-perirhinal-hippocampal stream : thinking outside of the boxes. *Hippocampus*, *908*, 898–908.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults : the HAROLD model. *Psychology and Aging*, *17*, 85–100.
- Cappe, C., & Barone, P. (2005). Heteromodal connections supporting multisensory integration at low levels of cortical processing in the monkey. *The European Journal of Neuroscience*, *22*, 2886–2902.
- Cappe, C., Rouiller, E. M., & Barone, P. (2009). Multisensory anatomical pathways. *Hearing Research*, *258*, 28–36.
- Carbonnel, S. (2000). Les conceptions "système unique" de la mémoire : applications à la neuropsychologie. *Revue de Neuropsychologie*, *10*, 53–76.
- Carlesimo, G., Mauri, M., Fadda, L., Turriziani, P., & Caltagirone, C. (2001). Intact cross-modality text-specific repetition priming in patients with Alzheimers Disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*, 569–580.
- Carlesimo, G., Mauri, M., Graceffa, A., Fadda, L., Loasses, A., Lorusso, S., & Caltagirone, C. (1998). Memory performances in young, elderly, and very old healthy individuals versus patients with Alzheimer's disease : evidence for discontinuity between normal and pathological aging. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *20*, 14–29.
- Carlesimo, G., Mauri, M., Marfia, G., Fadda, L., Turriziani, P., & Caltagirone, C. (1999). Lexical and conceptual components of stem completion priming in patients with Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *37*, 1049–1059.
- Carlesimo, G., & Oscar-Berman, M. (1992). Memory deficits in Alzheimer's patients : a comprehensive review. *Neuropsychology Review*, *3*, 119–169.
- Cave, C. B., & Squire, L. R. (1992). Intact and long-lasting repetition priming in amnesia. *Cognition*, *18*, 509–520.
- Chalfonte, B. L., & Johnson, M. K. (1996). Feature memory and binding in young and older adults. *Memory & Cognition*, *24*, 403–416.
- Chen, J., Lin, K.-P., & Chen, Y.-C. (2009). Risk factors for dementia. *Journal of the Formosan Medical Association*, *108*, 754–764.
- Chen, Y.-C., & Spence, C. (2010). When hearing the bark helps to identify the dog : semantically-congruent sounds modulate the identification of masked pictures. *Cognition*, *114*, 389–404.
- Cherrier, M., Mendez, M., Dave, M., & Perryman, K. (1999). Performance on the Rey–Osterrieth Complex Figure test in Alzheimer disease and vascular dementia. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology*, *12*, 95–101.

- Chertkow, H., Bub, D., & Seidenberg, M. (1989). Priming and semantic memory loss in Alzheimer's disease. *Brain and Language*, *36*, 420–446.
- Chertkow, H., Whatmough, C., Saumier, D., & Duong, A. (2008). Cognitive neuroscience studies of semantic memory in Alzheimer's disease. *Progressive Brain Research*, *169*, 393–407.
- Chiaramonte, C., & Rousset, S. (2011). Le concept de représentation mnésique contraint la relation entre perception et mémoire. L'exemple de la sélection attentionnelle. In N. Bault, V. Chambon, N. Maïonchi-Pino, F.-X. Pénicaud, B. Putois, & J.-M. Roy (Eds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 69–91). Bruxelles: De Boeck.
- Christensen, H., Korten, A. E., Mackinnon, A. J., Jorm, A. F., Henderson, A. S., & Rodgers, B. (2000). Are changes in sensory disability, reaction time, and grip strength associated with changes in memory and crystallized intelligence? A longitudinal analysis in an elderly community sample. *Gerontology*, *46*, 276–292.
- Christensen, H., Mackinnon, A. J., Korten, A., & Jorm, A. F. (2001). The "common cause hypothesis" of cognitive aging : evidence for not only a common factor but also specific associations of age with vision and grip strength in a cross-sectional analysis. *Psychology and Aging*, *16*, 588–599.
- Claparède, E. (1907). Expériences sur la mémoire dans un cas de psychose de Korsakoff. *Revue Médicale de la Suisse Romande*, *27*, 301–303.
- Claparède, E. (1911). Recognition et moitié. *Archives de Psychologie*, *11*, 79–90.
- Clarys, D., Bugajska, A., Tapia, G., & Baudouin, A. (2009). Ageing, remembering, and executive function. *Memory*, *17*, 158–168.
- Cohen, N. J., & Squire, L. R. (1980). Preserved learning and retention of pattern-analyzing skill in amnesia : dissociation of knowing how and knowing that. *Science*, *210*, 207–210.
- Commodari, E., & Guarnera, M. (2008). Attention and aging. *Aging Clinical and Experimental Research*, *20*, 578–584.
- Content, A., Mousty, P., & Radeau, M. (1990). Brulex. Une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé. *L'année Psychologique*, *90*, 551–566.
- Conway, M., & Pleydell-Pearce, C. (2000). The construction of autobiographical memories in the self-memory system. *Psychological Review*, *107*, 261–288.
- Corso, J. F. (1971). Sensory processes and age effects in normal adults. *Journal of Gerontology*, *26*, 90–105.
- Cowan, N. (1998). *Attention and memory : an integrated framework*. Oxford: Oxford University Press.
- Craik, F. (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., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits : the role of attentional resources. *Aging and Cognitive Processes*, *8*, 191–211.

- Craik, F., & McDowd, J. M. (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *13*, 474–479.
- Craik, F., & Simon, E. (1980). Age differences in memory : the roles of attention and depth of processing. In L. Poon, J. Fozard, L. Cermak, & D. Arenberg (Eds.), *New directions in memory and aging* (pp. 95–112). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Craik, F. I. M. (1979). Human memory. *Annual Review of Psychology*, *30*, 63–102.
- Craik, F. I. M., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology : General*, *104*, 268–294.
- Cronin-Golomb, A., Corkin, S., & Growdon, J. H. (1995). Visual dysfunction predicts cognitive deficits in Alzheimer's disease. *Optometry and Vision Science*, *72*, 168–176.
- Cronin-Golomb, A., Gilmore, G., Nearing, S., Morrison, S., & Laudate, T. (2007). Enhanced stimulus strength improves visual cognition in aging and Alzheimer's disease. *Cortex*, *43*, 952–966.
- Crutch, S., Rossor, M., & Warrington, E. (2007). The quantitative assessment of apraxic deficits in Alzheimer's disease. *Cortex*, *43*, 976–986.
- Cummings, J. (2000). Cognitive and behavioral heterogeneity in Alzheimer's disease : seeking the neurobiological basis. *Neurobiology of Aging*, *21*, 845–861.
- Cummings, J. (2004). Alzheimer's disease. *New England Journal of Medicine*, *351*, 56–67.
- Daselaar, S. M., Fleck, M. S., Dobbins, I. G., Madden, D., & Cabeza, R. (2006). Effects of healthy aging on hippocampal and rhinal memory functions : an event-related fMRI study. *Cerebral Cortex*, *16*, 1771–1782.
- Davis, H., Cohen, A., Gandy, M., Colombo, P., van Dusseldorp, G., Simolke, N., & Romano, J. (1990). Lexical priming deficits as a function of age. *Behavioral Neuroscience*, *104*, 288–297.
- Davis, H., Small, S., Stern, Y., Mayeux, R., Feldstein, S., & Keller, F. (2003). Special issue acquisition, recall, and forgetting of verbal information in long-term memory by young, middle-aged, and elderly individuals. *Cortex*, *39*, 1063–1091.
- De Toledo-Morrell, L., Stoub, T. R., & Wang, C. (2007). Hippocampal atrophy and disconnection in incipient and mild Alzheimer's disease. *Progress in Brain Research*, *163*, 741–753.
- Delacourte, A., David, J., Sergeant, N., Buee, L., Wattez, A., Vermersch, P., ... Di Menza, C. (1999). The biochemical pathway of neurofibrillary degeneration in aging and Alzheimer's disease. *Neurology*, *52*, 1158–1158.
- Delazer, M., Semenza, C., Reiner, M., Hofer, R., & Benke, T. (2003). Anomia for people names in dat-evidence for semantic and post-semantic impairments. *Neuropsychologia*, *41*, 1593–1598.
- Delbeuck, X., Collette, F., & Van der Linden, M. (2007). Is Alzheimer's disease a

- disconnection syndrome? Evidence from a crossmodal audio-visual illusory experiment. *Neuropsychologia*, *45*, 3315–3323.
- Delbeuck, X., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Alzheimer's disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychology Review*, *13*, 79–92.
- Delis, D., Kramer, J., Kaplan, E., & Ober, B. (2000). *California verbal learning test*. San Antonio: Psychological Corp.
- Dempster, F. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism : toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, *12*, 45–75.
- Descartes, R. (1644). *Les principes de la philosophie (édition de 2000)*. Paris : Vrin.
- Descartes, R. (1649). *Traité des passions de l'âme (édition 1995)*. Paris : Garnier Flammarion.
- Devanand, D. P., Michaels-Marston, K. S., Liu, X., Pelton, G. H., Padilla, M., Marder, K., ... Mayeux, R. (2000). Olfactory deficits in patients with mild cognitive impairment predict Alzheimer's disease at follow-up. *The American Journal of Psychiatry*, *157*, 1399–1405.
- Dew, I., & Giovanello, K. (2010). Differential age effects for implicit and explicit conceptual associative memory. *Psychology and Aging*, *25*, 911–921.
- Deweer, B., Pillon, B., Michon, A., & Dubois, B. (1993). Mirror reading in Alzheimer's disease : normal skill learning and acquisition of item-specific information. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *15*, 789–804.
- Diederich, A., Colonius, H., & Schomburg, A. (2008). Assessing age-related multisensory enhancement with the time-window-of-integration model. *Neuropsychologia*, *46*, 2556–2562.
- Djordjevic, J., Jones-Gotman, M., De Sousa, K., & Chertkow, H. (2008). Olfaction in patients with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *29*, 693–706.
- Dodson, C., & Schacter, D. (2002). When false recognition meets metacognition : the distinctiveness heuristic. *Journal of Memory and Language*, *46*, 782–803.
- Driver, J., & Noesselt, T. (2008). Multisensory interplay reveals crossmodal influences on 'sensory-specific' brain regions, neural responses, and judgments. *Neuron*, *57*, 11–23.
- Driver, J., & Spence, C. (2000). Multisensory perception : beyond modularity and convergence. *Current Biology*, *10*, 731–735.
- Dubois, B. (2008). [A new conception of Alzheimer disease]. *La Revue de Médecine Interne*, *29*, 763–765.
- Dubois, B., Feldman, H. H., Jacova, C., Dekosky, S. T., Barberger-Gateau, P., Cummings, J., ... Scheltens, P. (2007). Research criteria for the diagnosis of Alzheimer's disease : revising the NINCDS-ADRDA criteria. *Lancet Neurology*, *6*, 734–746.
- Duchek, J., Balota, D., Tse, C., Holtzman, D., Fagan, A., & Goate, A. (2009). The

- utility of intraindividual variability in selective attention tasks as an early marker for Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *23*, 746–758.
- Duyckaerts, C., Colle, M., Delatour, B., & Hauw, J. (1999). Alzheimer's disease : lesions and their progression. *Revue Neurologique*, *155*, 17–27.
- Ebbinghaus, H. (1885). *La mémoire. Recherches de psychologie expérimentale (édition 2011)*. Paris : L'Harmattan.
- Edelman, G. (1987). Neural Darwinism : the theory of neuronal group selection.
- Edwards, D., Deuel, R., Baum, C., & Morris, J. (1991). A quantitative analysis of apraxia in senile dementia of the Alzheimer type : stage-related differences in prevalence and type. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *2*, 142–149.
- Eichenbaum, H., & Fortin, N. (2003). Episodic memory and the hippocampus : it's about time. *Current Directions in Psychological Science*, *12*, 53–57.
- Elderkin-Thompson, V., Ballmaier, M., Hellemann, G., Pham, D., & Kumar, A. (2008). Executive function and mri prefrontal volumes among healthy older adults prefrontal volumes among healthy older adults. *Neuropsychology*, *22*, 626–637.
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance : the potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, *91*, 451–471.
- Enns, J., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 345–352.
- Ergis, A., Van der Linden, M., & Deweer, B. (1995). Cross-form priming in normal aging and in mild dementia of the Alzheimer type. *Cortex*, *31*, 699–710.
- Ergis, A., Van der Linden, M., & Deweer, B. (1998). Priming for new associations in normal aging and in mild dementia of the Alzheimer type. *Cortex*, *34*, 357–373.
- Ernst, M. O., & Bühlhoff, H. H. (2004). Merging the senses into a robust percept. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 162–169.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (1998). La mémoire implicite : données historiques et conceptions actuelles. In B. Lechevalier, F. Eustache, & F. Viader (Eds.), *La conscience et ses troubles* (pp. 127–149). Bruxelles : De Boeck.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). MNESIS : towards the integration of current multisystem models of memory. *Neuropsychology Review*, *18*, 53–69.
- Eysenck, M. (1977). *Human memory : theory, research, and individual differences*. Oxford : Pergamon Press.
- Eysenck, M. W. (1974). Age differences in incidental learning. *Developmental Psychology*, *10*, 936–941.
- Fay, S., Isingrini, M., & Pouthas, V. (2005). Does priming with awareness reflect explicit contamination ? An approach with a response-time measure in word-stem completion. *Consciousness and Cognition*, *14*, 459–473.
- Feldman, H. H., Scheltens, P., Scarpini, E., Hermann, N., Mesenbrink, P., Mancione, L., ... Ferris, S. (2004). Behavioral symptoms in mild cognitive impairment. *Neurology*, *62*, 1199–1201.

