

Université de Lyon

Laboratoire d'Étude des Mécanismes Cognitifs (EMC), EA 3082

École doctorale de Neurosciences et Cognition

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Discipline : PSYCHOLOGIE COGNITIVE

Par

Elodie LABEYE

Soutenue le 10 décembre 2008

**LA DYNAMIQUE D'ÉMERGENCE DES CONNAISSANCES :
PROCESSUS D'ACTIVATION ET D'INTÉGRATION DES COMPOSANTS
SENSORIELS ET MOTEURS.**

Sous la direction du professeur Rémy VERSACE

Composition du Jury

Denis Brouillet, Professeur à l'Université Paul-Valéry, Rapporteur

Serge Nicolas, Professeur à l'Université Paris Descartes, Rapporteur

Agnès Blaye, Professeur à l'Université Aix-Marseille I, Examineur

Stéphane Rousset, Maître de conférence à l'université Pierre Mendès France, Examineur

Rémy Versace, Professeur à l'Université de Lyon, Directeur

À mes parents, Viviane et Raymond Labeye

Et ma sœur Vanessa.

REMERCIEMENTS

À l'issue de ces trois années de recherche et de l'hibernation estivale qu'a nécessitée la rédaction de ma thèse, j'éprouve une vive reconnaissance envers bon nombre de personnes. Je profite donc de cet espace pour exprimer mes plus chaleureux remerciements

à Rémy Versace pour m'avoir accompagnée depuis le début avec délicatesse, liberté et patience, sur le chemin scientifique. Merci grandement pour ton initiation à ce *fameux* modèle de la mémoire et tes conseils précieux pour la rédaction.

à Agnès Blaye, Denis Brouillet, Serge Nicolas et Stéphane Rousset, pour avoir pris le temps de juger cette thèse.

à Elie, Emilie, Damien, Céline et Vanessa qui ont chacun corrigé au pied levé les derniers jours, un bout de mon travail.

À toutes les personnes qui peuplent ou ont peuplé mon laboratoire et qui le rendent si agréable, je voudrais également témoigner de ma sympathie. Merci particulièrement à Guillemette mon aînée thésarde, Luc qui ne sera jamais venu à Noël..., Ben et son CJC, Norbert et sa bonne humeur, Filio et sa pétillance méditerranéenne ; merci à Emanuelle, George, Pascale, Isabelle, Stéphanie, tous ces enseignants qui donnent envie de continuer dans le monde universitaire ; merci aux ex bébés thésards, aux nouveaux thésards, aux thésards d'en face, aux anciens thésards, qui ont fait de mon quotidien un univers très humain.

Merci aussi aux membres de mon équipe « Mémoire et émotion » pour les articles scientifiques, pour le partage d'une même compréhension, pour avoir quelques fois raisonné ensemble, un peu perchés dans les hautes sphères de la cognition. Je pense particulièrement à Ali, Mathieu et Lionel, des thésards experts.

Enfin, merci à ceux qui durant ces années ont été proches, amis, joyeux fêtards ou confidents.

Merci à toi Ali, « frère d'arme » dans cette aventure tumultueuse mais Oh combien nécessaire. Merci à toi Émilie pour ta présence tout cet été, tes mots apaisants et ton empathie innée. Merci à toi Céline, pour tes attentions et ton idée de l'amitié. Merci à toi Damien, pour ton esprit « discuteur » et ton élan vivifiant. Merci à toi Marion, pour ces petits moments de partage.

Et puis bien sûr, un énorme merci général à vous mes amis de longue date, Noémie, Florence, Johan, Raphaël et mes trois mousquetaires Toufik, Guillaume et Sylvain, pour l'intimité, ces nuits de poker, la fête et l'ivresse et ces années passées et à venir.

Enfin, pour réellement finir cette page, je ne pourrai pas terminer sans remercier ma famille.

Merci à toi ma très chère sœur Vanessa, merci d'être si forte et un exemple merveilleux. Merci à toi Lionel, d'être là pour nous tous ; merci à la tribu Merland, Edgar, Kenza et Baltazar, enfants chéris. Merci à toi aussi Mamie.

Merci à ma mère et mon père pour leurs paniers repas, leur amour, leur fierté. Merci ma chère mère et mon cher père de m'avoir autant donné, autant appris. Merci d'être ces êtres humains si géniaux, j'ai vraiment de la chance.

Enfin, merci à ma Belle famille pour sa chaleur en ces jours de tempête.

Et puis bien sûr, mille merci à toi mon Élie, tu es mon soleil et l'homme de ma vie.

Il faut garder quelques
sourires pour se moquer
des jours sans joie.

Charles Trenet

RÉSUMÉ

Le travail présenté dans cette thèse, s'inscrit dans une vision particulière du fonctionnement mnésique, qui considère la mémoire comme un système unique et à long terme enregistrant l'ensemble de nos expériences sous forme de traces épisodiques multimodales. L'encodage et la récupération d'une connaissance sont donc dans cette perspective, dépendants d'un matériel neuronal commun aux mécanismes perceptifs.

L'objectif de nos expériences a été de montrer que les processus d'activation et d'intégration nécessaires à la perception d'une situation multimodale unifiée et cohérente, sont également à la base de l'émergence des connaissances mentales.

Deux séries d'expériences ont été élaborées à partir d'un paradigme d'amorçage à court terme, utilisant soit des images d'objets usuels, soit des stimuli simples (figures géométriques colorées). La manipulation temporelle de la présentation des amorces nous a permis de moduler le niveau d'émergence des composants moteurs, sensoriels ou auditifs relatifs aux stimuli. Certains de ces composants pouvaient par ailleurs être similaires avec ceux activés par la cible.

Les résultats ont montré des effets d'amorçage dépendants du statut intégré ou non de la connaissance mnésique en lien avec l'amorce. Avec un SOA court, tous les composants relatifs à l'amorce ont pu avoir un effet d'amorçage sur le traitement de la cible, se traduisant par des effets additifs indépendants de chaque facteur manipulé.

En revanche, avec un SOA plus long, l'amorce n'a pu faciliter le traitement de la cible que lorsque l'ensemble de leurs composants étaient similaires. Les interactions obtenues au niveau des effets d'amorçage, ont traduit selon nous, l'état intégré de la connaissance émergente en lien avec l'amorce. L'expression de chaque composant était dépendante de l'expression des autres composants.

Au final, nos résultats expérimentaux contribuent à une appréhension de la mémoire comme un système dynamique, émergeant de notre interaction avec l'environnement.

Mots clés : Mémoire à traces multiples, connaissances, émergence, activation, intégration...

ABSTRACT

The present work concerns a particular vision of memory, which considers it as a single and long term system, recording all our experiences in episodic multimodal traces.

The encoding and retrieval of knowledge are in this perspective, dependent on neural systems, which are common to perceptive mechanisms.

The aim of our experiments was to demonstrate that activation and integration processes involved in perception of a multimodal coherent and unitary situation, are also on the basis of mental knowledge emergence.

Two sets of experiments were conducted from a short term priming paradigm, using either usual object pictures, either simple stimuli (coloured geometric figures). Time manipulation of primes presentation enabled us to modulate the level of emergence of motor, sensory or auditory stimuli components. Some of these components could also be similar with those activated by the target.

Results showed priming effects dependent on the integrated or non integrated state of memory knowledge relative to the prime. With a short SOA, all prime's components have had a priming effect on the treatment of the target, and we obtained independent additive effects of both factors.

However, with a longer SOA, the prime could facilitate the processing of the target only when all their components were similar. The interactions obtained in this condition, have resulted in our view, the integrated status of the emerging knowledge related to the prime. The expression of each component was dependent on the expression of other components.

Finally, our experimental results contribute to the apprehension of memory as dynamic system, emerging from our interaction with the environment.

Keywords: Multiple memory traces, knowledge, emergence, activation, integration...

TABLES DES MATIÈRES

<i>Tables des matières</i>	<i>i</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>vi</i>
<i>Partie théorique</i>	<i>1</i>
<i>Introduction</i>	<i>1</i>
Chapitre 1 <i>Résumé historique des modèles de la mémoire</i>	3
1.1. Pourquoi des modèles multi-systèmes ?	3
Exemple du modèle hiérarchique de la mémoire de Tulving (1972, 1995).....	5
Par ailleurs.....	7
1.2. Gros plan sur les connaissances sémantiques : nature amodale ?	7
Exemple de la théorie du réseau sémantique	8
De façon plus générale	9
1.3. La profondeur de traitement d'une information : un autre courant	10
Finalement.....	11
1.4. Émergence des modèles à traces multiples	12
1.4.1. Critiques des modèles multi-systèmes	12
1.4.2. Les modèles à traces multiples	14
1.4.3. Pour résumer	16
1.5. Limites des modèles à traces multiples et préoccupations actuelles	16
Chapitre 2 <i>Des représentations mentales sensori-motrices</i>	18
2.1. Les observations issues des neurosciences	18
Les zones motrices activées durant la compréhension du comportement d'autrui : le phénomène miroir ..	19
Les zones sensorielles et motrices activées pendant l'émergence d'une connaissance	21
Les zones sensorielles et motrices activées pendant l'imagerie mentale	23
Finalement.....	24
2.2. Les observations issues de la psychologie cognitive	25

2.2.1. Les propriétés sensorielles des représentations mentales	25
2.2.2. Les propriétés motrices des représentations mentales	32
Chapitre 3 <i>Les modèles actuels de la mémoire. Description des processus</i>	
<i>d'émergence des connaissances.....</i>	39
3.1. La théorie de l'embodied cognition et les propriétés émotionnelles	40
3.2. Le modèle des systèmes symboliques perceptifs	42
Création et réactivation de symboles perceptifs	42
Le simulateur à la base de l'activité mentale conceptuelle	44
Les zones de convergence	45
Pour résumer	45
3.3. L'intégration multisensorielle, un processus analysé par les neurosciences	46
Intégrations précoces dans les aires auditives.....	47
Intégrations précoces dans le cortex visuel.....	47
Finalement.....	48
3.4. Le processus d'intégration au sein des travaux de Stoet et Hommel.....	49
3.5. La dynamique d'émergence des connaissances : cadre théorique de ce travail de thèse ...	51
Les traces mnésiques : activations neuronales à modalité spécifique, distribuées sur l'ensemble du cerveau	
.....	51
Des connaissances fonctionnelles.....	52
Dynamique d'émergence des connaissances : processus d'activation et d'intégration	53
3.6. Problématique, hypothèses et objectifs expérimentaux	54
3.7. Plan expérimental	58
 <i>Partie expérimentale.....</i>	 60
Chapitre 4 <i>Études des processus d'activation et d'intégration à partir d'images</i>	
<i>d'objets complexes</i>	60
4.1. Les processus d'activation et d'intégration des composants moteurs	61
4.1.1. Expérience 1 (1000 ms & 300 ms).....	62
4.1.2. Expérience 2 (300 ms & 100 ms).....	72
4.1.3. Conclusions	80
4.2. Intégration audio-visuelle	80
4.2.1. Expérience 3 (500 ms & 100 ms).....	81
4.2.2. Expérience 4 (50 ms)	93

4.3. Discussion du chapitre 4	96
Chapitre 5 <i>Études des processus d'activation et d'intégration à partir d'objets simples, maîtrisés</i>	99
5.1. Les processus d'activation et d'intégration des composants sensoriels forme et orientation	100
Expérience 5 (100 ms & 500 ms)	100
5.2. Les processus d'activation et d'intégration des composants sensoriels forme et position	110
5.2.1. Expérience 6 (500 ms & 100 ms)	110
5.2.2. Expérience 7 (500 ms & 100 ms)	121
5.3. Discussion du chapitre 5	129
<i>Discussion Générale</i>	132
<i>Résumé de nos expériences</i>	133
<i>Les traces mnésiques : un continuum d'intégrations</i>	136
<i>L'intégration nécessite t-elle de l'attention ?</i>	140
<i>Conclusion</i>	141
<i>Références</i>	144
<i>Annexes</i>	I

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Organisation par « emboîtement » des systèmes de mémoire selon Tulving (1995). Illustration provenant de l'article de Martins, Guillery-Girard et Eustache (2006).	6
Figure 2. Organisation des connaissances sémantiques sous forme de réseau de concepts, proposée par Collins et Quillian (1969).	9
Figure 3. Exemples de phrases utilisées dans l'expérience de Craik et Tulving (1975), nécessitant des niveaux de profondeur de traitement différents.	11
Figure 4. Schéma illustrant le modèle MINERVA II d'Hintzman (1986).	15
Figure 5. Exemples des différentes conditions expérimentales utilisées dans l'expérience de Lacoboni et al. (2005).	20
Figure 6. Exemple d'images utilisées dans l'expérience de Simmons et al. (2005). Seules les images de nourriture sont corrélées avec une activité des aires gustatives.	22
Figure 7. Paradigme d'amorçage à court terme utilisé dans l'expérience de Ferrier et al. (2007). Exemple d'un essai congruent.	27
Figure 8. Exemple sélectionné parmi les dessins utilisés dans l'expérience de Zwaan et al. (2002).	30
Figure 9. Exemples de couples amorce/cible utilisés dans l'expérience de Helbig et al. (2006).	35
Figure 10. Création de symboles perceptifs, selon Barsalou (1999).	43
Figure 11. Illustration de la formation et de la réactivation d'un simulateur dans le modèle Perceptual Symbols System, PSS de Barsalou (1999).	44
Figure 12. Illustration de deux conditions expérimentales tirées de l'expérience de Stoet et Hommel (2002).	50
Figure 13. Illustration simplifiée de l'intégration entre des composants intermodaux d'une trace mnésique (Versace et al., 2002).	54
Figure 14. Illustration de l'influence des processus d'activation et d'intégration sur le phénomène d'amorçage.	57
Figure 15. Exemple d'une cible précédée par une amorce dans chaque condition expérimentale.	66
Figure 16. Illustration de la tâche des sujets.	67
Figure 17. Exemple d'un essai de l'expérience 1.	68
Figure 18. Expérience 1 : tendance à l'interaction « geste*catégorie ».	70
Figure 19. Tâche des sujets.	73
Figure 20. Exemple d'un essai de l'expérience 2.	74
Figure 21. Expérience 2 : double interaction « geste*catégorie*SOA ».	77
Figure 22. Exemples de différentes amorces (réparties sur 4 listes différentes) pour une même cible, petite et sonore.	84

Figure 23. Tâche des sujets.	85
Figure 24. Exemple d'un essai de l'expérience 3.	86
Figure 25. Expérience 3 : interaction « taille*sonorité ».	88
Figure 26. Expérience 3 : interaction « Taille*sonorité de l'amorce » pour les cibles sonores.	90
Figure 27. Exemple d'un essai de l'expérience 4.	94
Figure 28. Les quatre figures colorées que les participants voyaient défiler pendant une phase d'observation.	102
Figure 29. Les quatre figures cibles du paradigme d'amorçage.	102
Figure 30. Les quatre couleurs amorces.	102
Figure 31. Exemples d'un essai dans chacune des conditions.	103
Figure 32. Illustration de la tâche des sujets.	105
Figure 33. Exemple d'un essai de l'expérience 5.	106
Figure 34. Expérience 5 : double interaction « forme*orientation*SOA ».	108
Figure 35. Les quatre figures colorées que les participants mémorisaient pendant une phase préalable d'apprentissage.	112
Figure 36. Les six figures cibles du paradigme d'amorçage. Les sujets avaient pour consigne de ne pas traiter les carrés.	112
Figure 37. Les quatre couleurs amorces.	113
Figure 38. Exemples d'un essai dans chacune des conditions.	114
Figure 39. Illustration de la tâche des sujets.	116
Figure 40. Exemple d'un essai de l'expérience 6.	117
Figure 41. Expérience 6 : interaction « forme*SOA ».	119
Figure 42. Expérience 6 : interaction « forme*position ».	120
Figure 43. Les quatre figures colorées que les participants mémorisaient pendant une phase préalable d'apprentissage.	123
Figure 44. Les quatre couleurs amorces.	123
Figure 45. Les quatre figures cibles du paradigme d'amorçage.	123
Figure 46. Illustration de la tâche des sujets.	124
Figure 47. Exemple d'un essai de l'expérience 7.	125
Figure 48. Expérience 7 : double interaction « forme*position*SOA ».	127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Expérience 1. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.....	69
Tableau 2. Expérience 2. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.....	75
Tableau 3. Expérience 3. Moyenne des latences en ms et des pourcentages de bonnes réponses (BR) pour chacune des quatre conditions expérimentales et en fonction du SOA.....	87
Tableau 4. Expérience 4. Moyenne des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) pour chacune des quatre conditions expérimentales.....	95
Tableau 5. Expérience 5. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.....	107
Tableau 6. Expérience 6. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.....	118
Tableau 7. Expérience 7. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.....	126

PARTIE THÉORIQUE

Introduction

Ce travail de thèse s'articule autour du caractère dynamique et émergent des connaissances mentales. Pendant longtemps les modèles de la mémoire ont divisé nos capacités mnésiques en différents systèmes autonomes et présentant des compétences spécifiques pour expliquer la diversité et les nuances de nos représentations mentales.

Aujourd'hui, il apparaît qu'un système beaucoup plus unifié soit en réalité à la base du fonctionnement cognitif. La mémoire serait un état particulier de ce système impliquant des liens très étroits entre les activités perceptives et mnésiques. Les observations réalisées depuis une dizaine d'années en neurosciences et en psychologie cognitive, suggèrent en effet l'implication de processus communs entre la perception, l'action et l'évocation mentale des connaissances.

Le modèle de la mémoire que nous allons présenter et sur lequel se fondent nos expériences, considère la mémoire comme unique et à long terme, enregistrant ainsi toutes les traces de nos expériences (Versace, Nevers & Padovan, 2002). Dans ce contexte, les connaissances quelles qu'elles soient, émergent de notre interaction avec l'environnement, influencées par différents facteurs situationnels, motivationnels, émotionnels etc... Plus spécifiquement, cette dynamique s'appuie selon nous sur les activations et intégrations des composants multisensoriels élémentaires des connaissances. C'est dans cette perspective distribuée, multimodale et dynamique que nous avons réalisé un ensemble d'expériences avec pour principal objectif de mettre en évidence ces processus et de mieux comprendre leur dynamique temporelle.

L'organisation de cette thèse est donc la suivante :

Le premier chapitre va résumer les principaux modèles de la mémoire proposés depuis les années 60 et mettre en évidence certaines de leurs limites théoriques.

Le second chapitre va évoquer de nombreuses expériences actuelles qui recouvrent des domaines aussi variés que les neurones miroirs, le traitement des concepts, les propriétés motrices des connaissances, l'imagerie mentale... L'ensemble de ces recherches montre que les connaissances sont le résultat de l'activation de composants sensoriels et moteurs.

Le troisième chapitre va présenter les modèles actuels de la mémoire qui nous semblent véritablement efficaces pour rendre compte de ces observations. Nous présenterons également les hypothèses soulevées par ces conceptions théoriques à propos du processus d'intégration, indispensable selon nous à l'émergence des connaissances.

Les chapitres 4 et 5 constitueront pour leur part la partie expérimentale de notre travail. Ils concerneront deux ensembles d'expériences élaborés à partir d'un paradigme d'amorçage utilisant des stimuli complexes ou simples. Nous réaliserons une manipulation de la présentation temporelle de ces stimuli pour distinguer les processus d'activation et d'intégration multimodaux.

Enfin, une discussion générale sera proposée à l'issue de ces différents chapitres afin de faire le point sur notre conception de la dynamique d'émergence des connaissances mentales.