- Festa, E., Insler, R., Salmon, D. P., Paxton, J., Hamilton, J., & Heindel, W. (2005). Neocortical disconnectivity disrupts sensory integration in Alzheimer's disease. *Neuropsychology, 19*, 728–738.
- Finder, V. H. (2010). Alzheimer's disease : a general introduction and pathomechanism. *Journal of Alzheimer's Disease, 22*, 5–19.
- Fleischman, D., & Gabrieli, J. (1998). Repetition priming in normal aging and Alzheimer's disease : a review of findings and theories. *Psychology and Aging, 13*, 88–119.
- Fleischman, D., Monti, L., Dwornik, L., Moro, T., Bennett, D., & Gabrieli, J. (2001). Impaired production priming and intact identification priming in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society, 7*, 785–794.
- Fleischman, D., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D. E., Bienias, J. L., & Bennett, D. A. (2004). A longitudinal study of implicit and explicit memory in old persons. *Psychology and Aging, 19*, 617–625.
- Fleischman, D., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D. E., & Schneider, J. (2005). Implicit memory and Alzheimer's disease neuropathology. *Brain, 128*, 2006–2015.
- Fleischman, D. A. (2007). Repetition priming in aging and Alzheimer's disease : an integrative review and future directions. *Cortex, 43*, 889–897.
- Fleischman, D. A., & Gabrieli, J. D. E. (1999). Long-term memory in Alzheimer's disease. *Current Opinion in Neurobiology, 9*, 240–244.
- Fodor, J. (1975). *The language of thought* (T. Crowell, Ed.). New York.
- Fodor, J. (1981). *The modularity of mind*. Boston, MA: MIT Press.
- Folstein, M. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*, 189–198.
- Fontaine, E. (2007). Radicaux libres et vieillissement. *Cahiers de Nutrition et de Diététique, 42*, 110–115.
- Förster, J. (2011). Local and global cross-modal influences between vision and hearing, tasting, smelling, or touching. *Journal of Experimental Psychology : General, 140*, 364–389.
- Fournet, N., Mosca, C., & Moreaud, O. (2007). Deficits in inhibitory processes in normal aging and patients with Alzheimers disease : a review. *Psychologie & Neuropsychiatrie du Vieillissement, 5*, 281–294.
- Fox, N. C., & Freeborough, P. (2005). Brain atrophy progression measured from registered serial MRI : validation and application to Alzheimer's disease. *Journal of Magnetic Resonance Imaging, 7*, 1069–1075.
- Fozard, J., & Gordon-Salant, S. (2001). Changes in hearing and vision with aging. 5th edition. In J. Birren & K. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 241–266). San Diego: Academic Press.
- Fozard, J., Verduyssen, M., Reynolds, S., Hancock, P., & Quilter, R. (1994). Age differences and changes in reaction time : the baltimore longitudinal study of aging. *Journal of Gerontology, 49*, 179–189.

- Freund, D., & Smeeding, T. (2010). The future costs of health care in ageing societies : is the glass half full or half empty? *Ageing in Advanced Industrial States*, 173–193.
- Friedman, D., de Chastelaine, M., Nessler, D., & Malcolm, B. (2010). Changes in familiarity and recollection across the lifespan : an ERP perspective. *Brain Research*, 1310, 124–141.
- Friedman, D., Nessler, D., & Johnson, R. (2007). Memory encoding and retrieval in the aging brain. *Clinical Eeg and Neuroscience*, 38, 2–7.
- Fuster, J. M. (2009). Cortex and memory : emergence of a new paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 2047–2072.
- Gabrieli, J. D., Vaidya, C. J., Stone, M., Francis, W. S., Thompson-Schill, S. L., Fleischman, D. A., ... Wilson, R. S. (1999). Convergent behavioral and neuropsychological evidence for a distinction between identification and production forms of repetition priming. *Journal of Experimental Psychology : General*, 128, 479–498.
- Gaesser, B., Sacchetti, D., Addis, D., & Schacter, D. (2011). Characterizing age-related changes in remembering the past and imagining the future. *Psychology and Aging*, 26, 80–85.
- Gaffan, D. (2005). Widespread cortical networks underlie memory and attention. *Science*, 309, 2172–2173.
- Gallina, J.-M. (2011). Les Représentations : un enjeu pour les sciences cognitives. In N. Bault, V. Chambon, N. Maïonchi-Pino, F.-X. Pénicaud, B. Putois, & J.-M. Roy (Eds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 13–30). Bruxelles: De Boeck.
- Galton, C. J. (2000). Atypical and typical presentations of Alzheimer's disease : a clinical, neuropsychological, neuroimaging and pathological study of 13 cases. *Brain*, 123, 484–498.
- Galton, F. (1883). *Inquiries into human faculty and its development*. London : MacMillan.
- Gardiner, J. (1988). Functional aspects of recollective experience. *Memory & Cognition*, 16, 309–313.
- Gates, G., Anderson, M., & McCurry, S. (2011). Central Auditory Dysfunction as a Harbinger of Alzheimer Dementia. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 137, 390–395.
- Gennis, V., Garry, P., & Haaland, K. (1991). Hearing and cognition in the elderly : new findings and a review of the literature. *Archives of Internal Medicine*, 151, 2259–2264.
- Geraci, L. (2006). A test of the frontal lobe functioning hypothesis of age deficits in production priming. *Neuropsychology*, 20, 539–548.
- Geraci, L., & Barnhardt, T. (2010). Aging and implicit memory : examining the contribution of test awareness. *Consciousness and Cognition*, 16, 606–616.
- Ghazanfar, A. A., & Schroeder, C. E. (2006). Is neocortex essentially multisensory? *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 278–285.

- Giard, M., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans : a behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 473–490.
- Giffard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Piolino, P., & Eustache, F. (2003). The hyperpriming phenomenon in normal aging : a consequence of cognitive slowing? *Neuropsychology*, *17*, 594–601.
- Giffard, B., Desgranges, B., Nore-Mary, F., Lalevee, C., de la Sayette, V., Pasquier, F., & Eustache, F. (2001). The nature of semantic memory deficits in Alzheimer's disease : new insights from hyperpriming effects. *Brain*, *124*, 1522–1532.
- 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*, 943–951.
- Glenberg, A. (1997). What memory is for? *The Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 1–19.
- Glisky, E., Rubin, S., & Davidson, P. (2001). Source memory in older adults : an encoding or retrieval problem? *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *27*, 1131–1146.
- Glodzik-Sobanska, L., Reisberg, B., De Santi, S., Babb, J., Pirraglia, E., Rich, K., . . . de Leon, M. (2007). Subjective memory complaints : presence, severity and future outcome in normal older subjects. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *24*, 177–184.
- Goh, W. D., & Lu, S. H. X. (2012). Testing the myth of the encoding-retrieval match. *Memory & Cognition*, *40*, 28–39.
- Goldstone, R., & Hendrickson, A. T. (2010). Categorical perception. *Wiley Interdisciplinary Reviews : Cognitive Science*, *1*, 69–78.
- Goldstone, R., & Steyvers, M. (2001). The sensitization and differentiation of dimensions during category learning. *Journal of Experimental Psychology : General*, *130*, 116–139.
- Golob, E. J., Miranda, G. G., Johnson, J. K., & Starr, A. (2001). Sensory cortical interactions in aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, *22*, 755–763.
- Gomez, A. (2011). *Rôle de la mise à jour égocentrée dans la mémoire épisodique*. Unpublished doctoral dissertation, Grenoble.
- Gomez, A., Rousset, S., & Baciú, M. (2009). Egocentric-updating during navigation facilitates episodic memory retrieval. *Acta Psychologica*, *132*, 221–227.
- Gorus, E., De Raedt, R., & Mets, T. (2006). Diversity, dispersion and inconsistency of reaction time measures : effects of age and task complexity. *Aging Clinical and Experimental Research*, *18*, 407–417.
- Goudour, A., Samson, S., Bakchine, S., & Ehrle, N. (2011). Agnosic or semantic impairment in very mild Alzheimer's disease? *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, *18*, 230–253.

- Grady, C. (2008). Cognitive neuroscience of aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *144*, 127–144.
- Grady, C., & Craik, F. (2000). Changes in memory processing with age. *Current Opinion in Neurobiology*, *10*, 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*, 501–518.
- Graham, K., Barense, M., & Lee, A. (2010). Going beyond LTM in the MTL : a synthesis of neuropsychological and neuroimaging findings on the role of the medial temporal lobe in memory and perception. *Neuropsychologia*, *48*, 831–853.
- Greenwood, P. M. (2000). The frontal aging hypothesis evaluated. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *6*, 705–726.
- Grober, E., Ausubel, R., Sliwinski, M., & Gordon, B. (1992). Skill learning and repetition priming in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *30*, 849–858.
- Guillozet, A. L., Weintraub, S., Mash, D. C., & Mesulam, M. M. (2003). Neurofibrillary tangles, amyloid, and memory in aging and mild cognitive impairment. *Archives of Neurology*, *60*, 729–736.
- Gussekloo, J., de Craen, A. J. M., Oduber, C., van Boxtel, M. P. J., & Westendorp, R. G. J. (2005). Sensory impairment and cognitive functioning in oldest-old subjects : the leiden 85+ study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *13*, 781–786.
- Habib, R., Jelicic, M., & Craik, F. (1996). Are implicit memory deficits in the elderly due to differences in explicit memory processes? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *3*, 264–271.
- Hanslmayr, S., Spitzer, B., & Bauml, K. (2009). Brain oscillations dissociate between semantic and nonsemantic encoding of episodic memories. *Cerebral Cortex*, *19*, 1631–1640.
- Hebb, D. (1949). *The organization of behavior : a neuropsychological approach* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Helkala, E., Laulumaa, V., Soininen, H., & Riekkinen, P. (1989). Different error pattern of episodic and semantic memory in Alzheimer's disease and Parkinson's disease with dementia. *Neuropsychologia*, *27*, 1241–1248.
- Helmer, C., Peres, K., Letenneur, L., Gutierrez-Robledo, L., Ramarosan, H., Barberger-Gateau, P., ... Dartigues, J. (2006). Dementia in subjects aged 75 years or over within the PAQUID cohort : prevalence and burden by severity. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *22*, 87–94.
- Helmes, E., & Ostbye, T. (2002). Beyond memory impairment : cognitive changes in Alzheimer's disease. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *17*, 179–193.
- Henry, J. D., Macleod, M. S., Phillips, L., & Crawford, J. R. (2004). A meta-analytic review of prospective memory and aging. *Psychology and Aging*, *19*, 27–39.
- Herlitz, A., & Viitanen, M. (1991). Semantic organization and verbal episodic memory in patients with mild and moderate Alzheimer's disease. *Journal of*

- Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13, 559–574.
- Herrera-Guzmán, I., Peña Casanova, J., Lara, J. P., Gudayol-Ferré, E., & Böhm, P. (2004). Influence of age, sex, and education on the Visual Object and Space Perception Battery (VOSP) in a healthy normal elderly population. *The Clinical Neuropsychologist*, 18, 385–394.
- Herrup, K. (2010). Reimagining Alzheimer's disease—an age-based hypothesis. *The Journal of Neuroscience*, 30, 16755–16762.
- Hertzog, C., Kramer, A. F., Wilson, R. S., & Lindenberger, U. (2009). Enrichment effects on adult cognitive development. *Psychological Science*, 9, 1–65.
- Hillman, C., Weiss, E., Hagberg, J., & Hatfield, B. (2002). The relationship of age and cardiovascular fitness to cognitive and motor processes. *Psychophysiology*, 39, 303–312.
- Hinton, G., McClelland, J. L., & Rumelhart, D. (1986). Distributed representations. In *The PDP perspective* (pp. 77–109).
- Hintzman, D. (1984). MINERVA 2 : A simulation model of human memory. *Behavior Research Methods*, 16, 96–101.
- Hintzman, D., & Ludlam, G. (1980). Differential forgetting of prototypes and old instances : simulation by an exemplar-based classification model. *Memory & Cognition*, 8, 378–382.
- Hodges, J., & Graham, K. S. (2001). Episodic memory : insights from semantic dementia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 356, 1423–1434.
- Hodges, J., & Patterson, K. (1995). Is semantic memory consistently impaired early in the course of Alzheimer's disease? Neuroanatomical and diagnostic implications. *Neuropsychologia*, 33, 441–459.
- Hodges, J., & Patterson, K. (2007). Semantic dementia : a unique clinicopathological syndrome. *The Lancet Neurology*, 6, 1004–1014.
- Hodges, J., Salmon, D., & Butters, N. (1992). Semantic memory impairment in Alzheimer's disease : failure of access or degraded knowledge? *Neuropsychologia*, 30, 301–314.
- Howard, D., & Patterson, K. (1992). *The Pyramids and Palm Trees Test : a test for semantic access from words and pictures*. Bury St Edmunds: Thames Valley Test Company.
- Huang, Q., & Tang, J. (2010). Age-related hearing loss or presbycusis. *European Archives of Oto-rhino-laryngology*, 267, 1179–1191.
- 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, 1374–1386.
- Hudson, J. M. (2008). Automatic memory processes in normal ageing and Alzheimer's disease. *Memory*, 44, 345–349.
- Hugenschmidt, C., Mozolic, J. L., & Laurienti, P. J. (2009). Suppression of multisensory integration by modality-specific attention in aging. *Neuroreport*, 20, 349–353.

- Hugenschmidt, C., Peiffer, A., McCoy, T., Hayasaka, S., & Laurienti, P. (2009). Preservation of crossmodal selective attention in healthy aging. *Experimental Brain Research*, *198*, 273–285.
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W. S., & Dixon, R. A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *The Journal of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *57*, 101–115.
- Hultsch, D. F., Strauss, E., Hunter, M. A., & MacDonald, S. W. S. (2008). Intraindividual variability, cognition, and aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition*. (3rd ed., pp. 491–556). New York, NY: Psychology Press.
- Hume, D. (1730). *Traité de la nature humaine : de l'entendement (édition de 1930)*. Alcan.
- Huntley, J., & Howard, R. J. (2010). Working memory in early Alzheimer's disease : a neuropsychological review. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *25*, 121–132.
- Hyman, B., Damasio, H., Damasio, A., & Van Hoesen, G. (1989). Alzheimer's disease. *Annual Review of Public Health*, *10*, 115–140.
- Iachini, T., Iavarone, A., Senese, V., Ruotolo, F., & Ruggiero, G. (2009). Visuospatial memory in healthy elderly, AD and MCI : a review. *Current Aging Science*, *2*, 43–59.
- Inglis, J., & Caird, W. (1963). Age differences in successive responses to simultaneous stimulation. *Canadian Journal of Psychology*, *17*, 98–105.
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, *268*, 1772–1774.
- Isingrini, M. (1995). Aging and encoding in memory : false alarms and decision criteria in a word-pair recognition task. *International Journal of Aging & Human Development*, *41*, 79–88.
- Isingrini, M., & Tacconnat, L. (2008). Episodic memory, frontal functioning, and aging. *Revue Neurologique*, *164*, 91–95.
- Jack, C. R., Albert, M. S., Knopman, D. S., McKhann, G. M., Sperling, R. A., Carrillo, M. C., . . . Phelps, C. H. (2011). Introduction to the recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, *7*, 257–262.
- Jackson, J. D., Balota, D. A., Duchek, J. M., & Head, D. (2012). White matter integrity and reaction time intraindividual variability in healthy aging and early-stage Alzheimer disease. *Neuropsychologia*, *50*, 357–366.
- Jacoby, L. L., Bishara, A. J., Hessels, S., & Toth, J. P. (2005). Aging, subjective experience, and cognitive control : dramatic false remembering by older adults. *Journal of Experimental Psychology : General*, *134*, 131–148.
- Jacoby, L. L., & Rhodes, M. (2006). False Remembering in the Aged. *Current Directions in Psychological Science*, *15*, 49–53.
- James, W. (1890). *Principles of psychology*. New York : Holt.

- Jamieson, R. K., Holmes, S., & Mewhort, D. J. K. (2010). Global similarity predicts dissociation of classification and recognition : evidence questioning the implicit-explicit learning distinction in amnesia. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *36*, 1529–1535.
- Jensen, O., Kaiser, J., & Lachaux, J. (2007). Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. *Trends in Neurosciences*, *30*, 317–324.
- Jeong, J. (2004). EEG dynamics in patients with Alzheimer's disease. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 1490–1505.
- John, E. R. (2002). The neurophysics of consciousness. *Brain Research Reviews*, *39*, 1–28.
- Jones, D. M., Hughes, R. W., & Macken, W. J. (2007). Commentary on Baddeley and Larsen (2007). The phonological store abandoned. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*, 505–511.
- Joubert, S., Brambati, S. M., Ansado, J., Barbeau, E. J., Felician, O., Didic, M., ... Kergoat, M.-J. (2010). The cognitive and neural expression of semantic memory impairment in mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *48*, 978–988.
- Kalpouzos, G., Chételat, G., Baron, J.-C., Landeau, B., Mevel, K., Godeau, C., ... Desgranges, B. (2009). Voxel-based mapping of brain gray matter volume and glucose metabolism profiles in normal aging. *Neurobiology of Aging*, *30*, 112–124.
- Kalpouzos, G., & Eustache, F. (2010). Substrats cérébraux du déclin de la mémoire épisodique : contrastes entre vieillissement normal et maladie d'Alzheimer. *Revue de Neuropsychologie*, *2*, 114–123.
- Kapur, N. (1994). *Memory disorders in clinical practice*. Psychology Press.
- Kaschak, M., Madden, C., Therriault, D., Yaxley, R., Aveyard, M., Blanchard, A., & Zwaan, R. (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, *94*, 79–89.
- Keane, M. M., Gabrieli, J. D., Fennema, A. C., Growdon, J. H., & Corkin, S. (1991). Evidence for a dissociation between perceptual and conceptual priming in Alzheimer's disease. *Behavioral Neuroscience*, *105*, 326–342.
- Kennedy, K. M., & Raz, N. (2009). Aging white matter and cognition : differential effects of regional variations in diffusion properties on memory, executive functions, and speed. *Imaging*, *47*, 916–927.
- Kensinger, E., & Schacter, D. L. (1999). When true memories suppress false memories : effects of ageing. *Cognitive Neuropsychology*, *16*, 399–415.
- Kirby, E., Bandelow, S., & Hogervorst, E. (2010). Visual impairment in Alzheimer's disease : a critical review. *Journal of Alzheimer's Disease*, *21*, 15–34.
- Kitayama, S., & Park, J. (2010). Cultural neuroscience of the self : understanding the social grounding of the brain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *5*, 111–129.
- Klimesch, W., Freunberger, R., & Sauseng, P. (2010). Oscillatory mechanisms of process binding in memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*,

- 1002–1014.
- Koivisto, M., Portin, R., & Rinne, J. (1996). Perceptual priming in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Neuropsychologia*, *34*, 449–457.
- Kramer, J., & Duffy, J. (1996). Aphasia, apraxia, and agnosia in the diagnosis of dementia. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *7*, 23–26.
- Kuhn, T. (1962). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting : finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual Review of Psychology*, *62*, 621–647.
- La Voie, D., & Light, L. L. (1994). Adult age differences in repetition priming : a meta-analysis. *Psychology and Aging*, *9*, 539–553.
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, *129*, 108–111.
- Laisney, M., Giffard, B., Belliard, S., de la Sayette, V., Desgranges, B., & Eustache, F. (2011). When the zebra loses its stripes : Semantic priming in early alzheimer's disease and semantic dementia. *Cortex*, *47*, 35–46.
- Laurienti, P., Burdette, J. H., Maldjian, J. A., & Wallace, M. T. (2006). Enhanced multisensory integration in older adults. *Neurobiology of Aging*, *27*, 1155–1163.
- Laver, G. D., & Burke, D. M. (1993). Why do semantic priming effects increase in old age? A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *8*, 34–43.
- Lehmann, S., & Murray, M. M. (2005). The role of multisensory memories in unisensory object discrimination. *Brain Research*, *24*, 326–334.
- Lemaire, P. (2010). Variations stratégiques et vieillissement. *Revue de Neuropsychologie*, *2*, 1–9.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement. Une Perspective Cognitive*. Bruxelles : De Boeck.
- Leyhe, T., Müller, S., Milian, M., Eschweiler, G. W., & Saur, R. (2009). Impairment of episodic and semantic autobiographical memory in patients with mild cognitive impairment and early Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *47*, 2464–2469.
- Li, S.-C., Jordanova, M., & Lindenberger, U. (1998). From good senses to good sense : a link between tactile information processing and intelligence. *Intelligence*, 99–122.
- Li, S.-C., Naveh-Benjamin, M., & Lindenberger, U. (2005). Aging neuromodulation impairs associative binding : a neurocomputational account. *Psychological Science*, *16*, 445–450.
- Light, L. L., & Singh, A. (1987). Implicit and explicit memory in young and older adults. *Cognition*, *13*, 531–541.
- Lin, F., Ferrucci, L., Metter, E., An, Y., Zonderman, A., & Resnick, S. (2011). Hearing loss and cognition in the Baltimore longitudinal study of aging. *Neuropsychology*, *25*, 763–771.

- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age : a strong connection. *Psychology and Aging, 9*, 339–355.
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age : cross-sectional results from the Berlin aging study. *Psychology and Aging, 12*, 410–432.
- Lindenberger, U., & Ghisletta, P. (2009). Cognitive and sensory declines in old age : gauging the evidence for a common cause. *Psychology and Aging, 24*, 1–16.
- Lindenberger, U., Scherer, H., & Baltes, P. B. (2001). The strong connection between sensory and cognitive performance in old age : Not due to sensory acuity reductions operating during cognitive assessment. *Psychology and Aging, 16*, 196–205.
- Locke, J. (1689). *Essai sur l'entendement humain (édition de 2009)*. Classiques de la philosophie.
- Loh, K. Y., & Ogle, J. (2004). Age related visual impairment in the elderly. *The Medical Journal of Malaysia, 59*, 562–568.
- Lucchelli, F., Lopez, O., Faglioni, P., & Boller, F. (1993). Ideomotor and ideational apraxia in Alzheimer's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 8*, 413–417.
- Luo, L., & Craik, F. (2008). Aging and memory : a cognitive approach. *The Canadian Journal of Psychiatry, 53*, 346–353.
- Lustig, C., Hasher, L., & Zacks, R. (2007). Inhibitory deficit theory : Recent developments in a " new view ". In D. Gorfein & C. MacLeod (Eds.), *Inhibition and cognition* (pp. 145–162).
- Lutz, W., Sanderson, W., & Scherbov, S. (2008). The coming acceleration of global population ageing. *Nature, 451*, 716–719.
- Luzzi, S., Snowden, J. S., Neary, D., Coccia, M., Provinciali, L., & Lambon Ralph, M. A. (2007). Distinct patterns of olfactory impairment in Alzheimer's disease, semantic dementia, frontotemporal dementia, and corticobasal degeneration. *Neuropsychologia, 45*, 1823–1831.
- Mahieu, R. (2001). Départ à la retraite, irréversibilité et incertitude. *Economie & Prévision, 149*, 87–101.
- Maillard, L., Barbeau, E., Baumann, C., Koessler, L., Bénar, C., Chauvel, P., & Liégeois-Chauvel, C. (2011). From perception to recognition memory : time course and lateralization of neural substrates of word and abstract picture processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 23*, 782–800.
- Martin, A., Cox, C., Brouwers, P., & Fedio, P. (1985). A note on different patterns of impaired and preserved cognitive abilities and their relation to episodic memory deficits in Alzheimer's patients. *Brain and Language, 26*, 181–185.
- Martin, S., Brouillet, D., Guerdoux, E., & Tarrago, R. (2006). Inhibition et capacité de contrôle lors du vieillissement normal : confrontation de l'hypothèse dorso-ventrale et de l'hypothèse frontale dans l'effet d'amorçage négatif. *L'encéphale, 32*, 253–262.

- Mather, M. (2007). Emotional arousal and memory binding : an object-based framework. *Perspectives On Psychological Science*, *2*, 33–52.
- McClelland, H. A., & Rumelhart, D. E. (1986). *Parallel distributed processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- McGeorge, P., Taylor, L., Della Sala, S., & Shanks, M. F. (2002). Word stem completion in young adults, elderly adults, and patients with Alzheimer's disease : evidence from cross-modal priming. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *17*, 389–398.
- McGuinness, B., Barrett, S. L., Craig, D., Lawson, J., & Passmore, A. P. (2010). Executive functioning in Alzheimer's disease and vascular dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *25*, 562–528.
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. (1984). Clinical diagnosis of Alzheimer's disease : report of the NINCDS-ADRDA Work Group under the auspices of Department of Health and Human Services Task Force on Alzheimer's Disease. *Neurology*, *34*, 939–944.
- McKhann, G., Knopman, D. S., Chertkow, H., Hyman, B. T., Jack, C. R., Kawas, C. H., . . . Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease : recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, *7*, 263–269.
- McPherson, S., Faibanks, L., Tiken, S., Cummings, J. L., & Back-Madruga, C. (2002). Apathy and executive function in Alzheimer's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *8*, 373–381.
- Meiran, N., & Jelicic, M. (1995). Implicit memory in Alzheimer's disease : a meta-analysis. *Neuropsychology*, *9*, 291–303.
- Meiser, T., Sattler, C., & Weisser, K. (2008). Binding of multidimensional context information as a distinctive characteristic of remember judgments. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, *34*, 32–49.
- Mémoire et Vie*. (2011). Retrieved from <http://www.memoireetvie.com/>
- Meshulam, R. I., Moberg, P. J., Mahr, R. N., & Doty, R. L. (1998). Olfaction in neurodegenerative disease : a meta-analysis of olfactory functioning in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *55*, 84–90.
- Metzler-Baddeley, C. (2007). A review of cognitive impairments in dementia with Lewy bodies relative to Alzheimer's disease and Parkinson's disease with dementia. *Cortex*, *43*, 583–600.
- Meulenbroek, O., Rijpkema, M., Kessels, R. P. C., Rikkert, M. G. M. O., & Fernández, G. (2010). Autobiographical memory retrieval in patients with Alzheimer's disease. *Neuroimage*, *53*, 331–340.
- Mevel, K., Chetelat, G., Desgranges, B., & Eustache, F. (2006). Alzheimer's disease, hippocampus and neuroimaging. *L'Encéphale*, *32*, 1149–1154.
- Miller, J. (1982). Divided attention : evidence for coactivation with redundant signals. *Cognitive Psychology*, *14*, 247–279.