Chapitre 1

Résumé historique des modèles de la mémoire

Ce résumé historique va être consacré à l'évolution des modèles de la mémoire en psychologie cognitive. Une première partie s'intéressera à l'approche structurale longtemps privilégiée et qui présente la mémoire comme un ensemble de sous-systèmes mnésiques spécialisés, régis par des processus cognitifs différents. La distinction entre les connaissances sémantiques abstraites et les souvenirs épisodiques modaux sera plus particulièrement développée dans la seconde partie de ce chapitre. Par ailleurs, un modèle plus fonctionnel qui souligne l'importance du processus d'encodage dans la mémorisation fera quant à lui l'objet d'une troisième partie. Enfin, les difficultés rencontrées par tous ces modèles et l'avènement des observations en imagerie ont donné naissance dans les années 80 à une vision davantage unitaire de la mémoire, ainsi qu'à une redéfinition des connaissances dites conceptuelles. Ces questions seront évoquées dans la dernière partie du chapitre consacrée aux modèles à traces multiples de la mémoire et aux préoccupations actuelles.

1.1. Pourquoi des modèles multi-systèmes ?

Dans les années 60, les effets de récence et de primauté font partie des principales observations que les chercheurs en psychologie cognitive tentent d'interpréter. Pour Atkinson et Shiffrin (1968) le fait de retenir préférentiellement les premiers et les derniers items d'une liste serait le reflet du fonctionnement de deux mémoires distinctes. Ces mémoires présenteraient des capacités de stockage particulières et traiteraient l'information de façon successive. La répétition mentale en tant que processus de contrôle dans le registre à court terme serait ainsi à l'origine du rappel des items les plus récents, alors que le passage des informations dans le registre à long terme, permettrait le rappel des plus anciens.

Cette division du système mnésique à la base de la plupart des modèles élaborés par la

suite, a suscité le développement de deux axes majeurs de recherche. Le premier a concerné spécifiquement les processus liés au traitement à court terme des informations en développant la notion de mémoire de travail (Baddeley, 1986). Le second a défini la mémoire à long terme en distinguant des sous-systèmes, chacun spécifique de connaissances particulières.

En effet, de la même façon que certaines d'entre elles semblaient stockées temporairement ou de façon permanente, il est apparu que l'on pouvait différencier les connaissances à partir de nombreuses autres propriétés. La qualité consciente ou inconsciente de leur émergence, leurs caractéristiques contextualisées ou conceptuelles, la possibilité de les verbaliser ou non, ont été les principales oppositions justifiant une architecture à systèmes mnésiques séparés. À chaque forme de représentation un système particulier, tributaire d'une région cérébrale spécifique.

À l'époque, ces oppositions se sont inspirées des dissociations observées en neuropsychologie. Les célèbres profils cliniques des patients HM (Scoville & Milner, 1957) et KF (Shallice & Warrington, 1970) ont justifié par exemple la dissociation entre un système de stockage à court terme et un système de stockage à long terme. L'atteinte préférentielle dans le syndrome amnésique des souvenirs personnels plutôt que des connaissances générales - et qui s'oppose au pattern inverse observé dans les démences sémantiques - a justifié quant à lui la distinction entre deux systèmes de mémoire déclarative, l'un épisodique et l'autre sémantique. De façon similaire, les dissociations obtenues entre certains tests mnésiques ont corroboré elles aussi l'existence de différents systèmes. En effet, lorsque deux tests portant sur un même matériel ne sont pas influencés de la même manière par les changements de modalité d'une variable étudiée, les auteurs considèrent que les deux tâches font appel à deux systèmes de mémoire différents. L'ensemble de ce type d'expériences a donc permis de distinguer tour à tour des connaissances explicites, implicites, déclaratives, procédurales, sémantiques, épisodiques...

Finalement, l'étude de ces dissociations a conduit à l'émergence de grands modèles cognitifs fédérant sous forme d'arborescence les sous-systèmes responsables des multiples mémoires. Cette représentation de la mémoire ainsi que la conception localisationniste du cerveau sont encore en vigueur et l'évolution du modèle de Tulving en témoigne largement.

Exemple du modèle hiérarchique de la mémoire de Tulving (1972, 1995)

Proposée dans les années 70, puis modifiée à plusieurs reprises, l'approche multi-systèmes d'Endel Tulving (1972, 1995) constitue l'un des plus importants modèles du courant structuraliste encore d'actualité (voir aussi Eustache & Desgranges, 2003).

À l'origine, l'auteur oppose en mémoire à long terme trois systèmes mnésiques bien distincts : le module responsable des connaissances sémantiques c'est-à-dire des connaissances générales sur le monde, décontextualisées et amodales. Le module des connaissances épisodiques relatives aux événements vécus par l'individu et inscrites dans un contexte spatio-temporel. Enfin le module des habiletés motrices ou cognitives.

Plus tard, entre autres afin de pouvoir expliquer les effets d'amorçage perceptifs, Tulving ajoute un système dédié aux représentations perceptives (SRP). Le SRP est lui-même divisé en SRP de la forme visuelle des mots, en SRP de la forme auditive des mots et en SRP de la description structurale des objets. Ce système joue également un rôle important dans le processus d'abstraction « qui transforme le percept en une représentation abstraite compréhensible par le système symbolique (sémantique pour Tulving) » (Rousset, 2000, p.29). Il est intéressant de noter que ce processus fréquemment évoqué n'est pourtant que peu défini dans la littérature.

Toujours dans une volonté d'améliorer son modèle et pour rendre compte de certaines relations entre les systèmes, Tulving propose en 1995 le modèle SPI (Sériel, Parallèle, Indépendant). Il s'agit d'un modèle par « emboîtement » où les mémoires précédemment décrites forment un ensemble de systèmes organisés hiérarchiquement (voir figure 1). Plus les systèmes de mémoire sont bas dans la hiérarchie, plus ils sont autonomes c'est-à-dire que leur activité est indépendante des systèmes de plus haut niveau. La mémoire procédurale en charge des habiletés est le système le plus indépendant et à la base de l'architecture. Ses relations avec les autres systèmes ne sont cependant pas très développées par Tulving. Le système suivant est le système dédié aux représentations perceptives qui encode et stocke les informations sensorielles, puis les transfère (décontextualisées) vers la mémoire sémantique. Dans le modèle SPI, la mémoire sémantique est de plus bas niveau que la mémoire épisodique. Tulving associe chacune de ces deux mémoires à des états de conscience différents et décrit l'état auto-noétique en lien avec la mémoire épisodique, comme responsable de la mémorisation des informations personnelles et contextualisées. Enfin, la

mémoire de travail est intégrée à ce modèle et se situe entre les systèmes sémantique et épisodique.

Pour finir, Tulving décrit - le processus d'encodage dans un système - comme un processus dépendant de la qualité de l'encodage dans le système précédent. En revanche, la récupération d'une information dans un de ces systèmes est autonome et indépendante. L'indépendance se traduit par le fait que rappeler une information ne nécessite pas la récupération d'autres informations contenues dans les autres systèmes. Cette dernière propriété permet par exemple d'expliquer des pathologies du type sémantique où la mémoire épisodique des patients est relativement préservée.

Aujourd'hui, Endel Tulving continue encore son travail de recherche en y incluant des données issues de l'imagerie fonctionnelle. Les hypothèses essentielles de son modèle se concentrent toujours sur l'opposition entre des connaissances amodales et modales, contenues dans des aires cérébrales spécifiques.

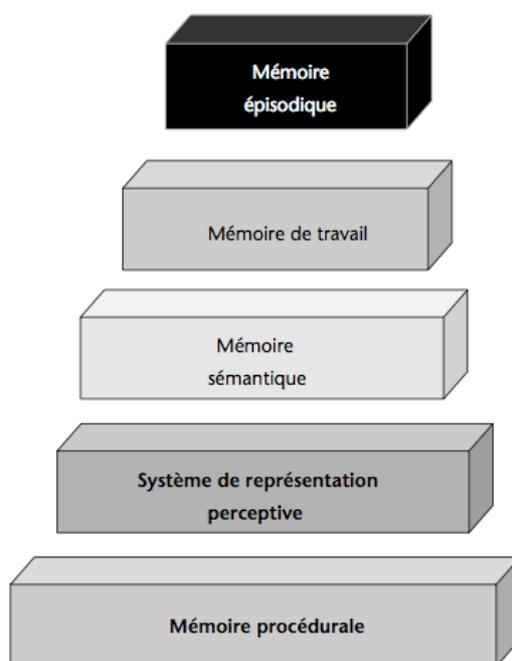


Figure 1. Organisation par « emboîtement » des systèmes de mémoire selon Tulving (1995). Illustration provenant de l'article de Martins, Guillery-Girard et Eustache (2006).

Par ailleurs...

Pour réellement saisir l'ampleur du courant structuraliste dans l'étude de la mémoire, il importe d'évoquer d'autres modèles, essentiellement focalisés sur la description d'un stock localisé de représentations symboliques. Ces modèles dit « d'activation » inévitablement cités dans les livres de psychologie cognitive, sont présentés parfois comme les premiers modèles fonctionnels. Or, même s'ils offrent une description des processus d'activation des concepts, ils s'inscrivent pleinement dans une vision de la mémoire divisée. Le cerveau contient des stocks séparés de représentations mentales. D'ailleurs les connaissances neuro-anatomiques de l'époque opposent les zones primaires du cerveau nécessaires à l'encodage des informations sensorielles, à de nombreuses autres zones dites secondaires qui pourraient être ces lieux de stockage. Ces zones sont aussi appelées zones associatives car elles sont le lieu de convergence de différentes informations provenant des zones primaires. Mais paradoxalement, et contrairement à l'idée que nous développerons par la suite, ces zones associatives sont considérées comme le lieu de stockage de connaissances à part entière, de nature symbolique (sémantique) car détachées des représentations sensorielles (qui pourtant leur sont totalement rattachées au niveau neuro-anatomique). Ainsi, parallèlement aux travaux de Tulving, un très grand nombre de travaux ont été consacrés à l'étude de ces connaissances dites sémantiques.

1.2. Gros plan sur les connaissances sémantiques : nature amodale ?

À l'interface des recherches en linguistique et en intelligence artificielle des années 70, l'idée d'un réseau sémantique séduit de nombreux chercheurs. Cette fois le regard porté sur la mémoire n'est plus essentiellement structural mais également fonctionnel. Il cherche à expliquer l'activation et l'organisation des connaissances entre elles. Comme le décrit Serge Nicolas « la plupart de ces recherches ont considéré la mémoire comme un réseau contenant un grand nombre d'unités élémentaires de représentation massivement interconnectées » (2003, p.122). Mais les concepts tour à tour décrits comme des noeuds, des prototypes ou des codes, restent pour ces modèles des unités abstraites, dénuées de tout composant sensoriel ou émotionnel. Le modèle de Quillian proposé en 1969 illustre bien cette approche conceptuelle

des connaissances sémantiques.

Exemple de la théorie du réseau sémantique

C'est à partir de ses travaux de thèse portant sur des programmes informatiques capables de comprendre un texte que l'informaticien Ross Quillian s'intéresse à la structure fonctionnelle de la mémoire sémantique. Il décrit un réseau sémantique comme un format de représentation qui permet de mémoriser (et de manipuler) la signification des mots. Pour lui la signification d'un mot peut être représentée par l'ensemble de ses associations verbales. Avec l'aide du psychologue Allan Collins, il propose dès 1969 un modèle de l'organisation des connaissances sémantiques sous forme de réseau de concepts. Ces concepts sont des noeuds associés à un certain nombre de propriétés et tout concept est défini par ses relations avec les autres concepts. Les relations entre les noeuds sont hiérarchiques et une propriété existant à un niveau donné est implicite aux niveaux inférieurs. Ainsi, chaque propriété ne figure qu'une seule fois dans le réseau, au niveau du concept le plus général caractérisé par la propriété en question. Pour les auteurs, il s'agit de respecter un principe d'économie de stockage cohérent avec le fonctionnement biologique (Collins & Quillian, 1969). Ce réseau sémantique est illustré par la figure 2.

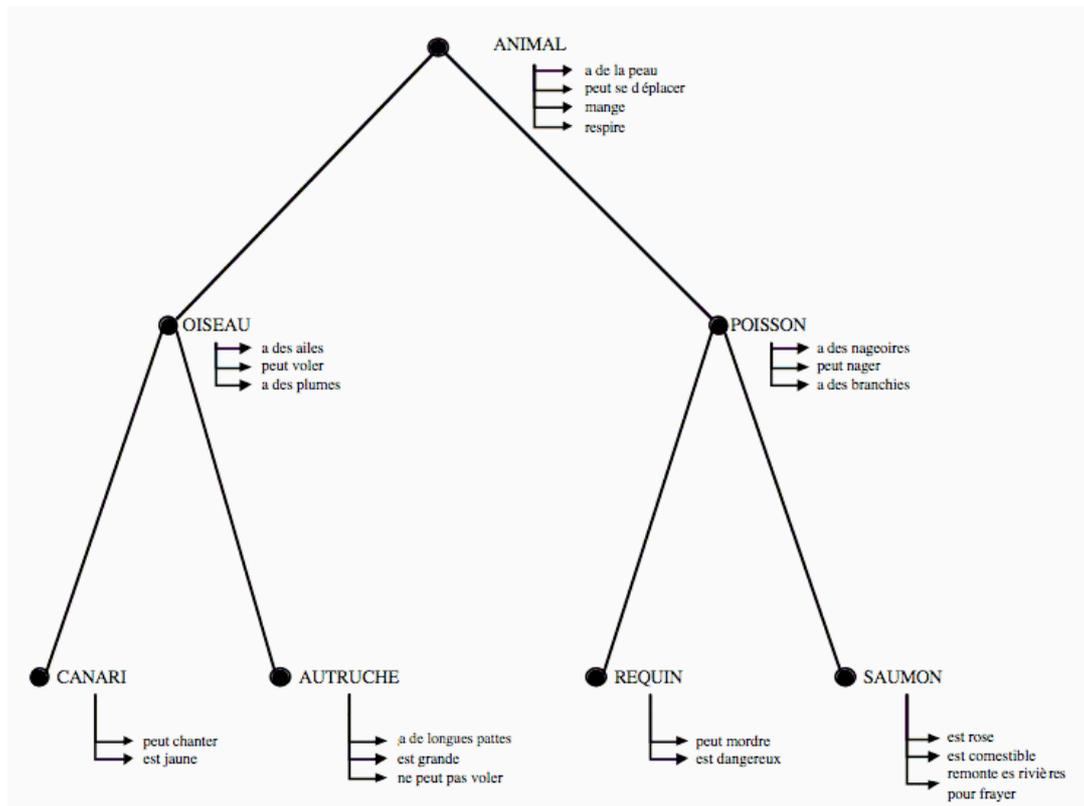


Figure 2. Organisation des connaissances sémantiques sous forme de réseau de concepts, proposée par Collins et Quillian (1969).

Plus tard, Collins s'associera à Elizabeth Loftus et modifiera le modèle en détaillant les processus d'activation et de diffusion de l'activation entre les noeuds. Cette fois-ci, la mémoire est un réseau d'unités interconnectées en fonction de la relation sémantique qui les unit. Les auteurs parlent d'une diffusion d'activation entre les concepts, proportionnelle à la force du lien sémantique (Collins & Loftus, 1975).

De façon plus générale

La plupart des autres modèles d'activation proposés par la suite, sont à l'image du modèle de Quillian. La mémoire est un ensemble de réseaux où les connaissances sémantiques sont conservées non plus sous forme de noeuds, mais sous forme de propositions (Anderson, 1983), de traits (Hoffman, 1982 ; Smith, Shoben, & Rips, 1974), de prototype (Rosch, 1978). Quel que soit le terme, il s'agit toujours de représentations abstraites dépendantes d'un processus d'activation. Les modèles partent donc tous de la même base architecturale en modifiant plus ou moins la nature du concept pour pouvoir rendre compte de

la diversité des observations expérimentales.

Ceci dit, il est intéressant de noter que tous les modèles ne sont pas focalisés sur la découverte d'hypothétiques structures mnésiques ni sur l'aspect amodal des connaissances sémantiques. Les recherches de Craik et Lockhart s'inscrivent en effet dans une approche radicalement différente de la mémoire, précurseur des observations actuelles que nous évoquerons dans le chapitre 2.

1.3. La profondeur de traitement d'une information : un autre courant

Le travail des professeurs Fergus Craik et Robert Lockhart au début des années 70 offre donc un regard totalement différent et plus ou moins précurseur des observations scientifiques ultérieures. Ils mettent en évidence l'impact du type de traitement réalisé sur une information, par rapport à sa mémorisation. Les connaissances en mémoire ne sont donc pas toutes des concepts de nature équivalente ayant subi au préalable un processus d'abstraction. Les connaissances deviennent nuancées par les propriétés qu'elles acquièrent au moment de leur encodage. Cette façon d'envisager le fonctionnement mnésique permettra par la suite d'imaginer plus facilement le lien entre les systèmes sensori-moteurs sollicités au moment de l'encodage et les propriétés sensorielles et motrices composant les connaissances en mémoire. Craik et Lockhart accordent par ailleurs beaucoup d'importance à l'activité du sujet au moment de l'encodage et en particulier à ses intentions et attentes. L'influence du contexte et l'état émotionnel de l'individu apparaissent justement aujourd'hui comme des caractéristiques intrinsèques des connaissances mentales (Craik & Lockhart, 1972).

Ainsi, la théorie de ces auteurs appelée « théorie des niveaux de traitement » suggère que les propriétés des connaissances en mémoire dépendent de la nature de l'activité réalisée au moment de l'encodage sur les informations traitées. Ils considèrent que la profondeur de traitement d'un stimulus varie sur un continuum d'opérations d'encodage, allant d'une simple analyse physique du stimulus à une analyse sémantique très complexe. Les traitements superficiels fourniraient des traces faiblement récupérables alors que des traitements plus profonds seraient à l'origine de traces plus élaborées et donc mieux mémorisées. Dans l'expérience de 1975, les auteurs font varier la profondeur d'encodage pour différents mots grâce à des questions impliquant un traitement superficiel (concernant la structure des mots),

intermédiaire (concernant leur phonologie) ou profond (sémantique). Les trois niveaux sont illustrés dans la figure 3 ; les traitements « *Category* » et « *Sentence* » appartiennent tous deux au niveau sémantique. Lorsque l'on demande aux sujets pendant une phase test de juger si les mots d'une nouvelle liste sont anciens ou nouveaux, on observe un lien entre le travail cognitif réalisé durant la tâche initiale de mémorisation implicite et l'efficacité des réponses (en terme de temps de réponse et de taux de bonnes réponses). Le processus d'élaboration proposé par la suite pour améliorer le modèle mettra en évidence que même le traitement sémantique à l'encodage peut varier qualitativement (Craik & Tulving, 1975). Selon les auteurs, ce n'est pas seulement la présence ou l'absence d'un encodage profond mais la richesse de l'encodage qui déterminera la nature de la trace mnésique.

Level of processing	Question	Answer	
		Yes	No
Structural	Is the word in capital letters?	TABLE	table
Phonemic	Does the word rhyme with WEIGHT?	crate	MARKET
Category	Is the word a type of fish?	SHARK	heaven
Sentence	Would the word fit the sentence: "He met a_____in the street"?	FRIEND	cloud

Figure 3. Exemples de phrases utilisées dans l'expérience de Craik et Tulving (1975), nécessitant des niveaux de profondeur de traitement différents.

Finalemment

Les travaux de Craik et Lockhart soulignent donc l'importance de la nature des traitements réalisés sur une information par rapport à sa mémorisation. Il est intéressant de noter que par ailleurs à la même époque, des conceptions fonctionnalistes émergent et mettent en avant l'importance de la similarité des traitements réalisés à l'encodage et au moment de la récupération (Kolers, 1973). Pour Kolers, la récupération en mémoire d'une information devrait dépendre de la correspondance entre les traitements cognitifs effectués lors de son encodage et ceux réalisés lors de sa récupération. La diversité des traitements à l'origine de la diversité des connaissances mentales s'oppose donc à une conception multi-systèmes de stockage de concepts de natures équivalentes. Avec ces approches, il semble en effet que chaque nouvelle information issue des expériences d'un individu soit encodée d'une façon spécifique et que sa réactivation résulte d'un processus actif de reconstruction.

Il est important d'ajouter que cette façon d'envisager les connaissances en mémoire sera également au coeur des modèles épisodiques basés sur la notion d'exemplaires. Pour

Medin et Schaffer par exemple (1978), la mémoire contient des informations contextualisées et spécifiques, modulées par le degré d'attention accordé à tel ou tel attribut. Il s'agira de l'accumulation d'exemplaires individuels se différenciant par des configurations particulières d'attributs. Cette vision « épisodique » des connaissances en mémoire va peu à peu donner naissance aux modèles dits à traces multiples.

1.4. Émergence des modèles à traces multiples

Malgré tout, l'approche multi-systèmes de la mémoire est restée pendant longtemps la principale description scientifique du fonctionnement mnésique. Elle a permis de faire un inventaire intéressant des différentes formes de connaissances en s'appuyant sur des critères cependant parfois trop dichotomiques. Une connaissance en mémoire n'est pas sémantique ou épisodique. Elle n'est pas purement abstraite ou purement concrète. Les propriétés accordées aux connaissances ne peuvent pas dans ce contexte, représenter toute la diversité et toute la finesse du fonctionnement cognitif qui, de plus, sont spécifiques à chaque individu.

Les nuances possibles apportées par la théorie de la profondeur de traitement ainsi que les premiers modèles épisodiques amorcent donc une vision beaucoup plus flexible de la mémoire. Les modèles qui font suite dans les années 80 et 90 considèrent toutes les connaissances en mémoire comme l'accumulation de traces spécifiques : la spécificité sera définie en termes de propriétés sensorielles, contextuelles, émotionnelles offrant une gamme indénombrable de nuances.

1.4.1. Critiques des modèles multi-systèmes

Mais qu'en est-il alors des effets de récence et de primauté et des dissociations fonctionnelles? Comment interpréter toutes ces observations scientifiques qui semblaient valider pour une grande part l'existence de plusieurs types de mémoires ?

Les partisans des modèles à traces multiples ont répondu à ces questions en soulignant tour à tour les contradictions et les limites de tels arguments.

Un problème majeur a concerné par exemple le fait que des dissociations fonctionnelles ont été observées entre des tâches de rappel et de reconnaissance impliquant normalement un même système mnésique (Blaxon, 1989 ; Tiberghien, 1997 ; Tulving &

Thomson, 1973). La seule possibilité pour les modèles structuraux aurait été de supposer l'existence de deux nouveaux sous-systèmes au sein de la mémoire épisodique. L'évolution du modèle de Tulving en est un autre exemple puisque, afin d'expliquer les amorçages perceptifs, il crée un système, le SRP, responsable des représentations perceptives. Ainsi, une alternative pour chaque nouvelle dissociation observée est la multiplication des systèmes de mémoire. Cependant, ces dissociations peuvent tout aussi bien être expliquées par l'intervention de différents processus de traitements au sein d'un système de mémoire unique. Des tâches mêmes très similaires seraient réalisées par un certain nombre de processus cognitifs communs mais également différents.

En ce qui concerne les effets de récence et de primauté participant à la distinction d'une mémoire à court terme et d'une mémoire à long terme, le même type de critique a été invoqué. Baddeley et Hitch (1977) montrent par exemple qu'en dépit d'une épreuve d'empan à effectuer en parallèle à un rappel libre, les deux effets sont tout de même obtenus. Par ailleurs, il est difficile pour les modèles multi-systèmes d'expliquer les différences de performances mnésiques à court terme selon que la modalité du matériel utilisé est auditive ou visuelle.

Une autre critique concerne les tests utilisés pour distinguer deux systèmes de mémoire et en particulier le test d'indépendance stochastique. Ce dernier considère l'absence de corrélation entre les performances réalisées sur un même matériel dans deux tâches distinctes de mémoire, comme une preuve de l'existence de deux systèmes mnésiques différents. Or certains auteurs qui utilisent deux tâches successives, montrent qu'elles peuvent se contaminer. Si la tâche qui concerne les connaissances épisodiques précède la tâche correspondant aux connaissances sémantiques, une indépendance entre les systèmes est obtenue. Mais quand les tâches sont inversées, une corrélation peut être observée (Jacoby & Witherspoon, 1982).

Enfin, les lacunes théoriques des modèles s'accroissent peu à peu. Les auteurs peinent à expliquer le processus de conceptualisation par exemple, pourtant à l'origine pour de nombreux auteurs, des connaissances sémantiques. Ce processus censé décontextualiser les informations encodées par le cerveau n'est pratiquement jamais décrit dans les articles.

Un changement radical s'opère donc dès les années 80 dans la conceptualisation de la mémoire. Les arguments qui permettaient d'envisager la mémoire comme un ensemble de

sous-systèmes sont remis en cause.

1.4.2. Les modèles à traces multiples

Pour les nouveaux modèles, la mémoire ne correspond plus à un ensemble de sous-systèmes mnésiques indépendants, mais résulte d'un système unique où chaque expérience est enregistrée sous forme de trace. Un point important dans ce contexte, est que les connaissances dites sémantiques, pensées comme décontextualisées et amodales par les modèles multi-systèmes, ne se distinguent plus à proprement parler des connaissances épisodiques. L'économie de différentes mémoires pour différents types de connaissances, se traduit par l'existence de mécanismes communs nécessaires à l'encodage des informations. Ces mécanismes codent chaque dimension sensorielle, motrice, émotionnelle, etc., qui définissent l'information dans son contexte. Pour Bruce Whittlesea (1989), la nature de la trace dépend essentiellement des traitements accomplis sur le stimulus. Elle est fonction des attentes de l'individu et de l'attention qu'il porte plus particulièrement sur telle ou telle dimension. Pour un même stimulus, différentes situations d'encodage peuvent donc avoir lieu et permettre la construction de différentes traces mnésiques (cette approche est semblable à celle de Craik et Lockhart qui attachaient beaucoup d'importance à l'activité et à l'humeur du sujet).

Cette manière d'envisager la mémoire va se traduire par un certain nombre de modélisations mathématiques dans lesquelles la réactivation d'une information en mémoire ne reposerait pas sur la récupération mais sur la reconstruction des multiples traces en lien avec l'information. Outre les travaux de Whittlesea (modèle VISA), l'une des modélisations les plus connues est sans doute celle du professeur Douglas Hintzman.

Le modèle MINERVA 2. Modélisation épisodique à trace unique

En 1986, Hintzman formalise mathématiquement l'organisation et les mécanismes de construction et de réactivation des traces en mémoire. Pour lui, chaque traitement de l'information est représenté en mémoire dans une trace indépendante, par une configuration de propriétés primitives. Les propriétés primitives pouvant être des traits émotionnels, sensoriels, relatifs à la spatialité...

Dans sa modélisation, la mémoire est représentée par une matrice à deux dimensions.

Chaque ligne correspond à une trace mnésique et chaque colonne à un vecteur représentant une dimension primitive potentiellement constitutive de la trace. Les vecteurs peuvent avoir différentes valeurs en fonction de la présence, de l'absence et de la pertinence de la primitive. Lorsqu'un indice de récupération (la sonde) est présenté à la matrice, il active les traces similaires. Chaque trace i est activée en fonction de sa similarité (nombre de primitives communes) avec la sonde et donne un niveau d'activation $A(i)$. Dans une seconde étape, l'activation initiée par la sonde est distribuée dans chaque primitive des traces activées, multipliant leurs valeurs (voir la figure 4). De cette activation en résulte ce que Hintzman appelle l'écho, qui correspond à la somme des traces pondérées par leurs valeurs d'activation $A(i)$.

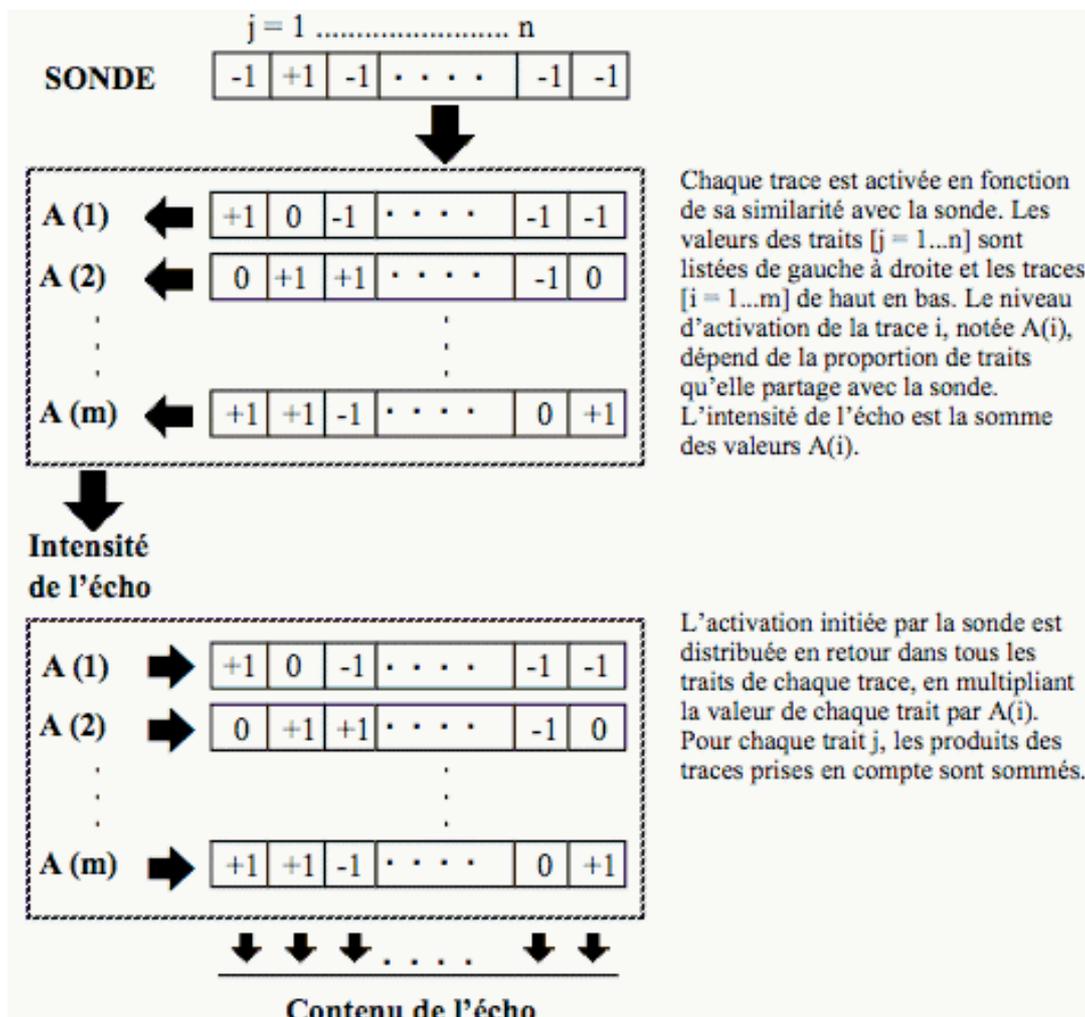


Figure 4. Schéma illustrant le modèle MINERVA II d'Hintzman (1986).

Un des intérêt majeur de MINERVA 2 est qu'en plus de rendre compte de

l'émergence de connaissances épisodiques, ce modèle est capable d'expliquer la nature sémantique de certaines connaissances. Lorsqu'un épisode active un grand nombre de traces dans la matrice, l'écho qui en résulte sera constitué des primitives communes aux différentes traces et les traits discordants auront tendance à s'annuler (Rousset, 2000).

1.4.3. Pour résumer

Ce type de système « ne fonctionne pas à partir d'unité sémantique mais à partir de stimulations élémentaires...Il ne permet pas l'accès à des représentations stockées mais permet de recréer des configurations de stimulations correspondant à une situation vécue » (Rousset, 2000, p.31). La mémoire devient unique et à long terme, enregistrant toutes nos expériences à travers une accumulation de traces. La récupération de toute forme de connaissance à partir d'un objet résulte de l'activation de multiples traces. La somme de toutes ces activations donne lieu à l'émergence de plus en plus complexe d'une connaissance. Un souvenir correspondra donc à un état très proche d'une trace antérieure, et une connaissance plus abstraite à l'activation d'un grand nombre de traces en lien avec l'épisode actuel (voir également Logan, 1988 ; Whittlesea, 1987, 1989).

1.5. Limites des modèles à traces multiples et préoccupations actuelles

Certains points restent cependant encore critiquables. Comme nous l'avons déjà dit, Hintzman suppose que les informations sont représentées en mémoire sous formes de traces indépendantes, séparées. Mais peut-on réellement envisager l'existence de traces mnésiques spécifiques à chaque expérience et spatialement localisable? D'un point de vue biologique, ces traces sont stockées dans des réseaux neuronaux et il semble logique qu'un même réseau de neurones serve au codage de multiples traces. De plus, des expériences en psychologie cognitive montrent que les traces d'un événement reflètent à la fois le codage de cet événement mais aussi le contenu de la réactivation des traces déjà présentes en mémoire. Il s'agit d'une contamination des traces nouvelles par les anciennes qui met à mal leur supposée indépendance (pour une discussion, voir Damas, Versace, & Mille, 2001). Au-delà de la question de la compatibilité avec la réalité biologique du cerveau, ce modèle et plus

généralement les modèles à traces multiples ne décrivent pas non plus réellement la nature des dimensions constitutives des traces et leur processus d'activation. Les auteurs proposent une simple « co-occurrence » des primitives sans pour autant aborder les processus qui sous-tendent les intégrations entre les différents éléments activés, processus pourtant nécessairement en lien avec la dynamique de l'émergence des connaissances.

Globalement, une véritable architecture de la mémoire reste à proposer, qui rendrait compte de ces divers processus au sein d'une implémentation biologiquement plausible. Déjà certains modèles connexionnistes proposent une alternative en postulant que l'information n'est pas localisée précisément mais répartie sur l'ensemble du cerveau, au sein de réseaux de neurones. Les connaissances sont la résultante de l'interaction entre les circonstances de l'encodage et les conditions de la récupération. Ainsi, le sens n'est pas stocké mais émerge d'une activation simultanée des informations, distribuées sur l'ensemble des connexions du réseau (McClelland & Rumelhart, 1986 ; Whittlesea, 1989).

Enfin, les nouveaux modèles vont avoir pour objectifs de répondre à l'ensemble de ces contraintes, en précisant le contenu des traces ainsi que les processus à la base de la dynamique d'émergence des connaissances.

Chapitre 2

Des représentations mentales sensori-motrices

Outre les apports théoriques des modèles à traces multiples, de nouvelles observations se multiplient peu à peu en neurosciences. Le développement des techniques d'imagerie offre à partir des années 90 un regard précieux sur le fonctionnement neuronal, qui met en évidence l'importance des aires primaires dans de nombreuses activités cognitives. La première partie de ce chapitre sera consacrée aux activités cognitives impliquant les aires sensori-motrices.

Parallèlement, ces observations coïncident avec l'idée en psychologie cognitive que non seulement l'encodage mais également la réactivation des traces en mémoire dépendent directement des zones sensorielles et motrices. Les nouveaux modèles du fonctionnement mnésique vont donc susciter la construction de nouvelles expériences comportementales en fonction de cette perspective distribuée et multisensorielle ; ces expériences seront présentées dans la seconde partie de ce chapitre.

2.1. Les observations issues des neurosciences

Pendant longtemps, les zones primaires du cerveau ont été opposées aux zones associatives. Une distinction était faite entre des traitements de bas niveau qui permettaient uniquement la récupération des informations issues de l'environnement et des traitements de haut niveau, responsables de la conceptualisation et de la manipulation de ces informations. Or les techniques d'imagerie fonctionnelle ont apporté de nouvelles observations qui ont rendu le fonctionnement des aires cérébrales beaucoup moins dichotomique. Les aires primaires apparaissent en effet impliquées dans des traitements cognitifs plus larges et plus complexes que la simple exécution motrice ou analyse perceptive. Les trois principaux exemples que nous allons développer concernent l'activité des zones motrices dans le phénomène miroir, l'activité des aires sensori-motrices dans l'émergence des connaissances et

durant l'imagerie mentale.

Les zones motrices activées durant la compréhension du comportement d'autrui : le phénomène miroir

L'un des traitements cognitifs le plus remarquable impliquant les zones motrices concerne sans aucun doute le « phénomène miroir ». L'équipe italienne de Giacomo Rizzolatti a en effet mis en évidence l'activité de ces zones cérébrales durant l'observation passive d'un acte moteur (Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti, 1996; Haris et al., 1998). Récemment, de nombreuses expériences ont affiné la compréhension de ce phénomène.

Par exemple, Buccino et al. (2001) montrent que les patterns d'activation des neurones miroirs varient en fonction du membre du corps qui exécute l'action observée. Le « phénomène miroir » n'est donc pas restreint aux actions manuelles, mais peut être spécifique d'un mouvement de la bouche, de la main ou du pied. L'activation cérébrale allant de la partie ventrale à la partie dorsale du cortex pré-moteur selon le membre observé, les auteurs mettent en évidence une sorte d'organisation somatotopique de ces patterns.

Par ailleurs, Gazzola et al. (2007) vont plus loin en montrant que cette somatotopie est soumise au phénomène général de plasticité. En utilisant l'IRM fonctionnelle, ils ont mesuré l'activité du cerveau de deux patients aphasiques, nés sans mains ni bras. Il faut noter que ces personnes réalisent la plupart des tâches motrices quotidiennes à l'aide de leur bouche et de leurs pieds, qui remplacent en quelque sorte leurs mains. Tandis qu'ils voyaient sur un écran des individus réaliser des actions manuelles, l'IRM a montré dans le cerveau des sujets, une activation spontanée des régions impliquées dans le contrôle de leurs pieds.

Enfin, une intéressante propriété des patterns d'activation des neurones miroirs concerne la « spécificité au contexte ». Ces patterns sont en effet modulés par le contexte dans lequel est réalisé le geste observé. Lacoboni et al. (2005) montrent que l'observation d'un geste de préhension réalisé dans un contexte spécifique (prendre un verre sur une table de petit déjeuner), provoque chez les sujets une plus grande activité des neurones miroirs que le même geste réalisé en l'absence de contexte. La figure 5 illustre les conditions de l'expérience. L'activité neuronale des sujets est plus importante dans la condition « intention » que dans la condition « action ». De plus, si pour un même geste le contexte varie : « *drinking* » (début du petit-déjeuner) versus « *cleaning* » (après le petit-déjeuner), alors le pattern d'activation des neurones miroirs varie aussi. Le contexte indiquerait ici

l'intention associée au geste (prendre le verre pour boire versus prendre le verre pour débarrasser). Pour les auteurs, la modulation de l'activité de ces neurones en fonction du contexte traduit le fait que ces neurones sous-tendent la cognition motrice mais pas seulement : ils constituent aussi un système neuronal qui coderait, automatiquement, les intentions d'autrui. Pour certains auteurs, les neurones miroirs contribueraient à la compréhension psychologique d'autrui, au *mindreading*, puisqu'ils permettent d'anticiper les plus probables résultats auxquels les gestes observés devraient aboutir (Gallese & Goldman, 1998 ; Gallese, 2003).