- Minett, T., Da Silva, R., Ortiz, K., & Bertolucci, P. (2008). Subjective memory complaints in an elderly sample : a cross-sectional study. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 23*, 49–54.
- Mitchell, D., & Bruss, P. (2003). Age differences in implicit memory : Conceptual, perceptual, or methodological? *Psychology and Aging, 18*, 807–822.
- Mitterer, H., & Jesse, A. (2010). Correlation versus causation in multisensory perception. *Psychonomic Bulletin & Review, 17*, 329–334.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks : a latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49–100.
- Mograbi, D. C., Brown, R. G., & Morris, R. G. (2009). Anosognosia in Alzheimer's disease—the petrified self. *Consciousness and Cognition, 18*, 989–1003.
- Molholm, S., Ritter, W., Javitt, D., & Foxe, J. (2004). Multisensory visual-auditory object recognition in humans : a high-density electrical mapping study. *Cerebral Cortex, 14*, 452–465.
- Mondragon-Rodriguez, S., Basurto-Islas, G., Lee, H.-G., Perry, G., Zhu, X., Castellani, R., & Smith, M. (2010). Causes versus effects : the increasing complexities of Alzheimer's disease pathogenesis. *Expert Review of Neurotherapeutics, 10*, 683–691.
- Mulatti, C., & Coltheart, M. (2012). Picture-word interference and the response-exclusion hypothesis. *Cortex, 48*, 363–372.
- Muller, G., Richter, R., Weisbord, S., & Klingberg, F. (1992). Impaired tactile pattern recognition in the early stage of primary degenerative dementia compared with normal aging. *Archives of Gerontology and Geriatrics, 14*, 215–225.
- Mulligan, N. W. (2003). Effects of cross-modal and intramodal division of attention on perceptual implicit memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition, 29*, 262–276.
- Mummery, C., Patterson, K., Price, C. J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J., & Hodges, J. R. (2000). A voxel-based morphometry study of semantic dementia : relationship between temporal lobe atrophy and semantic memory. *Annals of Neurology, 47*, 36–45.
- Murphy, C. (1999). Loss of olfactory function in dementing disease. *Physiology & Behavior, 66*, 177–182.
- Murray, E. A., & Richmond, B. J. (2001). Role of perirhinal cortex in object perception, memory, and associations. *Current Opinion in Neurobiology, 11*, 188–193.
- Murre, J. M. J., Graham, K. S., & Hodges, J. R. (2001). Semantic dementia : relevance to connectionist models of long-term memory. *Brain, 124*, 647–675.
- Nader, K. (2003). Memory traces unbound. *Trends in Neurosciences, 26*, 65–72.
- Nakamura, H., Nakanishi, M., Hamanaka, T., Nakaaki, S., & Yoshida, S. (2000). Semantic priming in patients with Alzheimer and semantic dementia. *Cortex,*

- 36, 151–162.
- 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, 1170–1187.
- 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, 202–208.
- 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, 826–837.
- Neill, D. (2011). Should Alzheimer's disease be equated with human brain ageing? A maladaptive interaction between brain evolution and senescence. *Ageing Research Reviews*.
- Nelson, P. T., Head, E., Schmitt, F. A., Davis, P. R., Neltner, J. H., Jicha, G., ... Scheff, S. W. (2011). Alzheimer's disease is not "brain aging" : neuropathological, genetic, and epidemiological human studies. *Acta Neuropathologica*, 121, 571–587.
- Nestor, P. J., Fryer, T., & Hodges, J. R. (2006). Declarative memory impairments in Alzheimer's disease and semantic dementia. *Neuroimage*, 30, 1010–1020.
- Nordahl, C. W., Ranganath, C., Yonelinas, A. P., Decarli, C., Fletcher, E., & Jagust, W. J. (2006). White matter changes compromise prefrontal cortex function in healthy elderly individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 418–429.
- Nordin, S., & Murphy, C. (1996). Impaired sensory and cognitive olfactory function in questionable Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 10, 113–119.
- Nusbaum, N. J. (1999). Aging and sensory senescence. *Southern Medical Journal*, 92, 267–275.
- Nyberg, L., Bäckman, L., Erngrund, K., Olofsson, U., & Nilsson, L. G. (1996). Age differences in episodic memory, semantic memory, and priming : relationships to demographic, intellectual, and biological factors. *The Journals of Gerontology Series B : Psychological Sciences and Social Sciences*, 51, 234–240.
- Nyberg, L., Winocur, G., & Moscovitch, M. (1997). Correlation between frontal lobe functions and explicit and implicit stem completion in healthy elderly. *Neuropsychology*, 11, 70–76.
- Ober, B. A., Shenaut, G. K., Jagust, W. J., & Stillman, R. C. (1991). Automatic semantic priming with various category relations in Alzheimer's disease and normal aging. *Psychology and Aging*, 6, 647–660.
- Oker, A., Versace, R., & Ortiz, L. (2009). Spatial distinctiveness effect in categorisation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21, 971–979.
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential effects of age on item and associative measures of memory : a meta-analysis. *Psychology and Aging*, 23, 104–118.
- Ollat, H. (1993). L'insuffisance dopaminergique, reflet du vieillissement cérébral :

- intérêt d'un agoniste dopaminergique, le piribédil. *Journal of Neurology*, *240*, 13–16.
- Opitz, B. (2010). Neural binding mechanisms in learning and memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *34*, 1036–1046.
- Ozen, N., & Rezaki, M. (2007). Prefrontal cortex : implications of memory functions and dementia. *Türk Psikiyatri Dergisi*, *18*, 262–269.
- Padilla, R. (2011). Effectiveness of environment-based interventions for people with Alzheimer's disease and related dementias. *American Journal of Occupational Therapy*, *65*, 514–522.
- Panza, F., Frisardi, V., Capurso, C., D'Introno, A., Colacicco, A. M., Imbimbo, B. P., . . . Solfrizzi, V. (2010). Late-life depression, mild cognitive impairment, and dementia : possible continuum ? *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, *18*, 98–116.
- Park, D. C., & Gutchess, A. (2006). The cognitive neuroscience of aging and culture. *Current Directions in Psychological Science*, *15*, 105–108.
- Park, D. C., & Gutchess, A. H. (2002). Aging, cognition, and culture : a neuroscientific perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*, 859–867.
- Park, D. C., Polk, T., Mikels, J., Taylor, S., & Marshuetz, C. (2001). Cerebral aging : integration of brain and behavioral models of cognitive function. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *3*, 151–166.
- Parra, M. A., Abrahams, S., Fabi, K., Logie, R., Luzzi, S., & Della Sala, S. (2009). Short-term memory binding deficits in Alzheimer's disease. *Brain*, *132*, 1057–1066.
- Pauli, P., Bourne Jr, L., Diekmann, H., & Birbaumer, N. (1999). Cross-modality priming between odors and odor-congruent words. *The American Journal of Psychology*, *112*, 175–186.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, *14*, 119–124.
- Peiffer, A., Mozolic, J., Hugenschmidt, C., & Laurienti, P. (2007). Age-related multisensory enhancement in a simple audiovisual detection task. *Neuroreport*, *18*, 1077–1081.
- Peraita, H., Diaz, C., & Anllo-Vento, L. (2008). Processing of semantic relations in normal aging and alzheimer's disease. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *23*, 33–46.
- Peters, C. A., Potter, J. F., & Scholer, S. G. (1988). Hearing impairment as a predictor of cognitive decline in dementia. *Journal of the American Geriatrics Society*, *36*, 981–986.
- Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *Journal of Internal Medicine*, *256*, 183–194.
- Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Kokmen, E., & Tangelos, E. G. (1997). Aging, memory, and mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, *9*, 65–69.

- Philopon, J. (1934). *Le commentaire de Jean Philopon sur le troisième livre du "Traité de l'âme" d'Aristote*. Liège: Faculté de philosophie et lettres.
- Piolino, P., Desgranges, B., Clarys, D., Guillery-Girard, B., Taconnat, L., Isingrini, M., & Eustache, F. (2006). Autobiographical memory, auto-noetic consciousness, and self-perspective in aging. *Psychology and Aging, 21*, 510–525.
- Platon. (-369 av. J.-C.) *Théétète (édition de 1999)*. Flammarion.
- Postle, B. R., Corkin, S., & Growdon, J. H. (1996). Intact implicit memory for novel patterns in Alzheimer's disease. *Learning & Memory, 3*, 305–312.
- Pouchain, D., Dupuy, C., San Jullian, M., Dumas, S., Vogel, M., Hamdaoui, J., & Vergnon, L. (2007). La presbycusie est-elle un facteur de risque de démence ? Etude AcouDem. *Revue de Gériatrie, 32*, 439–445.
- Rapoport, B. (2006). Âge de départ souhaité, âge de départ prévu et liberté de choix en matière d'âge de départ à la retraite. *Dossiers Solidarité et Santé, 31–49*.
- Raschilas, F. (2006). Le vieillissement sensoriel : l'altération des cinq sens. *Soins Gériatrie, 57*, 14–15.
- Rauchs, G., Piolino, P., Mezenge, F., Landeau, B., Lalevee, C., Pelerin, A., ... Desgranges, B. (2007). Auto-noetic consciousness in Alzheimer's disease : neuropsychological and PET findings using an episodic learning and recognition task. *Neurobiology of Aging, 28*, 1410–1420.
- Reder, L. M., Park, H., & Kieffaber, P. D. (2009). Reinterpreting memory in terms of activation and binding. *Psychological Bulletin, 135*, 23–49.
- Reimann, M., & Bechara, A. (2010). The somatic marker framework as a neurological theory of decision-making : review, conceptual comparisons, and future neuroeconomics research. *Journal of Economic Psychology, 31*, 767–776.
- Rémy, F., Mirrashed, F., Campbell, B., & Richter, W. (2005). Verbal episodic memory impairment in Alzheimer's disease : a combined structural and functional MRI study. *Neuroimage, 25*, 253–266.
- Richardson-Klavehn, A., & Gardiner, J. M. (1996). Cross-modality priming in stem completion reflects conscious memory, but not voluntary memory. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*, 238–244.
- Richardson-Klavehn, A., & Gardiner, J. M. (1998). Depth-of-processing effects on priming in stem completion : tests of the voluntary-contamination, conceptual-processing, and lexical-processing hypotheses. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition, 24*, 593–609.
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception : when memory improves visual search. *Memory & Cognition, 39*, 1094–1102.
- Rizzo, M. (2000). Vision and cognition in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia, 38*, 1157–1169.
- Rohrer, D. (1996). On the relative and absolute strength of a memory trace. *Memory & Cognition, 24*, 188–201.
- Rott, C. (1995). Sensorische und intellektuelle entwicklung im alter : Ergebnisse

- der bonner längsschnittstudie des alterns (bolsa) [sensory and intellectual development in old age : Results of the bonn longitudinal study on aging]. In A. Kruse & R. Schmitz-Scherzer (Eds.), *Psychologie der lebensalter [psychology of ages of life]* (Vol. 217). Darmstadt, Germany : Steinkopff.
- Rousset, S. (2000). Les conceptions "système unique" de la mémoire : aspects théoriques. *Revue de Neuropsychologie*, *10*, 27–51.
- Ryan, J. D., Moses, S. N., Ostreicher, M. L., Bardouille, T., Herdman, A., Riggs, L., & Tulving, E. (2008). Seeing sounds and hearing sights : the influence of prior learning on current perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*, 1030–1042.
- Salmon, D. P., Butters, N., & Chan, A. S. (1999). The deterioration of semantic memory in Alzheimer's disease. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *53*, 108–117.
- Salthouse, T. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*, 403–428.
- Salthouse, T. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology*, *54*, 35–54.
- Salthouse, T. (2003). Memory aging from 18 to 80. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, *17*, 162–167.
- Salthouse, T. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of Aging*, *30*, 507–514.
- Salthouse, T., Atkinson, T., & Berish, D. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology : General*, *132*, 566–594.
- Salthouse, T., Hancock, H., Meinz, E., & Hambrick, D. (1996). Interrelations of age, visual acuity, and cognitive functioning. *The Journals of Gerontology Series B : Psychological Sciences and Social Sciences*, *51*, 317–330.
- Salzi, P. (1934). *La genèse de la sensation dans ses rapports avec la théorie de la connaissance chez Protagoras, Platon, et Aristote*. Félix Alcan.
- Sauseng, P., & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*, 1001–1013.
- Sauzeon, H., N'kaoua, B., Lespinet, V., Guillem, F., & Claverie, B. (2000). Age effect in recall performance according to the levels of processing, elaboration, and retrieval cues. *Experimental Aging Research*, *26*, 57–73.
- Schacter, D., Chiu, C. Y., & Ochsner, K. N. (1993). Implicit memory : a selective review. *Annual Review of Neuroscience*, *16*, 159–182.
- Schacter, D., Koutstaal, W., & Norman, K. (1997). False memories and aging. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*, 229–236.
- Schaie, K. (1965). A general model for the study of developmental problems. *Psychological Bulletin*, *64*, 92–107.
- Schaie, K., Baltes, P., & Strother, C. R. (1964). A study of auditory sensitivity in advanced age. *Journal of Gerontology*, *19*, 453–457.