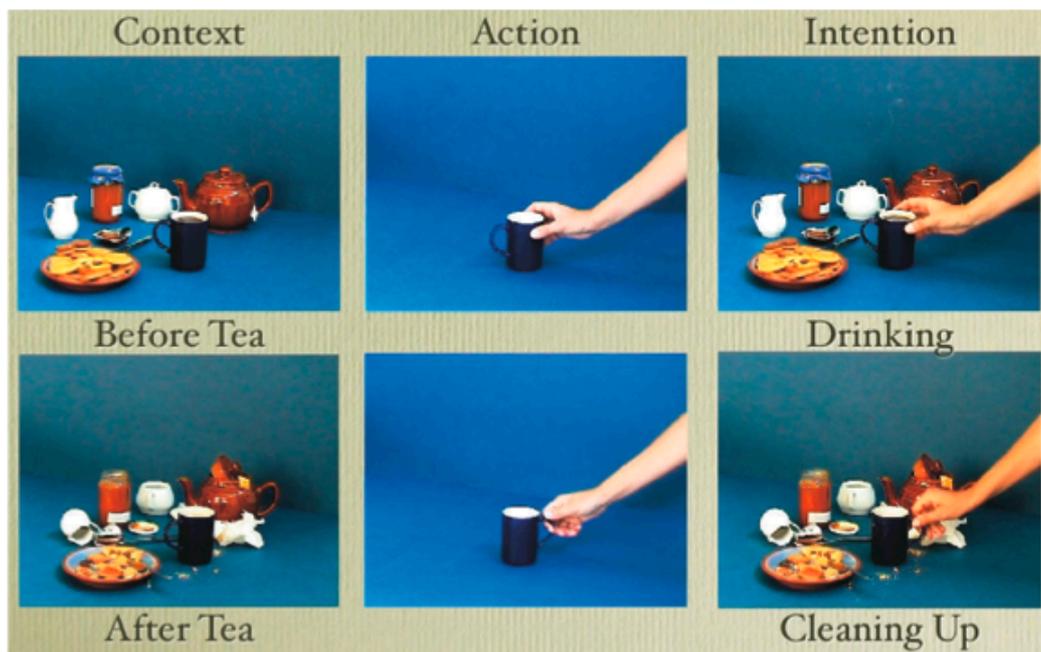


Figure 5. Exemples des différentes conditions expérimentales utilisées dans l'expérience de Lacoboni et al. (2005).

Pour résumer, ces trois expériences montrent que le cortex prémoteur peut non seulement être considéré comme un agent de l'exécution motrice mais également comme une région cérébrale engagée automatiquement dans l'analyse du comportement d'autrui : cette analyse semble fine (somatotopique), plastique et adaptée au contexte. Dans une perspective cognitive, toutes ces propriétés permettent une sorte d'imitation intérieure des actions observées afin d'en comprendre rapidement les éventuels aboutissements.

Les zones sensorielles et motrices activées pendant l'émergence d'une connaissance

L'implication des aires primaires a également été très étudiée dans le phénomène d'émergence des connaissances. Les travaux les plus connus sont sans doute ceux d'Alex Martin et collaborateurs. Dans plusieurs de leurs expériences, ils mettent en évidence une activité des zones motrices ou sensorielles lorsqu'un individu perçoit certaines catégories d'objets (Martin, Haxby, Lalonde, Wiggs, & Ungerleider, 1995 ; Martin, Ungerleider, & Haxby, 2000 ; Martin & Chao, 2001). Par exemple dans une étude PET très célèbre, Martin, Wiggs, Ungerleider et Haxby (1996) montrent que l'identification de dessins d'animaux ou d'objets est associée à une activation de plusieurs aires incluant les aires associées à la perception visuelle pour les premiers et le cortex prémoteur pour les seconds (voir aussi Tyler et al., 2003).

De la même façon, plusieurs travaux montrent une activation des aires visuelles, auditives, olfactives, gustatives ou même émotionnelles alors qu'aucune stimulation réelle n'est présente dans la modalité en question.

Chez l'animal par exemple, une expérience en TEP met en évidence une activation dans les aires visuelles d'une population de singes rhésus ainsi que dans les régions impliquées dans l'émotion lorsqu'ils entendent des vocalisations enregistrées de leurs congénères. Pour les chercheurs, le fait d'entendre d'autres singes de leur espèce activerait chez eux « une représentation mentale multisensorielle », organisée à partir des informations auditives mais également à partir de la réactivation d'informations visuelles et émotionnelles (Gil-da-Costa et al., 2004).

En ce qui concerne les travaux effectués chez l'homme, une étude en IRM fonctionnelle réalisée par Wheeler, Petersen et Buckner (2000) montre l'implication des aires visuelles et auditives dans une tâche de rappel. Dans leur expérience, les sujets apprenaient un ensemble de stimuli composés de couples image/mot ou son/mot. Les participants devaient ensuite, après avoir vu seulement le mot, rappeler la modalité sensorielle qui lui était rattachée. Les données recueillies indiquent une activation de l'aire visuelle ou auditive au moment du rappel selon que le mot à traiter était présenté avec une image ou un son.

De façon similaire, Gottfried, Smith, Rugg et Dolan (2004) ont présenté à des sujets des images d'objets associées arbitrairement à des odeurs. Dans une épreuve ultérieure de

reconnaissance, les sujets voyaient des images sans odeurs, anciennes ou nouvelles. Les résultats IRM montrent que les images anciennes sont associées à une activation de l'aire olfactive primaire.

Enfin, d'autres expériences présentent des résultats similaires mais sans phase préalable d'apprentissage. Par exemple, durant une tâche de vérification de propriétés de concepts, Kan, Barsalou, Solomon, Minor, et Thompson-Schill (2003) montrent que les aires visuelles sont impliquées pendant des traitements sémantiques alors qu'aucune consigne d'imagerie mentale n'est donnée.

Simmons, Martin et Barsalou (2005) s'intéressent quant à eux aux aires gustatives. Dans leur expérience, les sujets voyaient des images d'immeuble ou de nourriture appétissante (pour une population américaine). La tâche des participants était de dire pour chaque image si elle était identique ou différente de la précédente (la figure 6 illustre les différents types d'images présentées aux sujets). Les analyses en IRM fonctionnelle montrent une activation des aires gustatives uniquement en présence d'une image de nourriture. Ainsi, le simple fait de voir un aliment (comparativement à des immeubles) peut activer les régions cérébrales généralement sollicitées quand on le goûte réellement.



Figure 6. Exemple d'images utilisées dans l'expérience de Simmons et al. (2005). Seules les images de nourriture sont corrélées avec une activité des aires gustatives.

L'ensemble de ces expériences tend à montrer que les connaissances qui émergent en mémoire pour traiter un stimulus nécessitent l'activité des aires sensorielles et motrices. Cependant, ces aires ne sont pas toutes stimulées directement par le stimulus. Les modèles de la mémoire vont alors parler de traces mnésiques multimodales en référence aux multiples composants sensoriels et moteurs activés au moment de l'émergence de la trace. Ils parleront

également d'une diffusion d'activations multisensorielles entre composants, expliquant ainsi l'activation de ceux non stimulés directement par l'environnement (le chapitre 3 présentera ces modèles).

Les zones sensorielles et motrices activées pendant l'imagerie mentale

Dès les années 70, l'imagerie mentale est au coeur d'une littérature importante. Les auteurs utilisent la chronométrie mentale pour montrer que le temps nécessaire pour réaliser une tâche est sensiblement le même que celui nécessaire pour l'imaginer (Frak, Paulignan, & Jeannerod, 2001 ; Kosslyn, Ball, & Reiser, 1978 ; Sheppard & Feng, 1972). De la même façon, les études montrent qu'imaginer une action a une incidence réelle sur le rythme cardiaque et l'activité respiratoire des sujets (Decety, Jeannerod, Germain, & Pastène, 1991; Wang & Morgan, 1992). Ces résultats sont interprétés en termes de similarité de processus impliqués entre les activités perceptives et motrices et l'imagerie mentale.

De nos jours, les observations en imagerie fonctionnelle confirment cette similitude en montrant que l'activation des zones cérébrales primaires nécessaires à la perception ou à l'action est également observée pendant les tâches d'imagerie mentale. S'imaginer réaliser un geste, entendre une mélodie ou sentir une odeur, sont des activités cognitives qui nécessitent réciproquement l'implication des aires motrices, auditives, olfactives. Une équipe française (Ducreux, Marsot-Dupuch, Lasjaunias, Oppenheim, & Fredy, 2003) montre par exemple que lors d'une remémoration active par imagerie mentale auditive de fragments musicaux, une activation des aires auditives primaires et secondaires est observée chez les sujets.

Lotze et al. (1999) s'intéressent pour leur part à l'imagerie motrice. En demandant à des sujets d'imaginer ou d'exécuter des mouvements, les résultats montrent une similitude dans les substrats neuronaux activés. Les aires motrices et prémotrices s'activent quelle que soit la tâche. Cependant, ils observent également une activation différenciée du cervelet qu'ils expliquent par l'implication du cervelet postérieur dans l'inhibition de l'exécution du mouvement pendant l'imagination de celui-ci (voir aussi Gerardin et al., 2000).

Dans le domaine de l'olfaction, Bensafi, Sobel et Khan (2007) enregistrent l'activité cérébrale de sujets sentant ou s'imaginant sentir des odeurs agréables ou désagréables. Les auteurs font apparaître non seulement une activité cérébrale des aires olfactives dans chacune des tâches mais également des patterns neuronaux spécifiques à la valeur hédonique de l'odeur, même pendant l'imagerie mentale.

Enfin, une expérience avec une population « insolite » montre qu'une altération du système moteur a une incidence sur les capacités d'imagerie motrice (Papaxanthis, Pozzo, Kaspirinski, & Berthoz, 2003). Les auteurs ont étudié cinq cosmonautes qui réalisaient des mouvements ou imaginaient faire ces mouvements, avant un voyage dans l'espace ainsi que deux et six jours après leur retour. Les résultats indiquent des durées similaires entre la réalisation des mouvements et l'imagerie mentale de ces mouvements, quel que soit le jour du test. Cependant, une augmentation significative des durées est observée le deuxième jour pour redevenir normale le sixième jour. Selon les auteurs, l'imagerie motrice réplique avec précision les modifications neuronales qui interviennent pendant la période de réadaptation du système moteur à la gravité terrestre qui a lieu pendant les deux premiers jours. Pour finir, il est intéressant de noter que d'un point de vue pathologique, la corrélation est également observée entre le handicap moteur d'un membre chez des patients hémiplegiques et le ralentissement de la manipulation mentale qu'ils peuvent faire de ce membre (Decety & Boisson, 1990).

Finalemment...

L'ensemble de ces travaux nous permet de conclure que l'activité des aires primaires du cerveau n'est absolument pas restreinte à des processus cognitifs dits de bas niveau. Il semble au contraire que les connaissances qui émergent lorsque nous devons traiter une situation, nécessitent le fonctionnement automatique de ces zones cérébrales. Que nous observions, que nous imaginions ou que nous réalisions, des patterns neuronaux communs et distribués sont sollicités pour permettre ces différentes activités cognitives. Les modèles en psychologie cognitive vont parler de composants ou de dimensions multisensorielles, constitutifs des traces mnésiques et tributaires de l'activation des aires sensori-motrices. La mémoire est unique et les connaissances sémantiques ne sont plus du tout abstraites mais bien composées d'éléments visuel, auditif, moteur...

Déjà en 1989 Antonio Damasio propose un cadre théorique de l'architecture de la mémoire, reposant sur cette distributivité des patterns d'activation. Selon lui, toute expérience perceptive ou mentale implique une activation neuronale simultanée dans de multiples régions du cerveau et entre autre dans les aires sensori-motrices. L'intégration des différents aspects d'une expérience dépend d'une synchronisation des activations dans ces zones. Ainsi, les propriétés des objets sollicitées dans nos représentations mentales sont tributaires des zones

nécessaires à la perception et à la motricité.

Pour finir, Damasio propose que les liens ou arrangements spatio-temporels des propriétés, soient stockés dans des ensembles neuronaux distincts appelés zones de convergence. La réactivation synchronisée des différents composants des expériences nécessite l'activation de ces zones (Damasio, 1989). Aujourd'hui les neurosciences conduisent à parler d'intégration multimodale des différents composants d'une trace mnésique. Ce processus indispensable à l'émergence d'une connaissance unifiée et cohérente est cependant peu abordé par la psychologie cognitive. Le chapitre 3 de cette thèse sera entre autre consacré à ce processus ainsi que notre étude expérimentale.

2.2. Les observations issues de la psychologie cognitive

La vision unitaire et distribuée de la mémoire balaye donc les distinctions dichotomiques jusqu'ici prédominantes et laisse place à de nouveaux paradigmes expérimentaux. Il importe pour les auteurs de mettre en évidence les propriétés multisensorielles et motrices des connaissances parallèlement suggérées par les observations en neuroscience.

2.2.1. Les propriétés sensorielles des représentations mentales

Encore une fois, le concept est au coeur des recherches. Cependant les hypothèses ont radicalement changé : dorénavant les connaissances conceptuelles ne sont plus considérées comme des entités abstraites mais au contraire comme des traces multisensorielles. L'enjeu des nouvelles expériences est donc de montrer que la représentation mentale construite pour réaliser un traitement sémantique contient toujours un caractère perceptif.

Les principaux travaux portant sur la nature perceptive des concepts concernent la modalité visuelle. Quel que soit le paradigme ou la tâche utilisés, les expériences présentées ci-dessous montrent tour à tour que la représentation conceptuelle comporte une forme, une taille, une position spatiale. Cette représentation s'active automatiquement et peut s'inscrire plus spécifiquement dans une modalité sensorielle particulière. Ainsi, il semblerait que les représentations de nature mnésique ne se différencient pas vraiment des représentations considérées habituellement comme purement sensorielles.

La représentation conceptuelle est associée à une forme spécifique

Rolf Zwaan et Richard Yaxley (2004) s'intéressent par exemple aux informations perceptives activées durant le traitement sémantique d'un mot évoquant un objet. Dans leur expérience, les sujets doivent juger si des couples de mots sont sémantiquement reliés ou non. Les résultats indiquent que rejeter deux mots évoquant des objets de formes similaires nécessite plus de temps que le rejet de mots faisant référence à des objets de formes différentes. Pour les auteurs, la forme des objets est une propriété indissociable des représentations mentales élaborées pendant les traitements sémantiques.

De la même façon, Karen Solomon et Lawrence Barsalou (2001) étudient la simulation mentale nécessaire pour réaliser une tâche de vérification de propriétés associées à des concepts. Durant les essais, une même propriété peut être répétée plusieurs fois pour différents concepts. Par exemple, les sujets doivent décider si la propriété « crinière » appartient au concept « poney » puis quelques essais plus tard au concept « lion » ou bien encore au concept « cheval ». L'analyse des temps de réponse montre que le premier essai facilite la vérification ultérieure de « crinière-cheval » mais pas de « crinière-lion ». Pour les auteurs, ces résultats indiquent que la représentation mentale construite dans le premier essai sera visuellement très spécifique de l'animal. Elle ne pourra avoir un effet facilitateur que pour une représentation mentale ultérieure présentant une grande ressemblance visuelle. Ainsi, les résultats confirment les observations de Zwaan et Yaxley tout en indiquant que la facilitation observée par l'évocation de concepts de formes similaires nécessite cependant une grande précision.

La représentation conceptuelle est associée à une taille spécifique

Une autre propriété visuelle très explorée par les auteurs en psychologie cognitive concerne la représentation mentale de la taille des objets traités sémantiquement. Les outils sont variés et le matériel peut être des mots faisant référence à des objets ou directement les images de ces objets.

Par exemple, une équipe française (Ferrier, Staudt, Reilhac, Jiménez, & Brouillet, 2007) utilise une tâche de catégorisation sémantique associée à un paradigme d'amorçage. Dans cette expérience, les sujets jugent des dessins et les catégorisent en termes d'objets

manufacturés ou d'objets naturels. Les dessins sont tous de mêmes dimensions et chacun est précédé d'un dessin amorce également de même dimension (voir l'illustration figure 7). En revanche, les objets représentés par les dessins peuvent être de même taille dans la vie réelle ou de tailles différentes. Les résultats indiquent des temps de catégorisation plus rapides lorsque l'objet amorce (« pince à linge ») et l'objet cible (« poussin ») sont réellement de tailles similaires comparativement aux essais où les objets sont de tailles différentes. Il semble donc que la taille typique des objets soit simulée mentalement et de manière automatique, même pour une tâche qui ne concerne pas cette propriété.

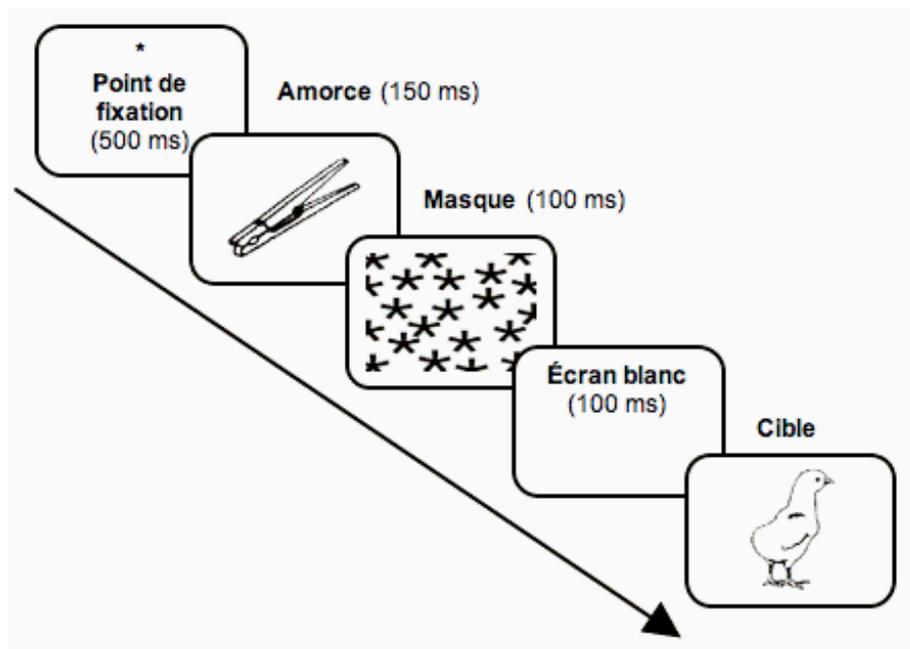


Figure 7. Paradigme d'amorçage à court terme utilisé dans l'expérience de Ferrier et al. (2007). Exemple d'un essai congruent.

Une expérience réalisée par Orly Rubinsten et Avishai Henik (2002) utilise un tout autre paradigme et montre elle aussi que la représentation mentale qui émerge lors d'un traitement conceptuel, contient automatiquement des dimensions sensorielles comme la taille des objets. Les auteurs utilisent un paradigme de type Stroop dans lequel les sujets doivent juger des paires de noms d'animaux et dire quel nom est physiquement écrit le plus grand. Les résultats montrent que la congruence entre la taille réelle de l'animal et la taille physique du mot facilite le jugement en diminuant les temps de réponse comparativement à une

incongruence. Selon les auteurs, le traitement de la taille d'un mot est mené en parallèle à une extraction des propriétés sensorielles du stimulus référent. De nouveau, les résultats indiquent que lorsqu'un mot est présenté, l'individu se représente automatiquement les dimensions sensorielles de l'objet, bien que la tâche ne le nécessite pas.

Enfin, d'autres expériences travaillant également sur les aspects visuels des représentations mentales utilisent en plus des consignes d'imagerie. Par exemple, dans une expérience de Solomon et Barsalou (2004), les sujets jugent des paires de mots de type propriété-concept. Ils doivent, soit en utilisant l'imagerie mentale, soit sans consigne particulière, déterminer si la propriété est une partie physique du concept (« est-ce que face est une propriété de gorille? »). Les résultats indiquent, que les temps de réponses sont proportionnels à la taille de la propriété concernée (plus la propriété est grande, plus le temps nécessaire pour se la représenter est important), et ce, quelle que soit la consigne. Pour les auteurs, les représentations mentales construites pour réaliser la tâche sont donc visuelles et très similaires quelle que soit la consigne.

De façon générale, ces expériences montrent que traiter sémantiquement un concept nécessite la construction automatique d'une simulation sensorielle. Cette représentation mentale présente de nombreuses similitudes avec les images mentales créées volontairement, elles-mêmes très similaires aux représentations mentales issues de la perception réelle (voir partie 2.1.3.). Pour les auteurs, c'est un matériel neuronal partiellement commun qui serait à l'origine de ces différentes activités cognitives.

La représentation conceptuelle contient une position particulière

Les expériences en psychologie cognitive s'intéressent également à la représentation mentale de la position des objets. Certaines d'entre elles concernent la position classique que les objets ont en général, d'autres les positions possibles qu'ils peuvent prendre.

Setic et Domijan (2007) ont ainsi étudié les propriétés spatiales des représentations mentales d'objets ou d'animaux. Pour cela ils ont proposé aux sujets des noms d'animaux généralement associés à une position haute ou basse de l'espace (« papillon » ou « souris » par exemple). Les mots pouvaient être disposés soit en haut, soit en bas de l'écran, et les sujets devaient décider s'il s'agissait d'un animal volant ou non. Une interaction significative a été obtenue entre la position spatiale du mot à l'écran et le type de mot. Les mots d'animaux

volants étaient plus vite jugés s'ils étaient présentés en haut plutôt qu'en bas. Le même profil de résultats a été obtenu avec des mots d'objets (« hélicoptère » ou « tapis » par exemple).

De la même façon, Zwaan et Yaxley (2003) ont proposé à des sujets de juger des paires de mots présentés simultanément mais disposés l'un au-dessus de l'autre. Les mots faisaient référence à des parties d'objets larges et les sujets devaient dire si les mots étaient reliés sémantiquement ou non. Les résultats indiquent que les temps de réponse sont diminués lorsque l'ordre vertical des mots respecte la relation spatiale réelle entre les objets référents (par exemple la relation sémantique entre « grenier-cave » sera plus rapidement traitée que celle de « pantalon-pull »).

Deux autres expériences réalisées par Zwaan et collaborateurs, concernent cette fois-ci différentes positions spatiales que des objets peuvent présenter. Dans une expérience de 2001 (Stanfield & Zwaan, 2001) les sujets lisaient une phrase qui décrivait un objet dans une certaine orientation (verticale ou horizontale) du type : « John met le stylo dans une tasse » ou « John met le stylo dans un tiroir ». Puis les participants voyaient une image et décidaient s'il s'agissait de l'objet précédemment évoqué ou pas. Les résultats indiquent que les sujets sont plus rapides à répondre si la position de l'objet sur l'image est la même que celle décrite dans la phrase, comparativement à une position différente.

Le même paradigme est utilisé dans une expérience de 2002 (Zwaan, Stanfield, & Yaxley, 2002), où cette fois-ci les objets (ou animaux) présentent différentes formes selon la position dans laquelle ils sont décrits (« un oeuf dans une boîte » ou « un oeuf dans une poêle »). Après avoir lu la phrase, un dessin apparaissait et les sujets décidaient s'il représentait l'objet précédemment décrit ou un autre objet (La figure 8 présente deux dessins d'un même objet mais de formes différentes). Les résultats obtenus sont similaires à l'expérience précédente. Les participants sont plus rapides pour réaliser la tâche lorsque la forme de l'objet dessiné est la même que celle évoquée dans la phrase plutôt qu'une forme différente.



Figure 8. Exemple sélectionné parmi les dessins utilisés dans l'expérience de Zwaan et al. (2002).

Pour résumer, la nature perceptive des concepts semble bel et bien simulée à travers les représentations mentales qui émergent pour réaliser telle ou telle tâche. Penser un objet, un animal, c'est le représenter mentalement de la même façon que nous le percevons réellement. Des observations réalisées sur les mouvements oculaires montrent que ces deux activités cognitives, si elles sont réalisées sur un même objet, impliquent des mouvements similaires des yeux, c'est-à-dire dans des directions identiques (Spivey, Tyler, Richardson, & Young, 2000). Il semblerait que nous balayions visuellement nos représentations mentales de la même façon que nous analysons les situations perceptives auxquelles elles font référence.

Il est intéressant de noter que cette analyse est par ailleurs essentiellement dirigée par les intentions de l'individu. Des expériences utilisant le *switching* intermodal montrent que la représentation mentale peut s'élaborer plus particulièrement dans une modalité sensorielle en fonction des objectifs, mais également des expériences antérieures du sujet.

La simulation mentale d'un concept dépend des expériences passées et des objectifs du sujet

Le *switching* intermodal est un outil intéressant qui permet de mieux comprendre certains aspects de l'émergence d'une connaissance. Il montre en effet que la représentation mentale d'un concept émerge préférentiellement dans une modalité sensorielle plutôt qu'une autre et que ce processus est fonction des expériences passées du sujet avec le concept.

À l'université de Rotterdam, Diane Pecher et collaborateurs utilisent régulièrement ce paradigme associé à des tâches de vérification de propriété conceptuelle. Dans un travail de 2004 (Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2004), ils s'intéressent à la façon dont est affectée la

représentation mentale d'un concept par une récente expérience avec ce même concept. Dans leur étude, les sujets vérifiaient un concept lors de deux essais espacés, pour des propriétés de même modalité ou de modalités différentes. Les résultats indiquent que la vérification d'une première propriété pour un concept rendra plus rapide la vérification ultérieure d'une autre propriété si elles sont de même modalité, que de modalité différente. En effet, les sujets sont plus efficaces pour vérifier la propriété visuelle « verte » pour le concept « pomme » si ce dernier a été présenté au préalable avec la propriété visuelle « brillante » plutôt que la propriété gustative « acide ». Il semble donc que pour un même concept, plusieurs simulations sensorielles soient possibles et que certaines puissent être facilitées par une première émergence similaire. (voir aussi Pecher, Zanolie, & Zeelenberg, 2007). L'émergence d'une représentation mentale semble donc se construire préférentiellement à partir d'une modalité sensorielle particulière qui varie en fonction des objectifs du sujet et de ses expériences précédentes.

D'un point de vue plus structural, il est possible d'envisager que deux représentations sensorielles d'un même concept puissent nécessiter l'activation de vastes patterns neuronaux communs si les modalités sensorielles sont les mêmes. Ce chevauchement expliquerait l'effet facilitateur d'une première activation.

D'autres expériences vont plus loin en montrant que quels que soient les concepts évoqués, la réactivation de modalités sensorielles similaires entre deux essais suffit à faciliter la tâche des sujets. Vérifier l'appartenance de la propriété « bruit » pour le concept « mixeur » après avoir vérifié la propriété « fraise » pour le concept « tarte » sera plus lent qu'après avoir vérifié « bruissement » pour « feuille » (Pecher, Zeelenberg, & Barsalou, 2003). Pour les auteurs, ces résultats montrent (indirectement) que la simulation mentale, même d'un concept, nécessite l'activité des zones sensorielles. De plus, ces résultats permettent de penser que recruter deux fois de suite les mêmes aires cérébrales peut être bénéfique en termes de temps de simulation mentale, alors qu'activer successivement des aires différentes ne facilitera pas cette élaboration.

Enfin, l'expérience de van Dantzig, Pecher, Zeelenberg et Barsalou (2008) insiste sur l'implication des aires sensorielles dans le traitement conceptuel. Les sujets réalisaient une tâche de détection perceptive (cible pouvant être une lumière, un son ou une vibration) en alternance avec une tâche de vérification de propriété conceptuelle. Les propriétés pouvaient également correspondre à l'une des trois modalités : visuelle, auditive ou somesthésique. Les résultats indiquent que les vérifications de propriété sont plus lentes lorsque les essais sont

précédés par une épreuve perceptive dans une modalité différente qu'une épreuve perceptive dans une modalité identique.

Pour conclure, les modèles actuels de la mémoire que nous présenterons dans le chapitre 3, s'inspirent de l'ensemble des expériences précédemment citées et des observations issues des neurosciences. L'une de leurs principales hypothèses concerne l'existence de systèmes neuronaux communs nécessaires à la fois à la perception et au traitement conceptuel. Pour Lawrence Barsalou et pour de nombreux auteurs, évoquer en mémoire une connaissance particulière nécessite entre autre la réactivation des aires qui ont été impliquées durant l'encodage de cette information. L'émergence d'une connaissance est donc la réactivation de différents composants sensoriels mais également moteurs. La partie suivante est consacrée plus spécifiquement aux expériences qui concernent les propriétés motrices des représentations mentales.

2.2.2. Les propriétés motrices des représentations mentales

Nous avons montré jusqu'à présent que l'élaboration mentale de connaissances en mémoire présentait un ensemble non négligeable de propriétés sensorielles. Les auteurs parlent de simulations mentales similaires à celles élaborées pendant les réels contacts avec les objets. La partie suivante va s'intéresser aux aspects moteurs de ces simulations. De nombreuses expériences nous montrent en effet qu'évoquer ou voir un objet active un ensemble de composants dits fonctionnels. Pour les auteurs, il s'agit de l'activation automatique des gestes d'utilisation c'est-à-dire la réactivation des interactions physiques usuellement impliquées entre l'individu et l'objet.

La représentation conceptuelle contient des composants moteurs

Arthur Glenberg et Michael Kaschak s'interrogent sur la façon dont les individus se représentent mentalement un évènement décrit afin d'en comprendre le sens. Pour eux comme pour les auteurs cités dans la partie précédente, la compréhension de phrases résulte de la construction d'une simulation sensori-motrice des évènements. De plus, si la phrase décrit une action, alors la simulation mentale nécessitera plus particulièrement une activité des aires motrices (voir la section 2.1.). Par ailleurs, cette simulation pourra interférer avec une action

réelle à réaliser ultérieurement (un geste réponse par exemple qui nécessite également l'activation des aires motrices). Ce type de paradigme est fréquemment utilisé par les auteurs afin de mettre en évidence les aspects moteurs des représentations conceptuelles.

Dans cette optique, Glenberg et Kaschak (2002) demandent à des sujets de juger si des phrases ont un sens ou non. En ce qui concerne les phrases qui ont du sens, certaines pouvaient décrire une action (un mouvement du bras proche ou loin du corps). Un effet facilitateur est obtenu lorsque le geste nécessaire pour répondre est le même que celui évoqué dans la phrase et non différent. Les auteurs appellent cet effet *l'Action-sentence compatibility effect* (ACE).

Une expérience plus récente (Tseng & Bergsen, 2005) montre que même sans consigne de traitement sémantique, l'ACE est quand même obtenu. Le travail réalisé par Tseng et Bergsen portait sur les signes appartenant à *l'American Sign language* (ASL). L'expérience mettait en évidence l'accès automatique à la signification d'un signe ASL alors que la tâche ne nécessitait pas de traitement sémantique. Des sujets experts de cette langue signée devaient indiquer si deux signes successifs étaient visuellement identiques ou différents (quelle que soit leur signification) en appuyant sur un bouton proche ou éloigné d'eux. Les résultats indiquent que les participants sont plus rapides pour répondre lorsque la signification des mots signés observés (par exemple « attraper ») décrit un mouvement similaire au mouvement nécessaire pour répondre à la tâche. En revanche, une telle facilitation n'est pas obtenue lorsque les signes sont physiquement directionnels mais pas sémantiquement (par exemple le mot « fille » nécessite un geste de l'index qui part de la joue et qui s'éloigne du corps. Il est donc physiquement directionnel mais sa signification n'a pas de rapport avec une orientation spatiale quelconque). Ainsi, il ne s'agit pas d'une facilitation visuelle mais bien d'un effet de la signification du signe, comparable à un effet stroop. L'évidence d'un traitement sémantique automatique plutôt qu'un traitement visuel, est par ailleurs confirmée par l'absence d'effet quelles que soient les conditions, chez une population qui ne pratique pas l'ASL.

L'activation automatique de composants moteurs en présence d'un objet

D'autres auteurs s'intéressent plus particulièrement à la représentation mentale élaborée à partir d'un objet. Les hypothèses d'activation de composants sensori-moteurs sont toujours les mêmes. L'une des expériences de référence dans le domaine est sans doute celle

d'Ellis et Tucker réalisée en 1998. Les auteurs appellent le paradigme qu'ils utilisent le *Stimulus-Response Compatibility* (SRC), aisément comparable à l'*Action-sentence compatibility effect* de Glenberg et Kaschak.

Dans leur expérience, ils proposent à des sujets de catégoriser des objets selon leur orientation normale (à l'endroit) ou inversée (à l'envers) et dont la préhension implique soit la main droite soit la main gauche. Les auteurs postulent que la vision d'un objet active automatiquement chez l'individu des « réactions d'utilisation », caractérisées par des représentations motrices. Les résultats montrent en effet que les temps de réponse sont plus courts lorsque la main utilisée pour fournir la réponse est la même que la main censée être impliquée lors de la préhension de l'objet vu. Les auteurs proposent que la représentation de l'objet nécessaire pour le catégoriser, inclue des composants moteurs similaires à ceux nécessaires pour répondre à la tâche. Le SRC est donc un paradigme qui implique des composants communs pour d'une part traiter un stimulus et d'autre part exécuter un mouvement.

Enfin, une expérience française récente (Olivier, 2006) réplique le paradigme SRC en utilisant un matériel cependant différent. Les sujets devaient attraper un interrupteur soit proche soit éloigné d'eux en fonction de la couleur d'une pièce d'un jeu échec, présentée à l'écran. Une interaction est obtenue entre la position (proche ou éloignée) de la pièce à l'écran et la réponse manuelle (également proche ou éloignée). Pour les auteurs, les sujets simuleraient mentalement et de façon automatique l'acte d'attraper la pièce dès qu'ils la percevraient. Cette analyse rappelle celle d'Ellis et Tucker qui parle de « réactions d'utilisation » (voir aussi Van den Bergh, Vrana, & Eelen, 1990).

Le traitement conceptuel modulé par le paradigme d'amorçage moteur

Outre les paradigmes que nous venons de présenter, le paradigme d'amorçage fait également parti des outils très utilisés pour mettre en évidence les composants moteurs des traitements conceptuels. Cette fois-ci, quel que soit le geste réponse, une pré-activation du stimulus à traiter sera bénéfique et rendra la réponse plus rapide. Le facteur manipulé sera par exemple un composant moteur commun ou non entre l'amorce et la cible accélérant ou ralentissant le traitement de cette dernière.

Myung, Blumstein et Sedivy (2006) étudient le traitement sémantique de mots désignant des objets, précédés par des mots amorces désignant également des objets. Dans

leur expérience, les amorces et cibles pouvaient impliquer des gestes d'utilisation similaires ou différents. Les auteurs montrent que les décisions lexicales réalisées sur les cibles sont plus rapides lorsqu'elles partagent un même geste d'utilisation avec les amorces qu'un geste différent. Pour les auteurs, la fonctionnalité des objets est un composant indispensable de la connaissance qui émerge lorsqu'un objet est évoqué.

D'autres expériences montrent que c'est également le cas lorsqu'un objet est perçu. Helbig, Graf et Kiefer (2006) utilisent le même paradigme en présentant directement des images d'objets usuels tant en amorces qu'en cibles (la figure 9 illustre différents exemples de couple amorce/cible). De nouveau, les objets peuvent présenter ou non une similitude au niveau des gestes impliqués dans leur utilisation. Les participants devaient nommer chaque cible et les résultats indiquent qu'ils sont plus rapides dans la condition de similitude que dans l'autre condition.

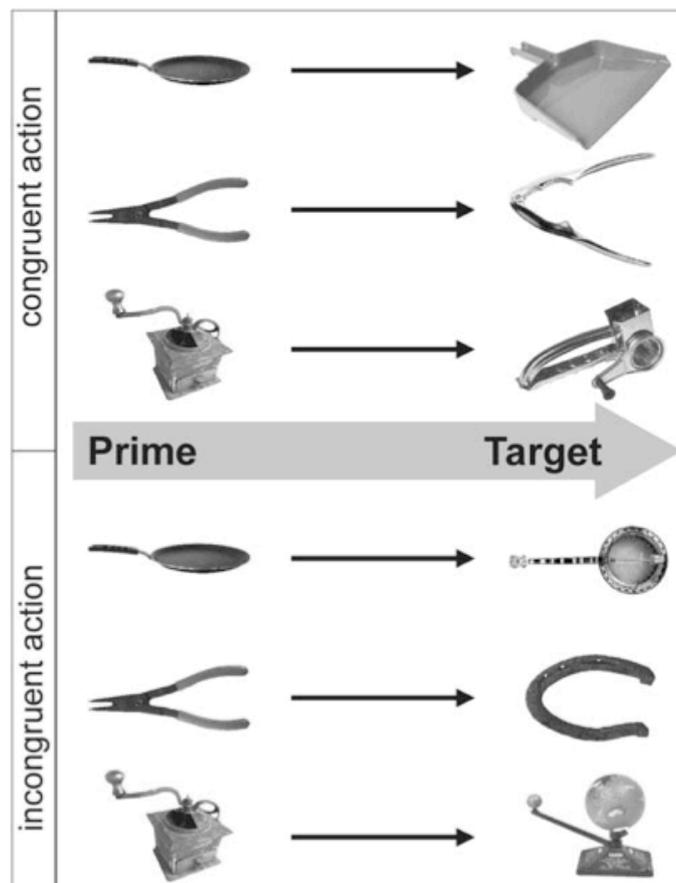


Figure 9. Exemples de couples amorce/cible utilisés dans l'expérience de Helbig et al. (2006).

Afin de montrer que les effets facilitateurs obtenus dans la condition gestes similaires

(*congruent action*) ne sont pas plutôt dus à une similitude de formes, les objets utilisés dans l'autre condition (*incongruent action*) impliquent des gestes différents mais présentent des formes similaires.

Une autre expérience du même type utilise des photographies de mains comme amorces. Sur les images, la main peut impliquer une préhension fine ou globale. Dans une phase d'entraînement, les sujets imitaient plusieurs fois ces gestes. Puis dans une phase test ils devaient catégoriser des images d'objets précédées par ces mains amorces. Une interaction est obtenue entre le type d'amorce et la nature de la préhension requise pour les objets à catégoriser (Borghi et al., 2007. Voir également Gentilucci & al., 2000).

Enfin, une dernière expérience utilise un paradigme d'amorçage où le facteur moteur manipulé n'est pas entre l'amorce et la cible, mais entre l'amorce et le geste réponse. Dans cette étude (Ellis & Tucker, 2000), les participants devaient identifier la hauteur de sons en utilisant un dispositif de réponse impliquant une réponse avec le pouce et l'index ou une réponse de préhension avec l'ensemble de la main. Chaque son était précédé de l'image d'un objet impliquant lui-même soit une préhension fine (avec pouce et index) soit une préhension plus globale. Les auteurs ont obtenu un effet de congruence entre le type de préhension impliquée par l'objet et le type de réponse au son (voir aussi Grèzes, Tucker, Armory, Ellis, & Passingham, 2003, pour une réplique de l'expérience sous IRM).

L'ensemble de ces expériences montre donc que les connaissances qui émergent lorsqu'un individu perçoit un objet usuellement manipulé sont en partie constituées d'informations fonctionnelles. Nous simulons spontanément des réactions d'utilisation, c'est-à-dire les interactions physiques que nous avons avec certains stimuli.

Des représentations mentales dynamiques : le mouvement

Un dernier aspect des représentations mentales que nous voulions évoquer concerne le mouvement. Certaines expériences explorent en effet la nature dynamique des simulations sensori-motrices, en l'occurrence dans le domaine de la compréhension du langage.