- Scheid, R., Walther, K., Guthke, T., Preul, C., & von Cramon, D. Y. (2006). Cognitive sequelae of diffuse axonal injury. *Archives of Neurology*, *63*, 418–424.
- Schneider, B., & Pichora-Fuller, M. (2000). Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research. *The Handbook of Aging and Cognition*, 155–219.
- Schneider, T. R., Debener, S., Oostenveld, R., & Engel, A. K. (2008). Enhanced EEG gamma-band activity reflects multisensory semantic matching in visual-to-auditory object priming. *Hearing Research*, *42*, 1244–1254.
- Schneider, T. R., Engel, A. K., & Debener, S. (2008). Multisensory identification of natural objects in a two-way crossmodal priming paradigm. *Experimental Psychology*, *55*, 121–132.
- Schubert, C. R., Carmichael, L. L., Murphy, C., Klein, B. E., Klein, R., & Cruickshanks, K. J. (2009). Olfaction and the 5-year incidence of cognitive impairment in an epidemiologic study of older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, *56*, 1517–1521.
- Schutz, M., & Kubovy, M. (2009). Causality and cross-modal integration. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *35*, 1791–1810.
- Schwabe, L., & Wolf, O. T. (2009). New episodic learning interferes with the reconsolidation of autobiographical memories. *Plos One*, *4*, e7519.
- Scialfa, C. T. (2002). The role of sensory factors in cognitive aging research. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *56*, 153–163.
- Senkowski, D., Schneider, T., Foxe, J., & Engel, A. (2008). Crossmodal binding through neural coherence : implications for multisensory processing. *Trends in Neurosciences*, *31*, 401–409.
- Shenaut, G. K., & Ober, B. A. (1996). Methodological control of semantic priming in Alzheimer's disease. *Psychology and Aging*, *11*, 443–448.
- Shimamura, A. P., & Squire, L. R. (1989). Impaired priming of new associations in amnesia. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 721–728.
- Shors, T. J. (2004). Memory traces of trace memories : neurogenesis, synaptogenesis and awareness. *Trends in Neurosciences*, *27*, 250–256.
- Sirota, A., & Buzsáki, G. (2005). Interaction between neocortical and hippocampal networks via slow oscillations. *Thalamus and Related Systems*, *34*, 764–773.
- Sliwinski, M., & Buschke, H. (1999). Cross-sectional and longitudinal relationships among age, cognition, and processing speed. *Psychology and Aging*, *14*, 18–33.
- Slotnick, S. D., & Schacter, D. L. (2006). The nature of memory related activity in early visual areas. *Neuropsychologia*, *44*, 2874–2886.
- 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 and Memory*, *6*, 174–215.
- Société Alzheimer du Canada. (2009). *Raz-de-marée : impact de la maladie*

- d'Alzheimer et des affections connexes au Canada* (Tech. Rep.).
- Soldan, A., Hilton, H. J., Cooper, L. A., & Stern, Y. (2009). Priming of familiar and unfamiliar visual objects over delays in young and older adults. *Psychology and Aging, 24*, 93–104.
- Souchay, C. (2007). Metamemory in Alzheimer's disease. *Cortex, 43*, 987–1003.
- Spehar, B. P., Tye-Murray, N., & Sommers, M. S. (2008). Intra- versus intermodal integration in young and older adults. *The Journal of the Acoustical Society of America, 123*, 2858–2866.
- Spence, C. (2007). Audiovisual multisensory integration. *Acoustical Science and Technology, 28*, 61–70.
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context : a meta-analysis. *Psychology and Aging, 10*, 527–539.
- Spinoza, B. (1677). *Éthique (édition 1993)*. Paris : Flammarion.
- Squire, L., & Kandel, E. (2002). *La mémoire : de l'esprit aux molécules*. Bruxelles: De Boeck.
- Squire, L., & Schacter, D. L. (2003). *Neuropsychology Of Memory*. New York: Guilford Press.
- Squire, L. R. (1982). The neuropsychology of human memory. *Annual Review of Neuroscience, 5*, 241–273.
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain : a brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory, 82*, 171–177.
- Stam, C., Jones, B., Nolte, G., Breakspear, M., & Scheltens, P. (2007). Small-world networks and functional connectivity in Alzheimer's disease. *Cerebral Cortex, 17*, 92–99.
- Starns, J. J., & Hicks, J. L. (2008). Context attributes in memory are bound to item information, but not to one another. *Psychonomic Bulletin & Review, 15*, 309–314.
- Steinberg, M., Shao, H., Zandi, P., Lyketsos, C., Welsh-Bohmer, K., Norton, M., ... Tschanz, J. (2008). Point and 5-year period prevalence of neuropsychiatric symptoms in dementia : the Cache County Study. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 23*, 170–177.
- Stephen, J., Montañó, R., Donahue, C., Adair, J., Knoefel, J., Qualls, C., ... Aine, C. (2010). Somatosensory responses in normal aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *Journal of Neural Transmission, 117*, 217–225.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia, 47*, 2015–2028.
- Stevens, J. C., Cruz, L. A., Marks, L. E., & Lakatos, S. (1998). A multimodal assessment of sensory thresholds in aging. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences, 53*, 263–272.
- Stevenson, R. A., & James, T. W. (2009). Audiovisual integration in human superior temporal sulcus : inverse effectiveness and the neural processing of speech and object recognition. *Neuroimage, 44*, 1210–1223.
- Stoub, T. R., Stebbins, G. T., Leurgans, S., Bennett, D. A., & Shah, R. C. (2006). Hippocampal disconnection contributes to memory dysfunction in individuals

- at risk for Alzheimer's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*, 10041–10045.
- Summerfield, C., & Mangels, J. A. (2005). Coherent theta-band EEG activity predicts item-context binding during encoding. *Neuroimage*, *24*, 692–703.
- Syssau, A. (1998). Le vieillissement de la mémoire : Approche globale et approche analytique. *L'année Psychologique*, *98*, 451–473.
- Tabachnick, B., Fidell, L., & Osterlind, S. (2001). Using multivariate statistics.
- Taconnat, L., Raz, N., Tocze, C., Bouazzaoui, B., Sauzeon, H., Fay, S., & Isingrini, M. (2009). Ageing and organisation strategies in free recall : the role of cognitive flexibility. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 347–365.
- Taler, V., & Phillips, N. A. (2008). Language performance in Alzheimer's disease and mild cognitive impairment : a comparative review. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *30*, 501–556.
- Thompson, M. D., Knee, K., & Golden, C. J. (1998). Olfaction in persons with Alzheimer's disease. *Neuropsychology Review*, *8*, 11–23.
- Tippett, W. J., & Sergio, L. E. (2006). Visuomotor integration is impaired in early stage Alzheimer's disease. *Brain Research*, *1102*, 92–102.
- Traub, R., & Miles, R. (1991). *Neuronal networks of the hippocampus* (Vol. 777). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Troyer, A. K., Graves, R. E., & Cullum, C. M. (1994). Executive functioning as a mediator of the relationship between age and episodic memory in healthy aging. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, *1*, 45–53.
- 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. (1995). Organization of memory : Quo Vadis? In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge, Mass : MIT Press.
- Tulving, E. (2002a). Chronesthesia : Conscious awareness of subjective time. In R. T. Knight & D. T. Stuss (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 311–325). Oxford: Oxford University Press.
- Tulving, E. (2002b). Episodic memory : from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, *53*, 1–25.
- Tulving, E., & Schacter, D. (1990). Priming and human memory systems. *Science*, *247*, 301–306.
- Uhlhaas, P. J., & Singer, W. (2006). Neural synchrony in brain disorders : relevance for cognitive dysfunctions and pathophysiology. *Neuron*, *52*, 155–168.
- Uhlmann, R., Larson, E., Koepsell, T. D., Rees, T. S., & Duckert, L. G. (1991). Visual impairment and cognitive dysfunction in Alzheimer's disease. *Journal of the American Geriatrics Society*, *6*, 126–132.
- Uhlmann, R., Larson, E., Rees, T., Koepsell, T., & Duckert, L. (1989). Relationship of hearing impairment to dementia and cognitive dysfunction in older adults. *Journal of the American Medical Association*, *261*, 1916–1919.
- Uhlmann, R. F., Larson, E. B., & Koepsell, T. D. (1986). Hearing impairment and

- cognitive decline in senile dementia of the Alzheimer's type. *Journal of the American Geriatrics Society*, *34*, 207–210.
- Ulfhake, B., Bergman, E., & Fundin, B. (2002). Impairment of peripheral sensory innervation in senescence. *Autonomic Neuroscience*, *96*, 43–49.
- Vaidya, C. J., Gabrieli, J. D., Monti, L. A., Tinklenberg, J. R., & Yesavage, J. A. (1999). Dissociation between two forms of conceptual priming in Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, *13*, 516–524.
- Valenti, D. A. (2010). Alzheimer's disease : visual system review. *Optometry*, *81*, 12–21.
- Valentijn, S., van Boxtel, M., van Hooren, S., Bosma, H., Beckers, H., Ponds, R., & 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*, 374–380.
- Vallesi, A., McIntosh, A. R., & Stuss, D. (2011). Overrecruitment in the aging brain as a function of task demands : evidence for a compensatory view. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 801–815.
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect : arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*, 376–382.
- Vallet, G., Fortin, C., & Simard, M. (sous presse). Préparation à réagir et vieillissement : synthèse et nouvelles perspectives de recherche dans l'étude des effets préparatoires. *L'Année Psychologique*.
- Vallet, G., Riou, B., Versace, R., & Simard, M. (2011). The sensory-dependent nature of audio-visual interactions for semantic knowledge. In C. Hoelscher, T. Shipley, & L. Carlson (Eds.), *Proceedings of the 33rd annual conference of the cognitive science society* (pp. 2077–2082). Boston, MA: Cognitive Science Society.
- Vallet, G., Simard, M., Fortin, C., Versace, R., & Mazza, S. (2011). L'altération des connaissances sémantiques est-elle liée à une altération du traitement perceptif? Étude des atteintes catégories-spécifiques dans la démence sémantique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, *9*, 327–335.
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (sous presse). Exploring the contradictory results on the cross-modal priming effect in normal aging : a critical review of the literature. In *Psychology of priming*. Hauppauge : Nova Science Publishers Inc.
- Vallet, G., Simard, S., Versace, R., & Mazza, S. (Soumis). The perceptual nature of audiovisual interactions for semantic knowledge in young and elderly adults. *Acta Psychologica*.
- van Boxtel, M. P., ten Tusscher, M. P., Metsemakers, J. F., Willems, B., & Jolles, J. (2001). Visual determinants of reduced performance on the stroop color-word test in normal aging individuals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *23*, 620–627.
- van Boxtel, M. P., van Beijsterveldt, C. E., Houx, P. J., Anteunis, L. J., Metsemakers,

- J. F., & Jolles, J. (2000). Mild hearing impairment can reduce verbal memory performance in a healthy adult population. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*, 147–154.
- Van den Bussche, E., Notebaert, K., & Reynvoet, B. (2009). Masked primes can be genuinely semantically processed. *Experimental Psychology*, *56*, 295–300.
- Van der Linden, M., & Bruyer, R. (1991). *Neuropsychologie de la memoire humaine*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble (PUG).
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind : cognitive science and human experience*. Boston, MA: MIT Press.
- Vatakis, A., & Spence, C. (2008). Evaluating the influence of the 'unity assumption' on the temporal perception of realistic audiovisual stimuli. *Acta Psychologica*, *127*, 12–23.
- Verfaellie, M., Keane, M., & Johnson, G. (2000). Preserved priming in auditory perceptual identification in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, *38*, 1581–1592.
- Verhaegen, P., Borchelt, M., & Smith, J. (2003). Relation between cardiovascular and metabolic disease and cognition in very old age : cross-sectional and longitudinal findings from the berlin aging study. *Health Psychology*, *22*, 559–569.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention : a review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*, 849–857.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*, 522–560.
- Versace, R., Nervers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Marseille: Solal.
- Victorri, B. (2008). Le connexionnisme. In F. Eustache, B. Lechevalier, & F. Viader (Eds.), *Traité de neuropsychologie clinique : Neurosciences cognitives et cliniques de l'adulte* (pp. 53–64). Bruxelles: De Boeck.
- Vogel, A., Gade, A., Stokholm, J., & Waldemar, G. (2005). Semantic memory impairment in the earliest phases of Alzheimer's disease. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, *19*, 75–81.
- Vogel, A., Hasselbalch, S. G., Gade, A., Ziebell, M., & Waldemar, G. (2005). Cognitive and functional neuroimaging correlate for anosognosia in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *20*, 238–246.
- von Gunten, A., Bouras, C., Kövari, E., Giannakopoulos, P., & Hof, P. R. (2006). Neural substrates of cognitive and behavioral deficits in atypical Alzheimer's disease. *Brain Research Reviews*, *51*, 176–211.
- Wahl, H., & Heyl, V. (2003). Connections between vision, hearing, and cognitive function in old age. *Generations*, *27*, 39–45.
- Walters, G. (2010). Dementia : continuum or distinct entity? *Psychology and*

- Aging*, 25, 534–544.
- Warrington, E., & James, M. (1991). *The visual object and space perception battery*. Bury St Edmunds : Thames Valley Test Company.
- Weiner, M., Aisen, P., Jack, C., Jagust, W., Trojanowski, J., Shaw, L., . . . Coleq PE and Schmidt, M. (2010). The Alzheimer's disease neuroimaging initiative : progress report and future plans. *Alzheimer's and Dementia*, 6, 202–211.
- Welford, A. (1988). Reaction time, speed of performance, and age. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 515, 1–17.
- Whitehouse, P. J., & George, D. (2009). *Le mythe de la maladie d'Alzheimer : ce qu'on ne vous dit pas sur ce diagnostic tant redouté*. Marseille: Solal.
- Whittlesea, B. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 13, 3–17.
- Whitwell, J. L. (2010). Progression of atrophy in Alzheimer's disease and related disorders. *Neurotoxicity Research*, 18, 339–346.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625–636.
- Wilson, R., Schneider, J., Arnold, S., Tang, Y., Boyle, P., & Bennett, D. (2007). Olfactory identification and incidence of mild cognitive impairment in older age. *Archives of General Psychiatry*, 64, 802–808.
- Winters, B. D., Saksida, L. M., & Bussey, T. J. (2008). Object recognition memory : neurobiological mechanisms of encoding, consolidation and retrieval. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32, 1055–1070.
- Wolk, D. A., Signoff, E. D., & Dekosky, S. T. (2008). Recollection and familiarity in amnesic mild cognitive impairment : a global decline in recognition memory. *Neuropsychologia*, 46, 1965–1978.
- Wood, K. M., Edwards, J. D., Clay, O. J., Wadley, V. G., Roenker, D. L., & Ball, K. K. (2005). Sensory and cognitive factors influencing functional ability in older adults. *Gerontology*, 51, 131–141.
- Yesavage, J. A., Brooks, J. O., Taylor, J., & Tinklenberg, J. (1993). Development of aphasia, apraxia, and agnosia and decline in Alzheimer's disease. *American Journal of Psychiatry*, 150, 742–747.
- Yubero, R., Gil, P., Paul, N., & Maestú, F. (2011). Influence of memory strategies on memory test performance : a study in healthy and pathological aging. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 37–41.
- Zaki, S. R. (1998). Dissociations between categorization and recognition in amnesic and normal individuals : an exemplar-based interpretation. *Psychological Science*, 9, 247–255.
- Zaki, S. R., Nosofsky, R. M., & Jessup, N. (2003). Categorization and recognition performance of a memory-impaired group : evidence for single-system models. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 9, 393–406.
- Zimmer, H., Mecklinger, A., & Lindenberger, U. (2006). *Handbook of binding and memory : perspectives from cognitive neuroscience*. Oxford: Oxford University

Press.

Sixième partie

Annexes

Annexe A

Détails pour les expériences 1 et 2

A.1 Profils individuels des patients souffrants de la maladie d'Alzheimer

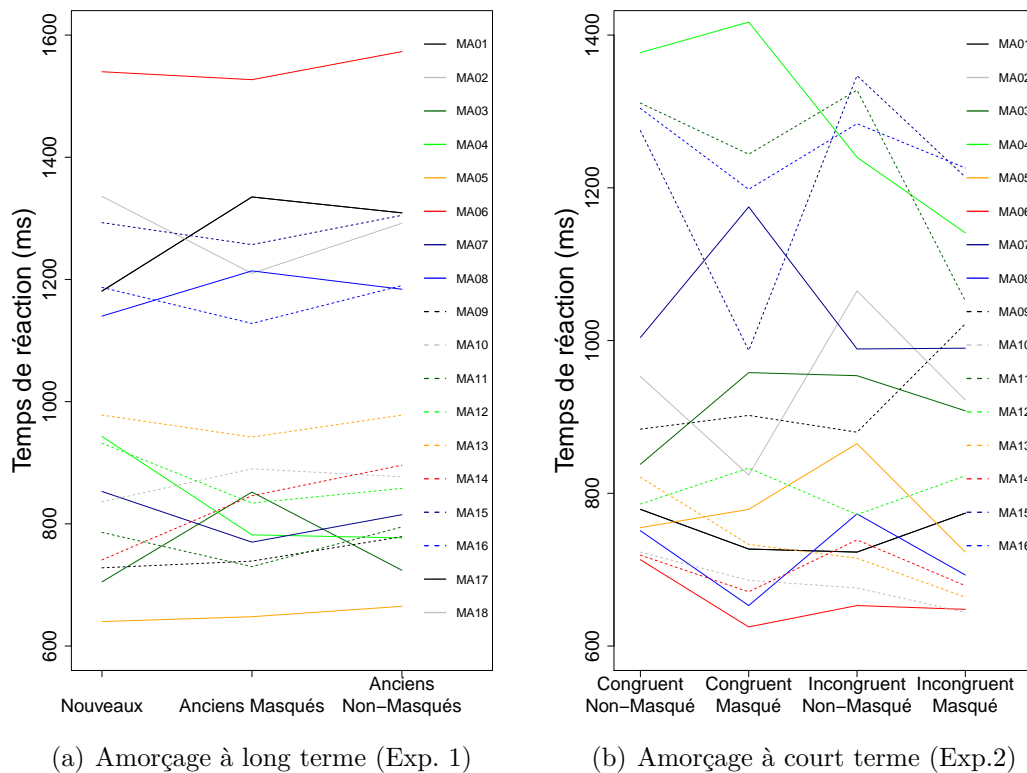


FIGURE A.1 – Profils individuels pour l'expérience 1 –phase test– (a) et 2 (b). Les temps de réaction (en ms) sont donnés en fonction des conditions expérimentales.

A.2 Stimuli expérimentaux inclus dans les expériences d’amorçage

A.2.1 Amorçage à long terme – Expérience 1

TABLE A.1 – Listes des stimuli inclus dans l’expérience d’amorçage inter-sensoriel à long terme.

Animaux	Objets
Abeille	Accordéon
Aigle	Ambulance
Âne	Aspirateur
Canard	Avion à hélices
Canari	Batterie
Chat	Cloche
Cheval	Cornemuse
Chèvre	Cymbale
Chien	Djembé
Chimpanzé	Gong
Chouette	Guitare
Coq	Guitare électrique
Corbeau	Harmonica
Dauphin	Harpe
Dinde	Hélicoptère
Éléphant	Machine à écrire
Grenouille	Marteau-piqueur
Lion	Moto
Loup	Orgue
Mésange	Perceuse
Moineau	Piano
Mouche	Réveil
Mouette	Scie circulaire
Mouton	Sèche cheveux
Ours	Téléphone
Pigeon	Train
Poule	Trompette
Sanglier	Tronçonneuse
Tigre	Violon
Vache	Voiture de police

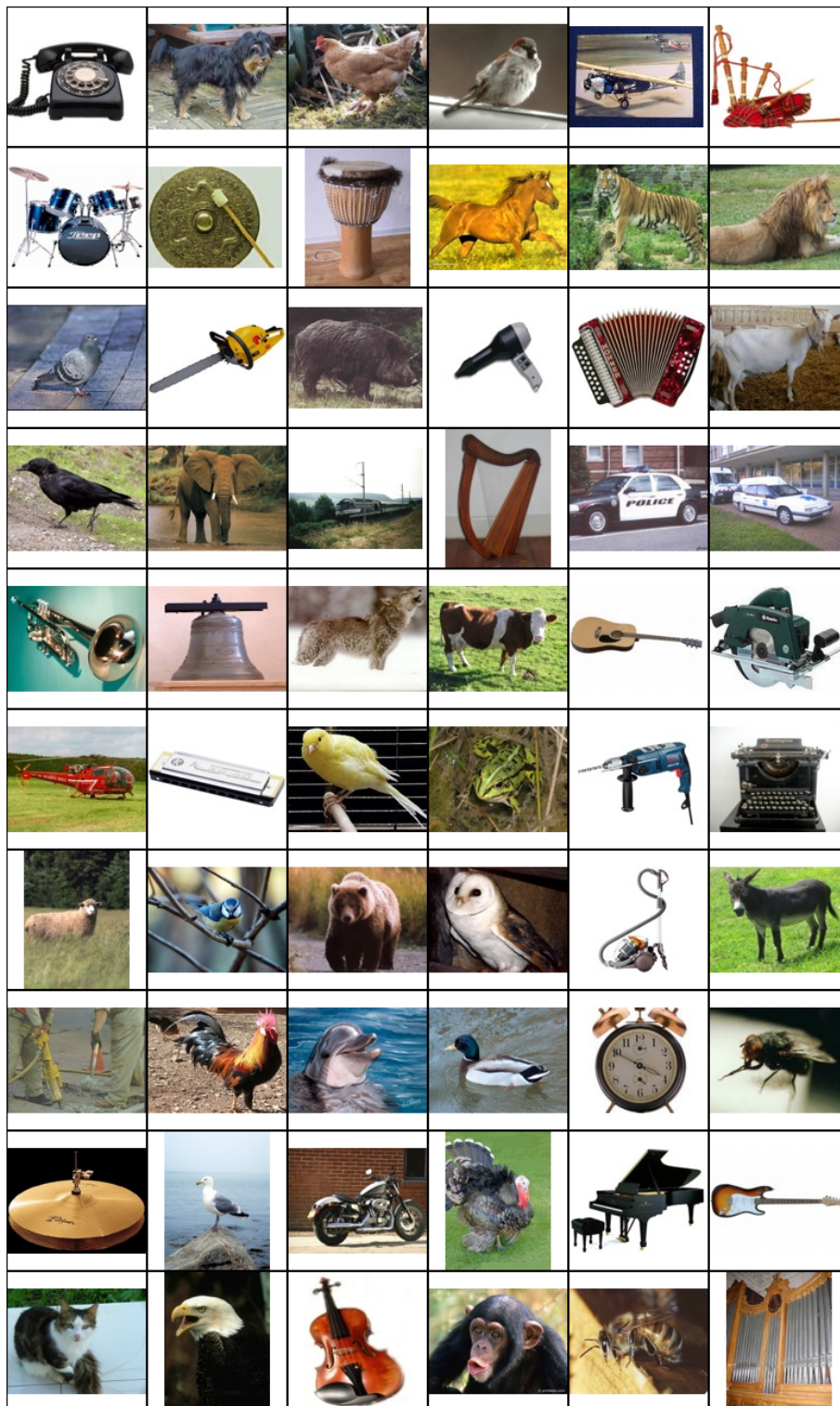


FIGURE A.2 – Présentation des miniatures des images incluses dans l'Expérience 1.

A.2.2 Amorçage à court terme – Expérience 2

TABLE A.2 – Listes des stimuli inclus dans l'expérience d'amorçage inter-sensoriel à court terme.