Par exemple, Zwaan, Madden, Yaxley, et Aveyard (2004) utilisent un paradigme consistant à présenter auditivement une phrase impliquant le mouvement d'un objet se

rapprochant ou s'éloignant du sujet (« le lanceur vous jette la balle », par exemple), suivie, après un délai de 750 ms, de 2 images consécutives séparées par un masque d'une durée de 150 ms. Les images pouvaient représenter 2 objets identiques, avec toutefois une légère différence de taille qui imputait un mouvement d'approche ou d'éloignement des objets l'un à la suite de l'autre. Les objets pouvaient également être totalement différents. La tâche des sujets était de dire si les deux objets étaient identiques ou différents. Les résultats montrent que les participants sont plus rapides pour répondre lorsque le mouvement induit par les images est congruent plutôt que non congruent avec la direction du mouvement décrit dans la phrase. D'après les auteurs, ces résultats indiquent que la compréhension du langage nécessite une simulation perceptive et dynamique de la situation décrite. Ils proposent qu'au fur et à mesure de nos interactions avec les objets, nous construisons des associations spatio-temporelles entre les patterns visuels qui nous permettent de créer la dynamique des mouvements des objets dans nos représentations. Ainsi, notre représentation visuelle du mouvement d'une balle se rapprochant de nous, implique que cet objet occupe rapidement plus d'espace de notre champ visuel et inversement pour un objet qui s'éloigne.

De la même façon, Kaschak et al. (2005) se sont intéressés à la construction de simulations perceptives d'événements décrits dans des phrases. Les participants entendaient des phrases qui décrivaient un mouvement dans une direction particulière et devaient juger leur sens. Simultanément, ils voyaient des stimuli noir et blanc qui engendraient la perception d'un mouvement dans la même direction ou dans une direction opposée à celle décrite dans la phrase. Les résultats indiquent que les sujets sont plus rapides lorsque les phrases décrivent un mouvement dans le sens opposé à celui perçu visuellement qu'un mouvement dans le même sens. Cette expérience comme la précédente montrent que les simulations relatives à la compréhension du langage présente un caractère perceptif dynamique. L'effet inhibiteur de la congruence des mouvements résulte d'après les auteurs, d'une « compétition » entre l'élaboration de la représentation mentale nécessaire à la simulation de la phrase et celle nécessaire à la simulation de l'objet perçu, créée simultanément. Ils considèrent en effet que les régions cérébrales impliquées dans l'élaboration de ces représentations sont en réalité sous-tendues par les mêmes structures neuronales et donc que les représentations ne peuvent s'élaborer simultanément mais au contraire successivement. Les composants moteurs sont « engagés » dans la représentation mentale émergente à partir du stimulus et ne peuvent être temporairement recrutés par la seconde représentation nécessaire au traitement de la phrase. En revanche, le décalage temporel dans l'expérience de Zwaan et al. (2004) entre le

mouvement décrit dans la phrase et le mouvement observé permet au contraire de faciliter le traitement visuel. Il s'agit d'un amorçage de l'activité des structures impliquées (voir aussi Kaschak, Zwaan, Aveyard, & Yaxley, 2006).

Pour résumer, l'ensemble de ces travaux tend à montrer que nous créons des représentations mentales dynamiques et sensori-motrices, au même titre que les stimuli qui nous entourent et avec lesquels nous interagissons habituellement. Les nouveaux modèles de la mémoire vont parler de connaissances qui émergent à partir de la réactivation de composants sensoriels et moteurs de traces mnésiques, tributaires de l'activité des aires primaires.

Chapitre 3

Les modèles actuels de la mémoire. Description des processus d'émergence des connaissances

Durant cette dernière partie, nous allons présenter les modèles cognitifs actuels qui nous semblent rendre compte efficacement des observations que nous venons de décrire.

Nous présenterons tout d'abord la notion *d'embodied cognition*, théorie particulièrement évoquée par de nombreux auteurs afin d'expliquer les activations des aires sensorielles et motrices durant des activités non perceptives et non motrices. Cette théorie insiste par ailleurs sur la place de l'émotion dans le traitement des informations.

Dans une seconde partie, nous présenterons le modèle de Lawrence Barsalou, incontournable référence théorique. Son modèle des systèmes de symboles perceptifs (PSS) apporte en effet une façon originale et efficace d'expliquer la construction et la réactivation des connaissances, même les plus conceptuelles, en mémoire.

Nous évoquerons ensuite le processus d'intégration décrit à la fois par les neurosciences et la psychologie cognitive. Ce processus complexe permet l'accès à des connaissances émergentes de plus en plus unifiées et cohérentes grâce aux intégrations progressives qui ont lieu entre différents composants sensori-moteurs. Ce processus d'intégration joue donc selon nous un rôle crucial dans l'émergence des connaissances.

Enfin, nous présenterons notre conception du fonctionnement mnésique en insistant sur ses propriétés multimodales, fonctionnelles et dynamiques. Nous proposerons de décrire la dynamique d'émergence des connaissances en termes d'activation et d'intégration et nous justifierons enfin les paradigmes expérimentaux destinés à étudier ces mécanismes.

3.1. La théorie de l'embodied cognition et les propriétés émotionnelles

En psychologie cognitive, la théorie de *l'embodied cognition*, considère que les représentations mentales sont fondées sur les expériences sensori-motrices de l'individu. Cette approche postule que la confrontation à un objet entraîne une réactivation partielle des expériences sensori-motrices déjà activées lors des rencontres passées avec cet objet ou avec des objets similaires. Cette réactivation guide la perception, les connaissances de nature conceptuelle associées à cet objet et donc également les comportements produits.

Ainsi, la connaissance est « incarnée » c'est-à-dire qu'elle émerge d'états corporels particuliers et à partir de l'activité des systèmes neuronaux sensori-moteurs. Dans cette perspective, les différentes propriétés des expériences sont simulées grâce aux systèmes sensoriels à la base de la perception d'une situation, grâce également aux systèmes moteurs à la base de l'action et enfin à travers les systèmes impliqués dans l'émotion (Niedenthal, Barsalou, Winkielman, Krauth-Gruber, & Ric, 2005 ; Niedenthal, 2007).

Par déduction, si l'un de ces systèmes était déficient, alors certains composants ne pourraient être normalement simulés. C'est ce que suggèrent en effet les deux expériences présentées ci-dessous. Par exemple, Rauscher, Krauss et Chen (1996) demandaient à des participants de regarder un dessin animé. Ils devaient ensuite le décrire à un auditeur de façon normale ou bien sans pouvoir bouger leurs bras. Les résultats indiquent que la description des éléments spatiaux du dessin animé est plus longue lorsque les sujets ne peuvent pas bouger les bras, comparativement au cas où ils sont libres de leurs mouvements. Pour les auteurs, bloquer *l'embodiment* implique une diminution de l'accès aux éléments spatiaux des représentations mentales nécessaires pour réaliser la tâche.

De la même façon, une expérience plus récente (Niedenthal, Brauer, Halberstadt, & Innes-Ker, 2001) montre que « bloquer » les expressions faciales d'un individu amoindrit ses capacités de traitement d'expressions émotionnelles. Dans cette expérience, les sujets regardaient sur un écran des visages adoptant différentes expressions émotionnelles. Leur tâche était de détecter chaque changement d'expression, soit sans autre consigne particulière soit en tenant un stylo latéralement entre leurs lèvres et leurs dents. Les résultats indiquent

que les participants sans stylo détectent les changements émotionnels plus rapidement que les sujets avec stylo. Pour Paula Niedenthal et son équipe et selon la théorie de *l'embodiment*, cette différence s'explique par le fait que tenir un stylo entre ses dents empêche dans une certaine mesure l'imitation faciale qui intervient automatiquement lorsque l'on traite des expressions faciales.

Ces deux expériences rappellent aisément les travaux portant sur les neurones miroirs qui montraient une activation automatique des aires motrices durant l'observation d'un mouvement. Qu'il s'agisse d'une émotion ou d'un geste, il semble que nous en réalisons une imitation spontanée afin d'analyser la situation. Des expériences en neuroimagerie montrent que même pour une émotion, des circuits neuronaux communs sont engagés lorsque l'on ressent l'émotion et lorsqu'on en perçoit l'expression sur un autre individu (Wicker et al., 2003 voir aussi Lawrence, Calder, McGowan, & Grasby, 2002). Ainsi, il semblerait que nous imitions les expressions émotionnelles des personnes avec qui nous interagissons.

L'émotion est donc elle aussi soumise à un phénomène miroir, une imitation spontanée. Une expérience (Mondillon, Niedenthal, Vermeulen, & Winkielman, soumis) a montré que même le traitement sémantique de mot émotionnel faisait intervenir une imitation spontanée de l'émotion évoquée. Par exemple, les sujets devaient dire si des mots étaient reliés ou non à une émotion particulière (« bébé », « limace »...). Durant l'expérience, les activités de quatre muscles du visage ont été enregistrées grâce à une technique d'électromyographie. Les résultats montrent qu'en faisant leurs jugements, les sujets imitent ou autrement dit « incarnent » spontanément les émotions.

Enfin, de la même façon que nous avons montré que le *switching* sensoriel avait un coût, une expérience récente (Vermeulen, Niedenthal, & Luminet, 2007) montre que le *switching* émotionnel a également des conséquences sur le traitement sémantique. Une tâche de vérification de propriétés conceptuelles montre ainsi que traiter la propriété « frappée » pour le concept « victime » sera plus rapide si l'essai est précédé d'un couple de même valence émotionnelle (« désespéré » pour « orphelin ») que de valence différente (« joyeux » pour « victime »).

En ce qui concerne l'importance des facteurs émotionnels, Damasio (1995) proposait il y a presque 15 ans que l'émotion puisse jouer un rôle important dans le comportement cognitif. Pour lui, la prise de décision est dirigée par un ensemble de marqueurs somatiques,

qui correspondent à des propriétés émotionnelles affectées à un stimulus lors de l'interaction avec celui-ci. Un marqueur somatique est un état du corps lié à telle ou telle situation favorable ou défavorable. Par la suite, une nouvelle rencontre avec le stimulus entraînera la réactivation du marqueur. L'émotion sera automatiquement affectée à la situation ce qui permettra d'en analyser rapidement les conséquences (affectives) et donc d'orienter la prise de décision. Le marqueur somatique en tant qu'état corporel (rythme cardiaque...) rejoint aisément *l'embodied cognition* et les observations précédemment décrites. Analyser une situation, un objet ou seulement l'évoquer, impliquerait donc en plus de l'activation de composants sensoriels et moteurs, des composants émotionnels.

Pour finir, nous pouvons noter que la notion *d'embodiment* est actuellement au coeur de nombreux domaines de recherches comme l'émotion, l'empathie ou plus globalement les relations sociales. Comme pour les neurones miroirs, les chercheurs qui travaillent sur cette théorie proposent que *l'embodied cognition* soit une « imitation intérieure » spontanée de l'environnement qui serait à la base de la compréhension et par là même, pour certains, de l'interaction sociale.

3.2. Le modèle des systèmes symboliques perceptifs

Le modèle de Lawrence Barsalou est un modèle actuellement incontournable. Il propose un cadre théorique solide et efficace pour expliquer le système conceptuel humain. Il est à noter que la théorie de *l'embodiment* s'intègre facilement à cette vision moderne des connaissances mentales, comme la plupart des observations citées dans le chapitre 2, (Barsalou, 1999, 2003; Barsalou, Simmons, Barbey, & Wilson, 2003).

Création et réactivation de symboles perceptifs

Lorsque Barsalou décrit son modèle, il propose dans un premier temps une description de l'activité neuronale qui a lieu pendant l'observation d'un objet : la confrontation avec cet objet déclenche une activation neuronale dans les aires sensorielles. Par exemple en vision, des neurones répondent aux bordures, d'autres aux couleurs, aux orientations, aux directions des mouvements, etc. L'ensemble de ces activations distribuées dans les aires sensorielles visuelles correspondent à une représentation visuelle de l'objet, mais il existerait également

d'autres formes de représentations rattachées aux autres modalités (représentations auditives, olfactives, motrices, etc.). En même temps que les représentations sensorielles s'activent, des neurones dans des aires associatives capturent les configurations des patterns neuronaux correspondant, à la fois au niveau intra-modal et inter-modal. Par la suite, les liaisons réciproques entre zones sensorielles et zones associatives permettent des phénomènes de réactivations sensorielles : en l'absence de l'objet lui-même, une réactivation partielle des aires sensorielles est possible par l'intermédiaire de ces zones associatives (voir la figure 10).

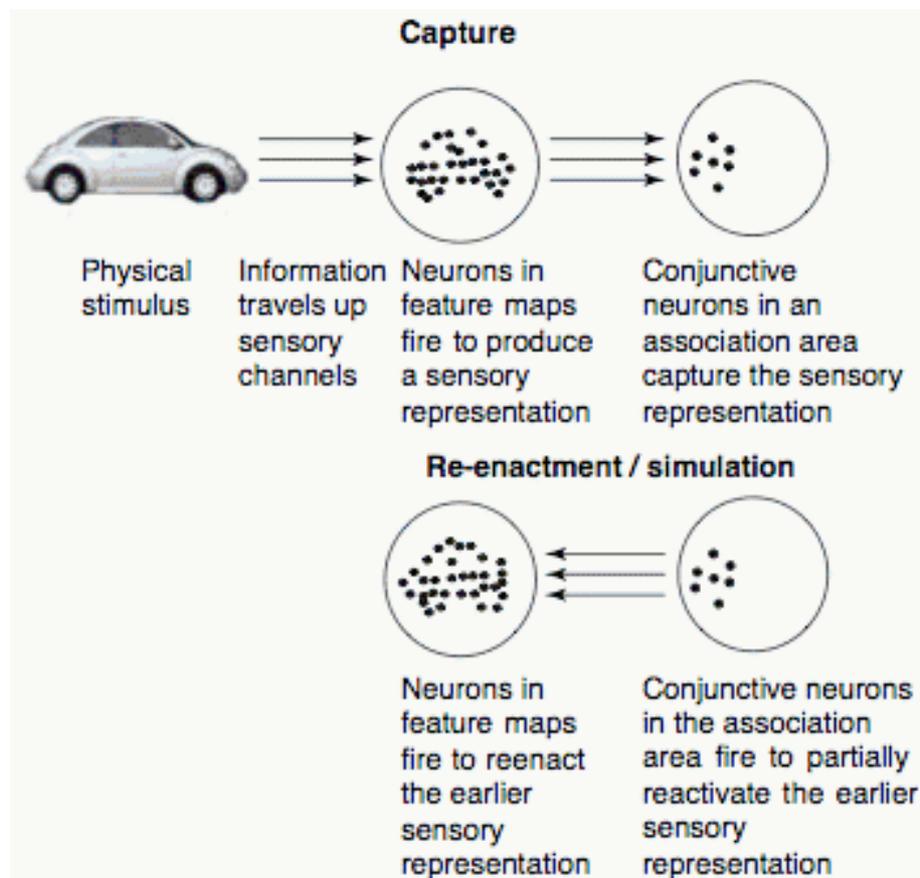


Figure 10. Création de symboles perceptifs, selon Barsalou (1999).

La représentation mentale créée à partir de la perception d'un objet correspond à l'activation d'un pattern de neurones primaires particulier, enregistré par les zones associatives (*Conjunctive neurons*). Les liaisons réciproques entre ces zones et les aires sensorielles permettent par la suite la réactivation du pattern sensoriel en l'absence de l'objet lui-même.

Le simulateur à la base de l'activité mentale conceptuelle

À partir de ces considérations, Barsalou propose la notion de simulateurs qui permet d'expliquer la formation de connaissances plus conceptuelles c'est-à-dire plus générales, à partir d'un ensemble de situations particulières.

Pour lui, le fait de rencontrer plusieurs exemplaires d'une même catégorie (d'un concept) va activer des patterns neuronaux primaires très similaires, se chevauchant en plusieurs endroits. Ces renforcements neuronaux vont permettre par la suite la construction de représentations à modalité spécifique (symboles perceptifs) et de représentations multimodales du concept, impliquant à la fois les zones primaires et les zones associatives. Les simulateurs seraient alors des représentations mentales multimodales correspondant à tout ce qui est commun entre les exemplaires d'une même catégorie (voir la figure 11).

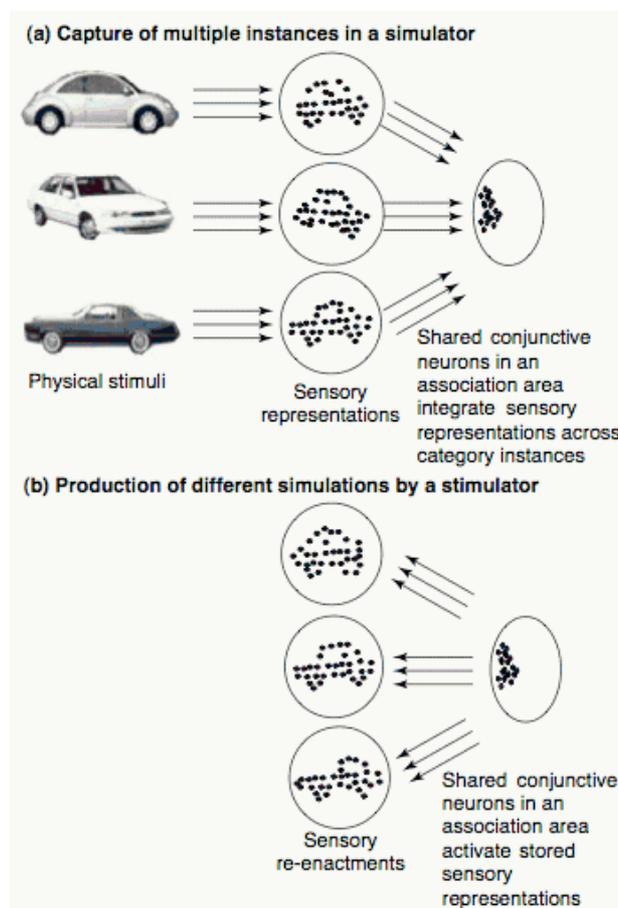


Figure 11. Illustration de la formation et de la réactivation d'un simulateur dans le modèle Perceptual Symbols System, PSS de Barsalou (1999).

Dans ce modèle, l'importance du simulateur n'est pas moindre. Pour Barsalou il est à l'origine des simulations mentales spécifiques que l'individu peut faire à propos d'une catégorie générale. Par exemple en fonction du contexte, la simulation sera le résultat d'une réactivation exhaustive ou partielle des neurones correspondant au simulateur. Un exemplaire pourra émerger mentalement ou bien une « moyenne » des différents exemplaires.

Les zones de convergence

Le modèle de Barsalou offre donc aux aires associatives un rôle particulièrement important dans l'émergence d'une représentation mentale. Pour Simmons et Barsalou, les zones associatives appelées zones de convergence, sont hiérarchiquement organisées (les auteurs s'inspirent de la théorie des zones de convergence proposée par Damasio, 1989) : les zones de convergence intra-modales enregistrent les patterns des neurones primaires activés en présence d'un objet, tandis que les zones de convergence intermodales enregistrent l'activité simultanée de l'ensemble de ces zones intra-modales. Pour les auteurs, ce type d'architecture permet d'expliquer efficacement un certain nombre de déficits conceptuels, chacun pouvant correspondre à une lésion particulière dans la hiérarchie (Simmons & Barsalou, 2003).

Pour résumer

Pour résumer, selon Barsalou la similarité entre les multiples patrons d'activation engendrés par nos expériences diverses, permet progressivement l'acquisition de représentations rattachées à l'ensemble de nos modalités sensorielles. En d'autres termes, le renforcement sensori-moteur permis par l'accumulation d'expériences similaires durant le développement, permettrait de construire des symboles perceptifs. Sorte de résumés des expériences, ces symboles schématiseraient les principales caractéristiques des expériences et se modifieraient au fur et à mesure de l'accumulation des traces. Chaque catégorie de symbole (relative à la vision, l'audition, la proprioception...) serait localisée dans les aires associatives unimodales visuelle, auditive ou autre. Enfin, ces symboles perceptifs seraient reliés entre eux par des simulateurs. Equivalents aux concepts, ils nous permettraient de construire à la fois des simulations d'objet ou d'événement (même en leur absence) et des séquences d'évènements.