Animaux		Objets	
Cibles	Non-Cibles	Cibles	Non-Cibles
Aigle	Autruches	Accordéon	Allumette
Âne	Baleine	Ambulance	Armoire
Canard	Cabri	Aspirateur	Boite
Chat	Cafard	Avion réaction	Bol
Cheval	Caméléon	Avion biplan	Brosse
Chèvre	Crabe	Batterie	Brouette
Chien	Écureuil	Cloche	Chaussure
Chimpanzé	Flamand	Cymbale	Chenille
Chouette	Fourmi	Djembé	Couteau
Cochon	Grillon	Gong	Dés
Coq	Kangourou	Guitare sèche	Dès à coudre
Corbeau	Koala	Guitare électrique	Lecteur DVD
Dinde	Lama	Harmonica	Fourchette
Éléphant	Lézard	Harpe	Karcher
Grenouille	Loutre	Hélicoptère	Lampe
Huard	Mante-religieuse	Marteau-piqueur	Loupe
Lion	Otarie	Moto	Maracas
Loup	Panda	Orgue	Microscope
Mésange	Papillon	Perceuse	Montre
Moineau	Poisson-chat	Piano	Pince
Mouche	Poisson-globe	Police	Porte
Mouette	Rat	Réveil	Pouf
Moustique	Renard	Scie circulaire	Stylo
Mouton	Requin	Sifflet	Table
Oie	Rhinocéros	Téléphone	Tondeuse
Pigeon	Scarabée	Train	Tournevis
Poule	Tortue	Tronçonneuse	Vélo
Vache	Zèbre	Violon	Voltmètre

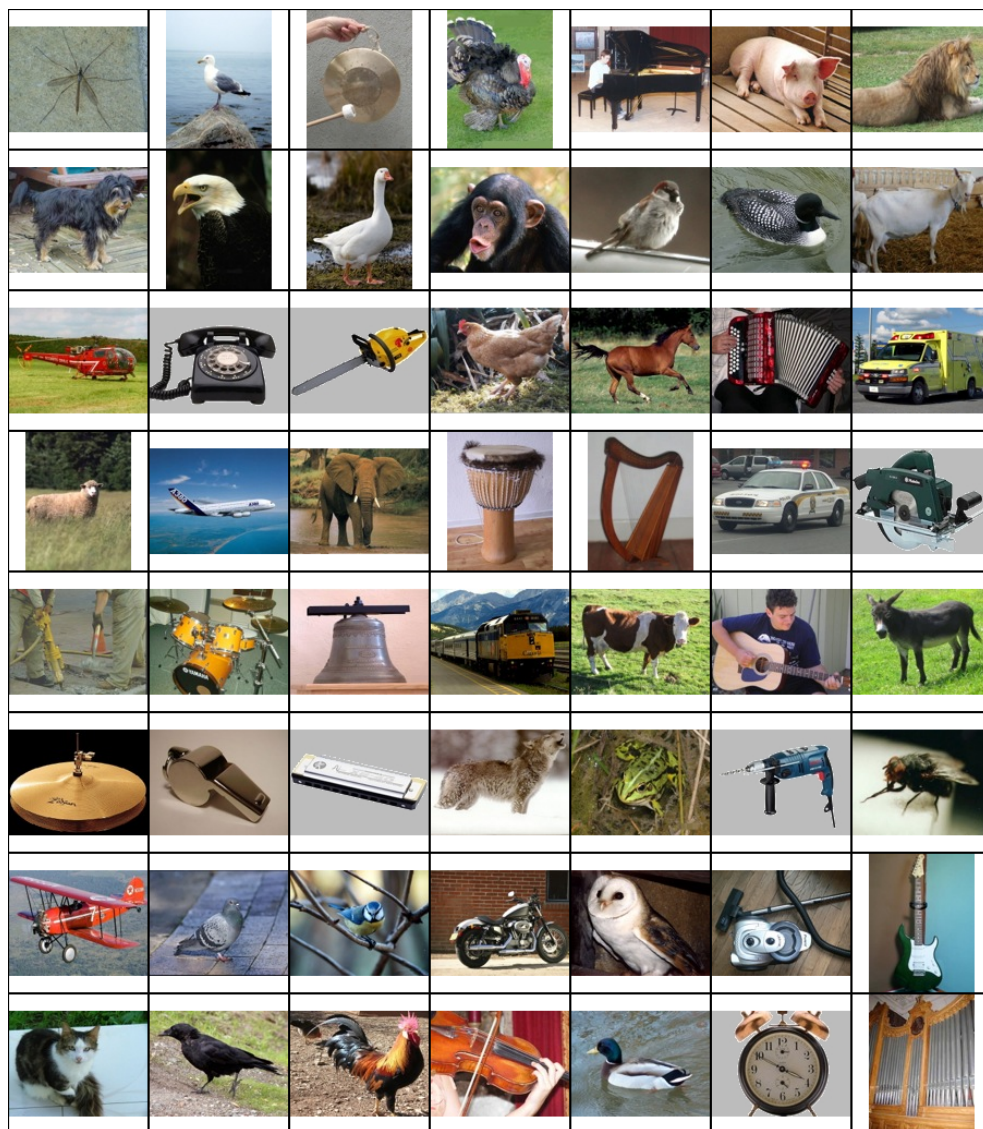


FIGURE A.3 – Présentation des miniatures des images incluses dans les conditions d'intérêts de l'Expérience 2.

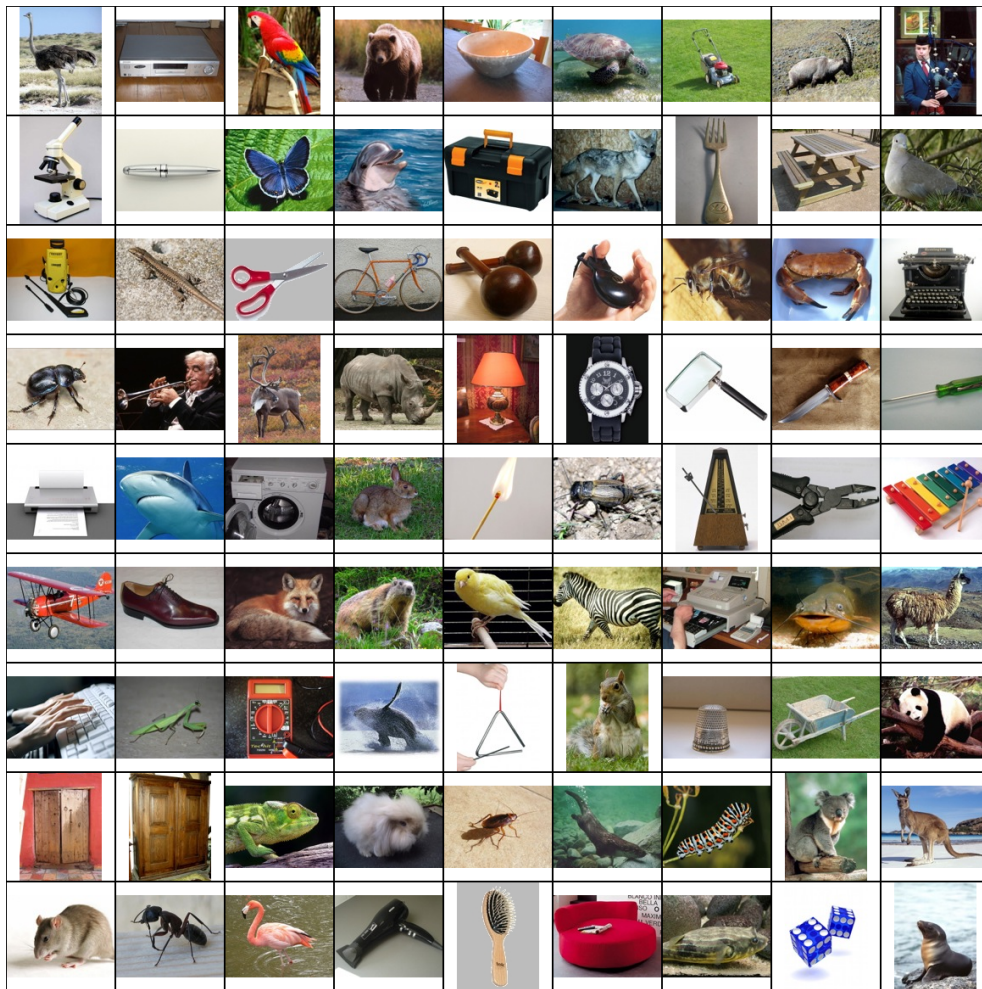


FIGURE A.4 – Présentation des miniatures des images incluses dans les conditions exclues des analyses de l'Expérience 2.

Annexe B

Expériences complémentaires

B.1 Adaptation du Pyramids and Palm Trees Test (PPTT) : le SEMEP

Les participants inclus dans les études présentées dans ce travail de recherche ont également complété une adaptation du PPTT ([Howard & Patterson, 1992](#)) désignée sous le nom de SEMEP (« Semantic/Episodic memory test »). Ce test a été travaillé afin de répondre aux critères suivants :

- tester simultanément les connaissances sémantiques et épisodiques à partir d'un même matériel expérimental,
- tester quantitativement et qualitativement le rappel de connaissances épisodiques,
- tester l'effet d'isolation perceptive sur ces rappels et la reconnaissance.

B.1.1 SEMEP : un test de mémoire sémantique et épisodique

L'adaptation reposait sur la partie visuelle du PPTT. Cette partie est composée de 52 planches représentant trois images disposées en pyramide. L'item positionné en haut constitue le modèle de référence pour la tâche d'appariement sémantique. Le participant doit décider laquelle des deux images présentées en-dessous de ce modèle représente le meilleur appariement possible avec le modèle. Cette tâche d'appariement a été gardée telle quelle pour l'adaptation.

La principale modification a consisté à adapter le test en un test de mémoire épisodique. Pour ce faire, le nombre de planches incluses a été diminué à 32 et les participants recevaient comme instruction supplémentaire de mémoriser la bonne réponse de l'appariement. L'expérimentateur insistait particulièrement sur le fait que les participants ne devaient retenir que la bonne réponse et non les autres items présentés. Cette particularité permet de différencier le rappel des cibles appropriées, le rappel de cibles non pertinentes (confusions) et le rappel d'items jamais présentés (intrusions). Une tâche de rappel libre, de rappel libre différé et de reconnaissance ont aussi été ajoutés (voir Tableau B.1). Une autre particularité du test SEMEP est d'implanter un paradigme d'isolation perceptive. Ainsi, les items d'un quart des planches (8 sur 32) étaient présentés avec un fond jaune au lieu d'un fond blanc. Aucune instruction n'évoquait cette particularité. Le principe de l'isolation est de rendre plus saillants ces items (appelés items isolés) par rapport aux autres. Cette isolation devrait favoriser leur rappel (voir Oker et al., 2009).

TABLE B.1 – Présentation des tâches et scores du SEMEP en fonction de ses différentes parties.

Parties	Tâche 1	Tâche 2	Scores
Appariement	Appariement sémantique	Mémoriser la bonne réponse	- Bonnes réponses
Rappel libre	Rappeler items à mémoriser Éviter rappel des autres items		- Items correctement rappelés - Items isolés rappelés - Confusions - Intrusions
Reco.	Reconnaître items à mémoriser Éviter les autres items	Dénommer les items	- Items correctement reconnus - Dénomination - Items isolés - Confusions - Intrusions
RLD	Rappeler items à mémoriser		- Idem que pour rappel libre

Notes. Reco.= reconnaissance; RLD= rappel libre différé.

B.1.2 Résultats des participants au SEMEP

Un groupe de jeunes adultes, de personnes âgées sans trouble cognitif et de patients souffrants d'une maladie d'Alzheimer ont complété le SEMEP. Les principales caractéristiques de ces participants sont résumées dans le Tableau B.2. La majorité de ces participants correspondent à ceux inclus dans l'Expérience 2 de cette thèse.

Les données recueillies sont présentées dans le Tableau B.3. Le principal résultat concerne la particularité des profils de chaque groupe comparativement aux autres. Ainsi, les jeunes adultes, qui représentent le groupe contrôle, présentent de bonnes

TABLE B.2 – Principales caractéristiques démographiques et scores au MMSE et temps de réaction simple des participants jeunes, âgés et patients Alzheimer.

Variables	Jeunes (N=55)		Âgés (N=33)		Alzheimer (N=17)	
	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.
Âge	23.80	3.67	73.09	6.86	75.88	7.79
NSC	16.02	2.55	14.09	5.07	14.06	4.32
Genre (H/F)	15/40		8/25		4/13	
MMSE	29.91	0.29	28.67	0.99	23.76	2.63
TRS	272.73	27.85	302.03	50.12	330.67	35.96

Notes. Moy.= moyenne ; E.T.= écart-type ; NSC= niveau socio-culturel ; TRS= temps de réaction simple (en ms).

performances mnésiques. Fait intéressant, leurs performances n'atteint pas des effets plafonds dans le cas des rappels libres contrairement au test du RL/RI. Les personnes âgées présentent des performances légèrement moindres, mais se démarquent par la présence de confusions contrairement aux jeunes adultes. Enfin, les patients Alzheimer présentent des performances mnésiques détériorées comme normalement attendues, mais surtout, ces patients se caractérisent par la présence d'intrusions. Autrement dit, le vieillissement se distingue par des connaissances plus floues (confusions), mais qui demeurent pertinentes par rapport au matériel présenté. Au contraire, les patients Alzheimer présentent des erreurs de mémoire allant au-delà du matériel présenté (intrusions), mais commettent statistiquement autant de confusions que les personnes âgées.

Un autre résultat intéressant concerne les items isolés. Ainsi, les jeunes adultes ($t(54) = 3.23, p < .05$) comme les personnes âgées ($t(32) = 2.41, p < .05$) rappellent plus favorablement ces items isolés par rapport aux autres dans le rappel différé. Cet effet est également retrouvé pour les jeunes adultes en reconnaissance ($t(54) = 2.63, p < .05$) Les patients souffrants de la maladie d'Alzheimer ne présentent pas cette facilitation, mais auraient tendance à en rappeler moins que la probabilité normale ces items ($t(16) = -1.61, p = .06$) et en reconnaissent également moins que la probabilité normale ($t(16) = -1.87, p < .05$).

TABLE B.3 – Moyennes et écart-types des scores au SEMEP pour les participants jeunes, âgés et patients Alzheimer. Comparaison des moyennes (tests-t) entre les groupes jeunes et âgés d'une part, et les groupes âgés et patients souffrants de la MA d'autre part.