3.3. L'intégration multisensorielle, un processus analysé par les neurosciences

L'ensemble des expériences évoquées jusqu'à présent a souligné l'implication de l'activation de composants sensoriels, moteurs et émotionnels dans l'émergence des connaissances même les plus conceptuelles. Le modèle des systèmes de symboles perceptifs proposé par Lawrence Barsalou souligne par ailleurs l'importance du processus d'intégration entre les composants. En se référant aux propositions antérieures de Damasio, Simmons et Barsalou (2003) proposent que les zones de convergence responsables de ce processus soient réparties sur de multiples niveaux hiérarchiques allant de la partie postérieure à la partie antérieure du cerveau. Plus la zone de convergence sera antérieure, plus elle associera des informations multimodales.

Les observations neuroanatomiques confortent depuis longtemps le rôle de structures cérébrales telles que le cortex frontal, temporal, l'hippocampe, le striatum ou l'amygdale, dans les processus d'intégration intermodale (Bechara et al., 1995; Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996 ; Damasio, 1995 ; Goldman-Ravic, Scalaidhe, & Chafee, 2000; Packard & Cahill, 2001 ; Stuss & Alexander, 1999). Ainsi, d'un point de vue neuro-anatomique, il est traditionnellement proposé que l'intégration entre les différents inputs sensoriels ait lieu relativement tard et qu'elle soit le fait de traitements cognitifs supérieurs et tardifs (Jones, 1970; Massaro, 1998; Schröger & Widmann, 1998).

Cependant, nous assistons actuellement, notamment grâce à l'évolution des technologies, à un changement radical dans la compréhension du processus d'émergence mentale des connaissances. Il semble en effet que les zones sensorielles participent non seulement à la perception sensorielle mais également à l'intégration multisensorielle. Les chercheurs parlent d'intégrations multisensorielles précoces et tardives, suggérant une cascade de processus opérant en parallèle, à différents niveaux aussi bien dans les structures sensorielles que non sensorielles du cortex (Calvert & Thesen, 2004). Les processus d'activation et d'intégration ne sont donc pas successifs, mais correspondent plutôt à des cascades d'évènements qui varient selon les modalités perceptives et qui ont lieu entre autres, dans les zones sensori-motrices du cerveau.

Grâce à la section 2.1. du second chapitre, nous avons déjà eu l'occasion d'évoquer des activations dans les aires motrices, auditives ou olfactives alors que les inputs étaient relatifs à une autre modalité. Les observations présentées ci-dessous complètent ces expériences en mettant en évidence les aspects intégratifs précoces, ou les interactions précoces, entre les systèmes à modalité spécifique.

Intégrations précoces dans les aires auditives

Chez l'animal (le macaque) par exemple, des enregistrements intracrâniens montrent la convergence d'inputs somatosensoriels et auditifs à l'intérieur de sous régions du cortex auditif. Il s'agit d'un substrat neural à la base d'intégrations multisensorielles à un moment précoce du traitement cortical auditif (Fu et al., 2003; Schroeder et al., 2001 ; Schroeder & Foxe, 2002). Plus récemment, Ghazanfar, Maier, Hoffman et Logothetis (2005) ont enregistré l'activité neuronale dans le cortex auditif de singes rhésus pendant qu'ils voyaient des congénères « vocaliser ». Ils démontrent eux aussi grâce à l'observation de l'augmentation de l'activité corticale dans cette région, que le cortex auditif primaire intègre les signaux vocaux et faciaux d'une situation qui met en avant un de leurs congénères. Cette intégration multisensorielle est obtenue aux alentours de 100 ms.

Des observations similaires ont également été faites chez l'humain. En particulier, beaucoup d'études utilisant les potentiels évoqués ont démontré des interactions dans les aires auditives : récemment, Murray et al. (2005), en utilisant des indices électrophysiologiques, ont montré des interactions dans les aires auditives associatives (voir aussi Foxe et al., 2000).

De même, dans une étude EEG portant sur la reconnaissance d'objets bimodaux, Giard et Peronnet (1999) montrent l'existence d'interactions audio-visuelles précoces dans les cortex sensoriels (visuel et auditif), dès 40 ms (voir également Molholm et al., 2002). Enfin, des études anatomiques aujourd'hui de référence, révèlent des projections directes entre les régions auditives, incluant A1 et les aires visuelles V1 et V2 (Falchier, Clavagnier, Barone, & Kennedy, 2002; Rockland & Ojima, 2001, 2003; Schroeder et al., 2003).

Intégrations précoces dans le cortex visuel

D'autres observations, cependant moins nombreuses, ont été faites sur l'intégration multisensorielle dans le cortex visuel : il semble que ce cortex puisse être activé durant une

perception tactile (Blake, Sobel, & James, 2004; James, T. W., James, K. H., Humphrey, & Goodale, 2005). Par exemple, Macaluso, Frith, et Driver (2000) rapportent qu'administrer une stimulation tactile simultanément et du même côté que l'apparition d'un stimulus visuel, augmente l'activité neuronale dans le cortex visuel du sujet. De plus, cette augmentation est de plus, supérieure à l'augmentation qu'un stimulus visuel seul pourrait susciter. Pour les auteurs, certains pools neuronaux des aires somatosensorielles projetteraient vers le cortex visuel. De façon similaire, dans une étude conduite en 2005, James et al. montrent que des inputs tactiles concernant des objets, activent directement une partie de l'aire occipitale.

Finalemment

Une partie de l'intégration multisensorielle se réalise donc précocement dans les aires sensorielles. Elle est facilitée par des connexions directes entre ces aires. Les auteurs en neurosciences proposent que ces intégrations précoces, de bas niveau, contribuent à rendre plus rapides et plus adaptées les réponses comportementales que nous pouvons avoir dans notre environnement. Pour Foxe et Schroeder (2005), ces intégrations ont lieu indépendamment de traitement perceptif conscient. Schroeder propose quant à lui pour les intégrations auditivo-visuelles, que leur précocité pourrait être due au fait que des stimuli non auditifs sont générés avant un stimulus auditif (parce que des actions visibles et palpables sont nécessaires pour produire un son) augmentant ainsi, la réponse locale à l'input auditif subséquent.

Finalemment, il semble qu'appréhender un environnement multimodal nécessite en plus d'un ensemble d'activations dans les aires sensorielles, la synchronisation et l'intégration précoces de ces activations. Comme nous avons pu le constater, l'étude du processus d'intégration s'inscrit principalement dans des expériences en neurosciences, qui concernent exclusivement des composants multisensoriels perceptivement présents.

Or qu'en est-il des composants multisensoriels constitutifs d'une connaissance? Nous avons montré tout au long du chapitre précédent que les éléments sensori-moteurs à la base de la perception d'un stimulus et de son évocation étaient globalement similaires. Selon nous, l'émergence d'une connaissance va nécessiter elle aussi en plus de l'activation de ses composants, leur intégration et ce malgré l'absence d'input sensoriel. Barsalou évoque les zones de convergence qui pourraient être en charge de ces processus mais très peu

d'expériences se sont réellement attachées à mettre en évidence l'intégration de composants sensoriels ou moteurs « mnésiques ».

Pour conclure, l'implication massive des zones sensorielles dans l'émergence des connaissances apparaît être aujourd'hui un argument fort en faveur d'une conception multisensorielle de la mémoire. Cependant, la dynamique de cette émergence reste à être mieux définie, les processus d'activation et d'intégration des composants élémentaires gagnant à être davantage étudiés.

3.4. Le processus d'intégration au sein des travaux de Stoet et Hommel

Actuellement, seules les expériences réalisées par Gijsbert Stoet et Bernard Hommel semblent concerner directement le processus d'intégration de différents composants « mnésiques ». Leurs travaux portent sur la planification d'une action et sur les éventuelles perturbations qu'elle peut subir : en effet, la planification préalable d'une autre action à exécuter plus tard semble pouvoir ralentir son élaboration, si les deux actions partagent des composants moteurs. Ils font l'hypothèse que la planification d'une action nécessite un assemblage temporel (soit l'intégration) d'étapes motrices, les rendant moins disponibles pour la planification d'autres actions nécessitant ces mêmes étapes motrices (Stoet & Hommel, 1999).

Un travail de 2002 impliquait non pas la planification de deux actions, mais un traitement perceptif suivi de la planification d'une action. En l'occurrence, il s'agissait de la représentation mentale issue de la perception d'un stimulus A et la planification motrice nécessaire pour répondre à un stimulus B ultérieur, qui pouvaient partager une dimension motrice avec le premier. Dans l'expérience (voir la figure 12), les sujets devaient mémoriser un stimulus A qui variait selon sa forme (ronde ou carrée), sa couleur (rouge ou verte) et selon sa position sur l'écran (droite ou gauche), en vue de questions succédant le traitement d'un second stimulus. Ce deuxième stimulus B apparaissait 1 seconde après la disparition du premier stimulus et nécessitait une réponse soit avec l'index de la main gauche soit avec celui de la main droite en fonction de sa nature (fond d'écran blanc ou noir). Les résultats indiquent que si la planification de B partage des dimensions spatiales avec la planification de A,

comme par exemple la spatialité gauche ou droite, son élaboration nécessite plus de temps. Selon les auteurs, ce phénomène résulte du partage de dimensions spatiales communes entre A et B. Ces dimensions déjà « sollicitées » par la représentation en mémoire du stimulus A sont moins facilement utilisables pour la planification de l'action nécessaire pour répondre au stimulus B.

Toutefois les auteurs ont conscience que le profil de ces résultats ne rentre pas dans le cadre des effets positifs standards observés dans ce type de situation (cf. le *Stimulus-Response Compatibility* développé par Ellis et Tucker en 1998). Pour eux, la divergence des profils de résultats est due au fait que les délais temporels utilisés entre les stimuli varient d'une expérience à l'autre. Pour tester cette hypothèse, ils réalisent la même expérience avec un délai entre les deux stimuli (SOA) abaissé à 100 ms. Les résultats indiquent qu'avec un délai de seulement 100 ms, le ralentissement de l'exécution de l'action B disparaît ; en effet, dans cette condition, le partage des dimensions spatiales a au contraire un effet facilitateur sur le traitement du stimulus. Cet amorçage semble résulter de la congruence entre les dimensions spatiales des deux stimuli qui ont été activées de façon indépendante car le délai n'a pas permis leur intégration aux autres composants (Stoet & Hommel, 2002 ; voir aussi Hommel, 2004).

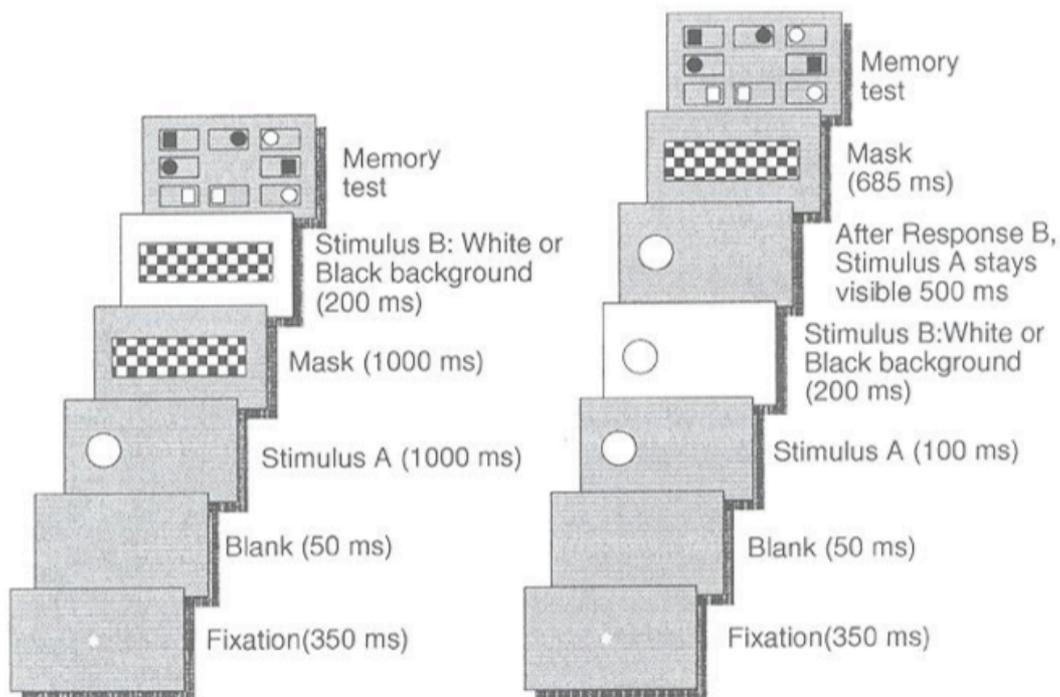


Figure 12. Illustration de deux conditions expérimentales tirées de l'expérience de Stoet et Hommel (2002).

Le délai entre l'apparition du stimulus A et du stimulus B peut être long (SOA de 2 secondes) ou court (SOA de 100 ms). Il est à noter que dans la condition SOA court, le stimulus A reste à l'écran même durant l'apparition du stimulus B. Pour les auteurs, les sujets n'ont donc pas besoin de le mémoriser. Ils montrent ainsi, que la facilitation due à l'amorçage est automatique.

3.5. La dynamique d'émergence des connaissances : cadre théorique de ce travail de thèse

Le cadre théorique dans lequel s'inscrit ce travail de thèse s'inspire de l'ensemble des observations jusqu'ici évoquées. Il a pour but de rendre compte de la nature des connaissances conservées en mémoire ainsi que de l'architecture du système qui sous-tend ces connaissances. L'étude des processus à la base de l'émergence des connaissances mentales est par ailleurs au coeur de cette approche théorique ainsi que des expériences présentées dans la partie expérimentale de cette thèse.

Les traces mnésiques : activations neuronales à modalité spécifique, distribuées sur l'ensemble du cerveau

Nous avons vu dans la section 1.4. que les modèles à traces multiples considéraient le système mnésique non pas comme l'accès à des représentations stockées en mémoire, mais comme un système permettant de recréer des configurations de stimulations correspondant à une situation vécue. L'information n'est pas localisée précisément mais répartie sur le cerveau, au sein de réseaux de neurones. Les traces mnésiques nécessitent donc l'activation de patterns neuronaux distribués, susceptibles d'être en partie communs avec d'autres traces.

Cette *distributivité des connaissances* est par ailleurs largement confirmée par les observations issues des neurosciences (voir section 2.1.). Mais parallèlement au fait que ces observations indiquent que les connaissances ne sont pas localisées, elles mettent également en évidence leurs propriétés sensorielles, motrices et émotionnelles. L'activité des aires neuronales primaires ainsi que des régions cérébrales impliquées dans l'émotion est en effet observée même lors de traitements dits conceptuels. De nombreuses expériences comportementales montrent par ailleurs des interférences ou facilitations intermodales dans

des tâches sémantiques ne nécessitant pourtant pas de traitement à modalité spécifique (voir section 2.2.). Les connaissances sont donc toutes plus ou moins tributaires de la réactivation des aires sensori-motrices. Nous parlerons de *traces mnésiques multimodales*.

Ces deux propriétés intrinsèques des connaissances mentales (multidimensionnalité et distributivité) s'opposent de façon radicale à l'idée qu'un processus cognitif transforme les connaissances nouvellement acquises en entités mentales abstraites. D'un point de vue cognitif, ce processus apparaît de toute façon peu économique : l'encodage et la réactivation de mêmes structures neuronales semble au contraire plus cohérent avec le principe d'économie cognitive. Enfin, ajoutons que pour Barsalou, la littérature scientifique n'a de toute façon pas vraiment prouvé de façon directe l'existence de connaissances amodales (Barsalou, 1999).

Plus généralement, l'ensemble des observations précédentes nous conduit à définir la mémoire comme *un système épisodique unique et à long terme*. La mémoire enregistre toutes nos expériences à travers l'accumulation de traces. La récupération de toute forme de connaissance à partir d'un objet résultera alors de l'activation de multiples traces. La somme de toutes ces activations donnera lieu à l'émergence de plus en plus complexe d'une connaissance. Un souvenir correspondra donc à un état très proche d'une trace antérieure, et une connaissance plus abstraite à l'activation d'un grand nombre de traces en lien avec l'épisode actuel (Versace et al., 2002).

Des connaissances fonctionnelles

Ainsi, les connaissances que nous emmagasinons dans notre mémoire et celles que nous sollicitons sont constituées de composants sensoriels, moteurs et émotionnels sous-tendus par les structures neuronales impliquées dans la perception, l'action et l'émotion. Nos connaissances sont donc issues de notre interaction avec l'environnement. Les connaissances *sont dites fonctionnelles* : selon nous, toutes formes de représentations mentales, qu'elles soient conceptuelles ou de type souvenir, correspondent à des états d'activation du système mnésique et sont toujours créées ou recréées dans le cadre d'interactions avec l'environnement, plutôt que simplement stockées et récupérées. Les représentations mentales que nous avons en mémoire ne sont donc pas figées mais au contraire continuellement modifiées et enrichies par les variations de l'environnement. L'idée de connaissances

fonctionnelles est par ailleurs au coeur de *l'embodied memory* proposé par Glenberg (1997). Pour cet auteur, la mémoire est au service de la perception et de l'action. « Les systèmes perceptifs auraient selon Glenberg évolué pour faciliter les interactions entre l'individu et son environnement, et donc le monde serait conceptualisé selon les possibles interactions entre le corps et son environnement. D'où l'idée de représentations « incarnées » car issues du monde environnant et surtout des actions sur ce monde. Une des particularité de cette approche fonctionnelle de la mémoire est qu'elle permet d'envisager le fonctionnement cognitif dans sa globalité d'une manière très intégrée. Les mécanismes perceptifs, les mécanismes mnésiques, les mécanismes liés à l'imagerie mentale, et même nous l'avons vu, bien qu'à un degré moindre, les mécanismes attentionnels sont ici indissociables. La perception et l'imagerie sont décrites comme le résultat de l'activité du sujet ou plus largement du système cognitif sur l'environnement » (Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2008, p.19).

Dynamique d'émergence des connaissances : processus d'activation et d'intégration

L'émergence d'une connaissance correspond donc à un état du système nerveux résultant d'une interaction entre l'individu et son milieu. Les connaissances n'auraient en quelques sortes de réalité que lorsqu'elles émergeraient en mémoire.

Nous avons montré au cours de ce troisième chapitre que les neurosciences ont beaucoup étudié le processus d'intégration sous-jacent à ce que nous appelons l'émergence des connaissances. Elles ont montré que ce processus intervenait à plusieurs niveaux impliquant des structures spécifiques comme l'hippocampe, le cortex préfrontal ou les zones primaires. Selon la structure, l'intégration entre les composants sensoriels, moteurs et émotionnels peut être intramodale ou intermodale. Au final, la connaissance qui résulte de l'accumulation de ces processus est une connaissance qui émerge de plus en plus cohérente et élaborée.

Pour résumer, la conception théorique que nous soutenons dans le présent travail, suppose des activations précoces des composants élémentaires des connaissances. Ces composants seraient le résultat de l'activation de patterns neuronaux distribués entre autre sur les aires primaires. Progressivement des processus d'intégration auraient lieu entre ces différents composants permettant l'émergence de plus en plus élaborée des connaissances

(voir l'illustration figure 13). Cette distinction entre processus d'activation et d'intégration est au coeur des recherches réalisées dans le cadre de cette thèse.