Phases	Variables	Jeunes (N=55)		Âgés (N=33)		Alzheimer (N=17)		Tests-t	
		Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.	Jeunes-Âgés	Âgés-MA
Appariement	Total	31.49	0.60	31.09	0.98	29.82	1.55	**	**
Rappel libre	Total	15.71	3.92	9.79	3.59	2.59	2.50		**
	Isolés	4.09	1.49	2.21	1.17	0.65	0.79	**	**
	Confusions	0.44	0.63	1.39	1.03	1.35	1.37	**	
	Intrusions	0.00	0.00	0.01	0.17	0.41	0.87		**
Rappel libre différé	Total	20.15	4.29	12.70	3.75	3.00	2.83	**	**
	Isolés	5.73	1.58	3.73	1.33	0.47	0.72	**	**
	Confusions	0.40	0.56	1.85	1.35	1.18	1.13	**	
	Intrusions	0.02	0.13	0.06	0.24	0.76	1.03	**	**
Reconnaissance	Total	30.73	1.75	29.64	1.87	21.53	4.53	**	**
	Isolés	7.82	0.39	7.39	0.86	4.53	1.87		**
	Confusions	0.25	0.52	2.06	1.98	5.47	2.60	**	**
	Intrusions	0.00	0.00	0.00	0.00	2.82	2.60		**
Dénomination	Total	63.24	0.82	62.33	1.51	60.24	3.78	**	**

Notes. Moy.= moyenne ; E.T.= écart-type ; MA= patients Alzheimer ; Tests-t= tests bilatéraux pour échantillons indépendants. **= $p < 0.05$.

B.2 Amorçage inter-sensoriels à court terme dans la démence sémantique

Le Dr. Carol Hudon (Université Laval) a rendu possible l'application du protocole expérimental utilisé dans l'Expérience 2 à des patients souffrants d'une démence sémantique. Cette expérience a pu être insérée dans un projet de recherche plus large mené par le Dr. Joël Macoir (Université Laval) et la Dre Nathalie Bier (Université de Sherbrooke, Université de Montréal) en collaboration avec le Dr. Hudon.

La démence sémantique est une étiologie rare, et par conséquent le recrutement de patients remplissant ces critères diagnostiques est restreint. Le protocole expérimental de l'Expérience 2 a donc été adapté afin de pouvoir être testé avec beaucoup moins de participants. Ainsi, les contrebalancements des items dans les différentes conditions demeurent en quatre listes expérimentales, mais celles-ci sont toutes complétées par chaque participant. Autrement dit, les participants effectuaient quatre fois l'expérience en deux sessions séparées de plusieurs jours (parties 1-2 vs. 3-4). Une pause de 20 minutes était appliquée entre deux blocs consécutifs (1-2 puis 3-4). L'ordre des différentes listes et des touches de réponses fut contrebalancé entre les participants.

Jusqu'à présent, quatre participants contrôles ont été recruté constituant autant de données que 16 participants dans les conditions de l'Expérience 2. Dans le groupe de patients atteints de démence sémantique, trois personnes ont pu être incluses. Une quatrième personne devrait prendre part à l'expérience prochainement. La limite à souligner est qu'il manque donc un contrebalancement d'ordre de listes et de touches pour ce dernier groupe. Les principales caractéristiques des personnes incluses dans ce projet sont résumées dans le Tableau B.4.

TABLE B.4 – Caractéristiques démographiques, scores aux MMSE et temps de réaction simple des participants contrôles et patients atteints de démence sémantique.

Groupe	Participants	Age	NSC	Genre	MMSE	TRS (ET)
Patients DS	DS01	76	14	H	29	287 (32.95)
	DS02	70	12	F	25	293 (41.87)
	DS03	52	14	H	26	308 (54.18)
Contrôles	CT01	59	10	F	29	276 (24.78)
	CT02	71	10	F	30	282 (30.54)
	CT03	58	14	H	30	291 (28.44)
	CT04	55	12	F	30	275 (32.88)

Notes. DS= démence sémantique ; NSC= niveau socio-culturel ;
TRS= temps de réaction simple (en ms) ; ET= écart-type.

Les analyses statistiques ont été faites en considérant les données de chaque personne comme quatre entrées indépendantes (une par liste de l'expérience). Le plan d'analyse était le suivant : 2 (Catégorie : vivants vs. non-vivants) x2 (Congruence sémantique : item-congruent vs. item-incongruent) x2 (Masque : non-masqué vs. masqué). Le facteur catégorie a été ajouté à l'analyse en raison d'une hypothèse a priori d'une atteinte spécifique des items vivants (voir Vallet, Simard, Fortin, et al., 2011). En raison du déséquilibre du nombre de participants entre les groupes, des ANOVA séparées pour chaque groupe ont été conduites. Seules les données sur les temps de réaction sont présentées en raison de la pertinence de cette variable dépendante pour cette étude.

B.2.1 Données des participants contrôles

L'effet principal de la catégorie se traduit par un traitement plus rapide des animaux par rapport aux objets. L'interaction entre la congruence et le masque fut décomposée par une série de deux tests t (voir aussi Figure B.1). Dans la condition congruente, les items masqués sont traités plus lentement que les non-masqués ($t(31) = -5.23, p < .05$), alors que dans la condition incongruente, les items masqués sont traités plus rapidement que les items non-masqués ($t(31) = 2.63, p < .05$).

TABLE B.5 – Tableau d'ANOVA pour les participants contrôles.

<i>Effet</i>	<i>DFn</i>	<i>DFd</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Sig.</i>	<i>ges</i>
Catégorie	1	15	15.76	.001	*	.15
Congruence	1	15	4.03	.063		.01
Masque	1	15	2.65	.124		.00
Catégorie*Congruence	1	15	1.42	.252		.01
Catégorie*Masque	1	15	.51	.487		.00
Congruence*Masque	1	15	14.23	.002	*	.07
Catégorie*Congruence*Masque	1	15	3.07	.100		.01

Notes. DFn= degrés de liberté du numérateur ; DFd= degrés de liberté du dénominateur ; Sig.= significativité ; ges= éta carré général.

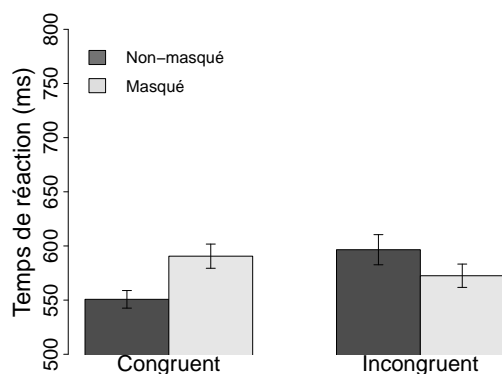


FIGURE B.1 – Illustration de l'interaction entre le facteur congruence sémantique et le facteur masque pour le groupe de participants contrôles.

B.2.2 Données des patients souffrants de démence sémantique

TABLE B.6 – Tableau d'ANOVA pour les patients souffrants de démence sémantique.

<i>Effet</i>	<i>DFn</i>	<i>DFd</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>Sig.</i>	<i>ges</i>
Catégorie	1	11	18.86	0.001	*	0.09
Congruence	1	11	0.08	0.776		0.00
Masque	1	11	2.38	0.151		0.01
Catégorie*Congruence	1	11	1.04	0.329		0.00
Catégorie*Masque	1	11	5.52	0.039	*	0.01
Congruence*Masque	1	11	3.26	0.098		0.01
Catégorie*Congruence*Masque	1	11	3.90	0.074		0.01

Notes. DFn= degrés de liberté du numérateur ; DFd= degrés de liberté du dénominateur ; Sig.= significativité ; ges= éta carré général.

L'effet principal de la catégorie se traduit par un traitement plus rapide des animaux par rapport aux objets.

L'interaction entre la catégorie et le masque fut décomposée par une série de deux tests t . Pour les items vivants, les items masqués sont traités plus rapidement que les non-masqués, ($t(23) = 2.65, p < .05$), alors qu'il n'y a pas de différence dans la catégorie des non-vivants, ($t(23) = -0.10, p = .92$).

En raison de nos hypothèses a priori et de la tendance observée, la triple interaction a été décomposée pour tester l'effet du masque dans la catégorie des non-vivants (voir aussi Figure B.2). Les objets congruents masqués sont traités plus lentement que ceux non-masqués, ($t(11) = -1.98, p < .05$), alors qu'il y a un effet facilitateur dans la condition incongruente, ($t(23) = 1.84, p < .05$).

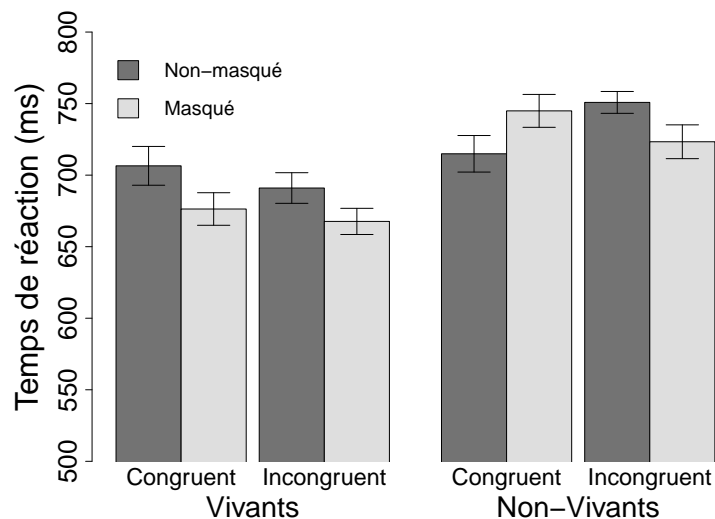


FIGURE B.2 – Illustration de l'interaction entre le facteur catégorie, congruence sémantique et masque pour le groupe de patients atteints de démence sémantique.

Les résultats indiquent par conséquent que la catégorie des animaux est traitée différemment de celle des objets pour les patients souffrant de démence sémantique. Le masque a eu un effet facilitateur dans la catégorie des animaux quelle que soit la congruence sémantique, profil similaire à celui des patients atteints de la MA. À l'inverse, le masque interagit avec la congruence sémantique dans la catégorie des objets comme pour les jeunes adultes et personnes âgées saines. Ces données sont en faveur d'un déficit catégorie-spécifique en défaveur des animaux dans la démence sémantique.

B.3 Perception et mémoire dans le vieillissement

La qualité des souvenirs des participants inclus dans l'Expérience 2 a été testée à l'aide d'un paradigme inspiré du paradigme R/K/G (Gardiner, 1988). Lors de la reconnaissance, il était demandé au participant de qualifier la qualité de son souvenir en donnant un chiffre entre 1 et 10 – 1 pour aucun souvenir à 10 souvenir complet et détaillé. La cotation s'est faite de la manière suivante. Un chiffre entre 1 et 3 correspondait à une réponse « Guess », entre 4 et 7 à une réponse « Know », et finalement entre 8 et 10 à une réponse « Remember ». L'expérimentateur demandait au participant de justifier sa réponse lorsque le chiffre était supérieur à 7 afin de vérifier la précision du souvenir. Le participant pouvait alors donner des précisions comme la position du mot sur la carte, le numéro de la carte, la présence des autres mots sur cette carte. Les résultats sont résumés dans le Tableau B.7.

TABLE B.7 – Moyennes et écart-types des scores aux RL/RI-16 items en fonction des groupes de jeunes adultes et personnes âgées.

Scores	Jeunes (N=41)		Âgés (N=33)	
	Moy.	E.T.	Moy.	E.T.
Encodage	15.88	0.40	15.27	0.76
Somme des RL	39.17	4.54	29.42	5.64
Somme des RI	47.46	0.92	46.12	2.15
RL différé	15.24	0.92	12.67	2.37
RI différé	16.00	0.00	15.85	0.36
Reconnaissance	16.00	0.00	15.88	0.33
Réponses R	6.41	4.86	3.83	3.24
Réponses K.	9.54	4.84	12.03	3.20
Réponses G.	0.00	0.00	0.03	0.18

Notes. Moy.= moyenne; E.T.= écart-type;

RL= rappel libre; RI= rappel indicé.

Les tests t conduits sur les différents indices du RL/RI-16 entre les deux groupes sont tous significatifs ($t(72), p < .05$) démontrant que les personnes âgées ont de moins bonnes performances mnésiques que les jeunes adultes. Les jeunes adultes rapportent significativement plus de réponses « Remember » et moins de réponses « Know » que les personnes âgées. Ces dernières présentent à de rares occasions des réponses « Guess ».

Les analyses de corrélations menées entre les scores de mémoire et d'acuité perceptive ne montrent pas d'effet significatif dans le groupe des jeunes adultes. En revanche, les personnes âgées démontrent un lien statistique entre l'acuité visuelle et les scores de mémoire épisodique et la qualité des souvenirs (voir Tableau B.8). Ces

corrélations indiquent qu'une meilleure acuité visuelle est associée à des meilleurs rappels et des rappels de meilleure qualité.

TABLE B.8 – Corrélations entre les réponses R/K, la mémoire et l'acuité visuelle et auditive dans le groupe des personnes âgées.

	Volume		Vision		Mémoire		Rép. R.		Rép. K
Volume	1.00								
Vision	-0.28		1.00						
Mémoire	-0.34	**	0.34	**	1.00				
Rép. R.	-0.18		0.48	**	0.36	**	1.00		
Rép. K	0.19		-0.45	**	-0.31		-0.99	**	1.00

Notes. Rép.= réponses ; Vision= score composite des scores d'acuité visuelle ; Mémoire= score composite des scores de rappel du RL/RL ; **= $p < 0.05$.