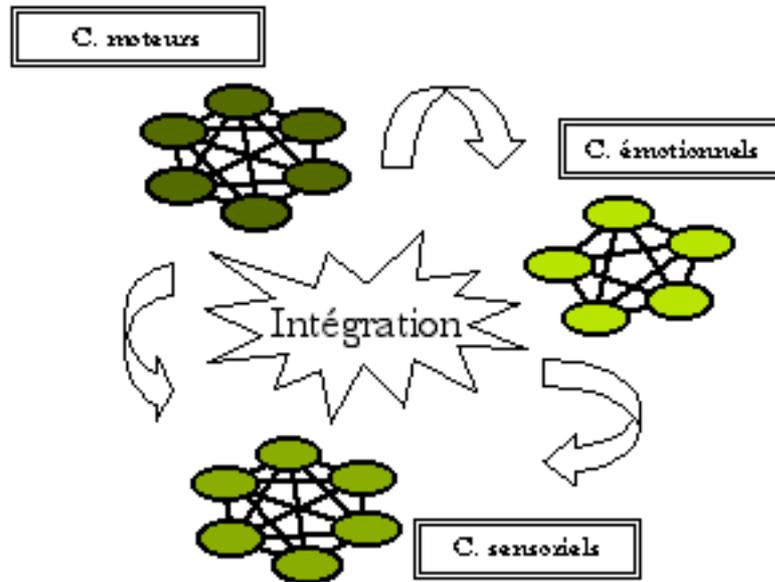


Figure 13. Illustration simplifiée de l'intégration entre des composants intermodaux d'une trace mnésique (Versace et al., 2002).

3.6. Problématique, hypothèses et objectifs expérimentaux

Comme nous venons de le dire, les expériences réalisées dans le cadre de cette thèse s'articulent autour d'une problématique générale qui concerne la dynamique d'émergence des connaissances mentales.

L'idée sous-jacente à l'ensemble de ce travail est qu'une connaissance qui concerne un objet, correspond à la réactivation des aires cérébrales impliquées dans le traitement sensori-moteur de cet objet. Il n'y a pas de stockage d'entité abstraite. Il s'agit au contraire de la réactivation des mêmes pools neuronaux sollicités durant l'interaction réelle avec l'objet. Autrement dit, si l'on considère *qu'interagir avec un stimulus génère une représentation mentale particulière, alors la reconstruction de cette représentation en l'absence du stimulus, correspondra à l'émergence d'une connaissance en lien avec le stimulus en question.*

Construire et reconstruire des représentations mentales sont donc selon nous, des

activités cognitives en partie similaires qui s'appuient sur un ensemble d'étapes communes. La connaissance émerge peu à peu et se transforme au cours du temps de la même façon que la perception d'un stimulus multisensoriel se modifie, grâce aux interactions et intégrations neuronales multimodales. Nous savons en effet aujourd'hui que les composants sensoriels et moteurs des représentations mentales sont rapidement intégrés les uns aux autres afin de permettre une perception cohérente et efficace de l'environnement. Par déduction, ce processus d'intégration devrait également avoir une place non négligeable dans l'émergence d'une connaissance, même en l'absence d'input sensoriel, en la rendant de plus en plus « aboutie ». Un peu à l'image de la théorie de la Gestalt, nous supposons qu'une connaissance « aboutie » c'est-à-dire qui a subi l'ensemble des processus nécessaires à son émergence, sera une entité « différente » de l'entité à laquelle elle peut correspondre au début de sa construction. Nous parlerons d'une succession d'étapes à la base de la réactivation d'une connaissance, étapes similaires à celles mises en jeu durant sa construction initiale. Au final, le processus d'intégration entre tous les composants d'une connaissance créera une connaissance différente de la simple somme des activations de ses composants.

En dehors des travaux de Hommel, aucune expérience en psychologie cognitive n'a à notre connaissance, tenté de mettre en évidence ce processus d'intégration entre des composants en partie mnésiques.

Le but de notre travail expérimental a donc été de parvenir à distinguer cette étape de celles plus précoces où l'intégration n'a pas encore eu lieu. Nous supposons que les étapes qui précèdent le processus d'intégration correspondent aux différentes activations des composants multisensoriels et moteurs. Tous ces composants non encore reliés les uns aux autres forment à un temps très précoce, une entité particulière qui émerge et qui d'après ce que nous venons de dire sera différente de l'entité finale, induite par une cascade de processus d'intégrations intra et intersensoriels.

Le paradigme d'amorçage à court terme.

Pour réaliser notre objectif, nous avons utilisé un paradigme d'amorçage à court terme. Ce paradigme présente l'avantage de permettre la manipulation du temps de présentation d'un stimulus ou, plus exactement, du délai entre l'apparition d'une amorce et l'apparition d'une cible à traiter (*Stimulus Onset Asynchrony*, SOA).

Selon nous, ce protocole expérimental permettrait de dissocier les deux principales étapes qui nous intéressent : les étapes d'activation et d'intégration sous-jacentes à l'émergence d'une connaissance en lien avec un stimulus perçu.

Nous supposons en effet que si l'on présente une image amorce d'un objet à un individu, l'image va activer chez ce sujet les divers composants relatifs à l'objet, des composants visuels bien entendu, mais aussi d'autres composants non perceptuellement présents, comme les composants moteurs ou auditifs, donc purement mnésiques. Mais cela ne signifie pas que les composants visuels activés ne soient pas eux-mêmes des composants mnésiques. Nous avons vu que les zones sensorielles sont également des zones mnésiques.

Ce qui est intéressant, c'est que selon l'intervalle (SOA) entre l'image amorce et l'image cible, les composants activés par l'amorce auront ou non le temps de s'associer les uns aux autres. *Afin de distinguer les étapes qui nous préoccupent, nous supposons que l'effet d'amorçage sur un objet cible sera différent selon l'état « d'aboutissement » de la connaissance suscitée préalablement par l'amorce.*

Nous proposons que présenter un stimulus un temps très court, permettra seulement l'activation des composants sensori-moteurs constitutifs du stimulus. Dans ce cas précis, la connaissance émergente en lien avec l'objet amorce sera constituée de composants activés indépendamment les uns des autres. Selon nous, cette indépendance se traduira par des effets d'amorçage spécifiques de chaque composant sur le traitement de la cible, si elle partage certains de ces composants. Cette idée est illustrée dans la partie SOA « court » de la figure 14. Nous parlerons d'effets additifs de chaque composant (composant 1, composants 2...).

En revanche, avec un SOA un peu plus long, les processus d'intégration pourront se mettre en place et la connaissance qui émergera à partir du stimulus amorce sera différente de la simple addition des composants élémentaires. Selon nous, la représentation mentale intégrée suscitée par l'amorce ne pourra faciliter le traitement de la cible que lorsque cette dernière correspondra à une représentation mentale identique ou tout du moins en grande partie similaire. Les composants ne pourront s'exprimer qu'en fonction des autres composants : cette dépendance se traduira selon nous par une interaction entre les composants étudiés. La partie SOA « long » de la figure 14 illustre l'idée que l'amorce intégrée ne peut

faciliter le traitement de la cible que si les deux entités sont similaires.

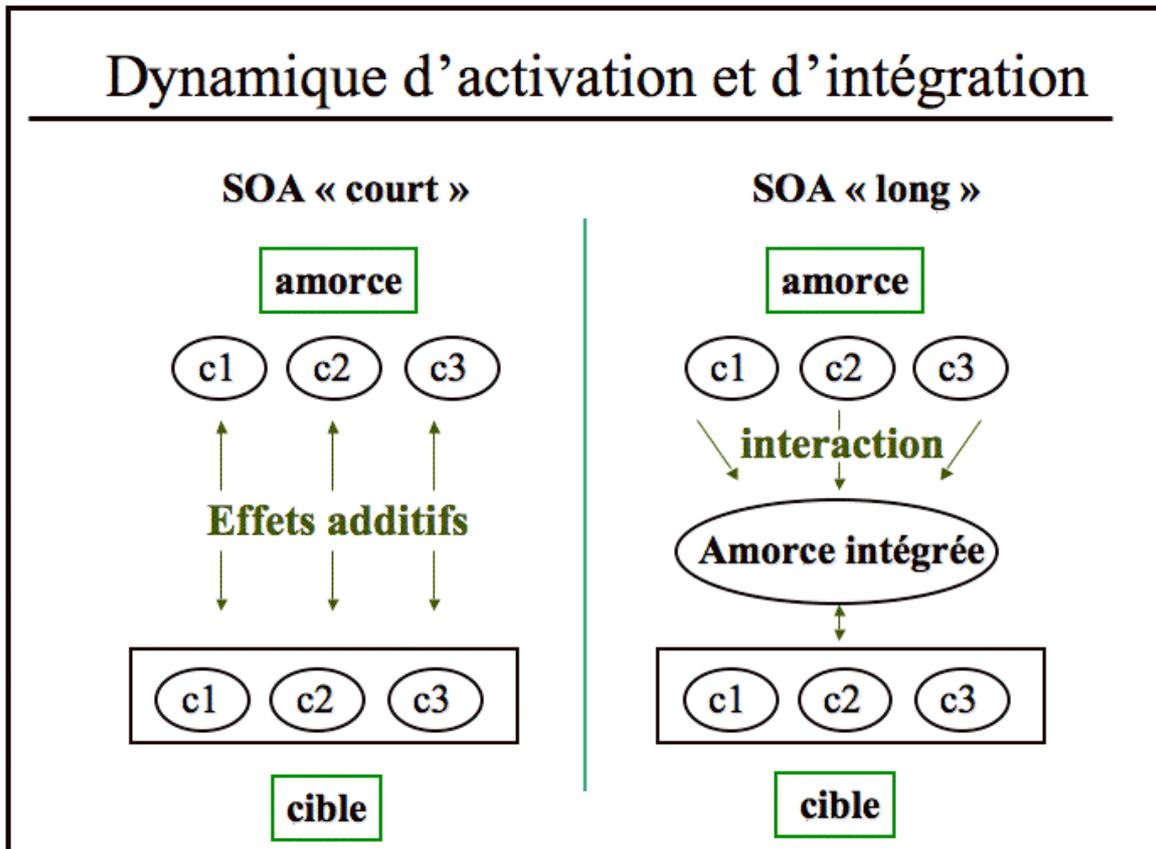


Figure 14. Illustration de l'influence des processus d'activation et d'intégration sur le phénomène d'amorçage.

Des effets additifs sont attendus lorsque les composants sensori-moteurs de l'amorce ne sont pas encore intégrés les uns aux autres. En revanche, lorsque le SOA a permis leurs intégrations, seule une interaction peut être observée.

Les SOA.

Il est important de noter que déterminer les délais temporels les plus à mêmes de mettre en évidence les processus qui nous intéressent a été l'un des objectifs de nos expériences. Malgré les observations en neurosciences d'interactions et d'intégrations très précoces entre les aires primaires, il n'est pas aisé de déterminer d'emblé les valeurs adéquates à utiliser. Les délais entre amorce et cible ont donc varié au fur et à mesure de l'évolution de nos expériences, afin de pouvoir proposer les SOA les plus efficaces.

Hypothèses générales.

/ Nous postulons qu'une connaissance mentale qui émerge est le résultat de l'activation d'un ensemble de composants sensoriels et moteurs. En termes de traces mnésiques, la trace est dite multimodale.

/ Nous postulons un processus de diffusion d'activation entre les composants d'une connaissance. Les composants qui ne sont pas perceptivement stimulés et qui pourtant composent généralement la connaissance seront donc rapidement activés en parallèle. Il s'agit de l'activation de composants « mnésiques ».

/ Nous postulons également, que les composants multisensoriels et moteurs d'une connaissance qui émerge sont reliés petit à petit les uns aux autres, par un processus d'intégration. La connaissance finale (« aboutie ») sera différente de la somme des composants initialement activés.

3.7. Plan expérimental

La partie expérimentale de ce travail de thèse a été élaborée en fonction des objectifs présentés dans la section 2.6. et à partir d'un paradigme d'amorçage à court terme.

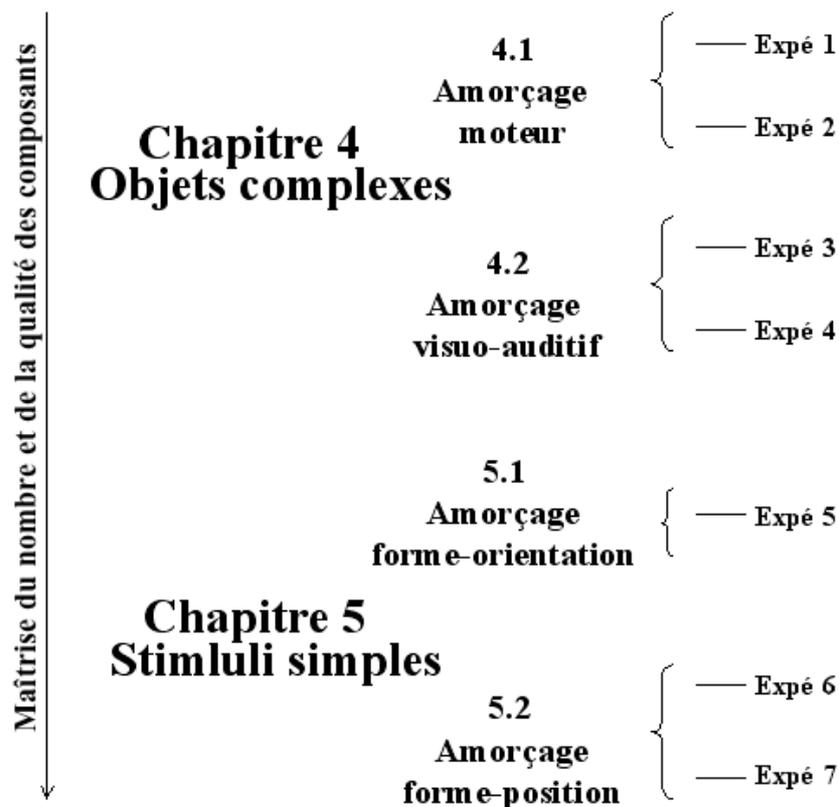
Le premier chapitre va concerner une série d'expériences réalisées à partir de photographies d'objets complexes usuels.

Le matériel des expériences 1 et 2 concernera des outils de bricolage ou de cuisine, c'est-à-dire des objets définis entre autres par de nombreuses propriétés sensori-motrices (formes, gestes, bruits, etc.). Nous nous intéresserons plus particulièrement à l'intégration entre les propriétés motrices et les autres propriétés perceptuelles. Les SOA utilisés afin de distinguer les processus d'activation et d'intégration entre ces composants seront de 1000, 300 et 100 ms. Les expériences 3 et 4 utiliseront quant à elles des objets définis plus particulièrement par leurs attributs sonores et visuels. Les SOA seront de 500, 100 et 50 ms.

Le second chapitre, en revanche, présentera des paradigmes d'amorçage à court terme

élaborés à partir de stimuli plus simples, construits en fonction de composants sensoriels particuliers, maîtrisés.

L'expérience 5 traitera de la forme et de l'orientation de figures géométriques. Les délais d'amorçage seront de 500 et 100 ms. Enfin, les expériences 6 et 7 concerneront les processus d'intégration entre les composants forme et position de figures également géométriques. Les SOA utilisés seront de 500 et 100 ms.



PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre 4

Études des processus d'activation et d'intégration à partir d'images d'objets complexes

Nous supposons que voir l'image d'un objet usuel active en mémoire une connaissance particulière constituée de différents éléments sensoriels et moteurs. Tous ces composants ne sont pas stimulés directement par l'image observée ; certains dits « mnésiques » sont le résultat d'une diffusion d'activation permise par les interactions précoces qui relient les différentes aires neuronales et entre autres les aires primaires. Observer un outil de bricolage active donc les éléments constitutifs (visuels) de l'outil, mais également un ensemble d'éléments moteurs, issus des multiples interactions que nous avons dans la vie courante avec cet objet. De la même façon, lorsque nous voyons un artéfact de notre environnement qui est systématiquement associé à des propriétés sonores, nous supposons qu'observer son image va activer une représentation mentale (une connaissance) constituée en partie de composants auditifs.

L'objectif des expériences présentées dans ce chapitre 4, a été de confirmer les aspects sensori-moteurs des connaissances nécessaires à l'identification d'objets usuels.

Grâce à l'utilisation d'un paradigme d'amorçage à court terme, nous avons supposé que des éléments sensoriels ou moteurs communs entre les stimuli amorce et cible pouvaient faciliter le traitement de la cible, malgré le fait que la tâche n'impliquait pas explicitement le

traitement de ces propriétés.

Les propriétés que nous avons explorées concernaient les aspects moteurs, auditifs et visuels d'objets complexes, c'est-à-dire certains composants mnésiques perceptivement présents et d'autres non.

Nous rappelons également que le but essentiel de ces travaux était de mettre en évidence le processus d'intégration supposé relier les différents composants activés, constitutifs d'une connaissance mentale. Pour cela, nous avons manipulé le délai temporel entre la présentation de l'objet amorce et la présentation de l'objet cible.

4.1. Les processus d'activation et d'intégration des composants moteurs

Les deux expériences présentées dans cette section ont été réalisées à partir d'un paradigme d'amorçage à court terme associé à une tâche de catégorisation, soit entre des images d'animaux et d'artéfacts soit entre des outils de bricolage et de cuisine.

Quelle que soit la tâche, les composants mnésiques que nous avons manipulés concernaient les propriétés motrices des objets usuels présentés. Nous nous sommes en effet intéressés à l'amorçage moteur susceptible d'avoir lieu entre des objets nécessitant des gestes d'utilisation similaires. Nous entendons par gestes similaires, des objets qui lors de leur utilisation impliquent qu'ils soient manipulés de manière similaire (Myung et al., 2006). La relation motrice entre les amorce et cible de chaque couple était ainsi basée sur les éléments de manipulations partagés ou non entre les objets.

Nous avons également manipulé un autre facteur qui pouvait être commun ou non entre l'amorce et la cible, à savoir la catégorie sémantique des objets. L'amorce et la cible pouvaient appartenir à la même catégorie ou à des catégories différentes. Même s'il est vrai que la catégorie sémantique n'est pas un composant perceptuel au même titre que le composant moteur, nous considérons que la catégorie sémantique émerge de l'intégration de multiples composants perceptuels. Donc l'objectif ici était de dissocier l'effet d'activation d'un composant moteur indépendamment de l'activation des autres composants perceptuels de l'amorce (pour un SOA court) de son intégration aux autres composants (pour un SOA long).

4.1.1. Expérience 1 (1000 ms & 300 ms)

Objectifs et hypothèses

Dans cette première expérience, les cibles étaient des images d'animaux ou d'artéfacts (outils de bricolage ou ustensiles de cuisine), alors que les amorces étaient toujours des artéfacts. La tâche des sujets étant de catégoriser les cibles en tant qu'« animal » ou « artéfact »; il leur était impossible d'anticiper la réponse à la cible à partir de l'amorce. Ainsi, seuls les couples artéfact/artéfact nous intéressaient, car c'est au sein de ces couples que nous avons manipulé nos facteurs expérimentaux. Notre hypothèse était que les représentations mentales qui émergent lorsque l'on voit un outil de bricolage ou de cuisine sont constituées de composants élémentaires, et notamment de composants moteurs. La préactivation de ces derniers lors de la présentation de l'amorce doit faciliter la catégorisation ultérieure de la cible, celle-ci se basant sur l'ensemble des composants sensori-moteurs qui lui sont associés. De la même façon, si l'objet amorce et l'objet cible appartiennent à la même catégorie (ici cuisine ou bricolage), alors le traitement de la cible sera plus rapide comparativement à la condition où ils sont de catégories différentes, amorce et cible partageant dans ce cas un grand nombre de composants perceptuels.

Ceci dit, cette hypothèse n'est valable que lorsque les composants de l'amorce n'ont pas encore été intégrés les uns aux autres. Quand le processus d'intégration a pu se mettre en place, la représentation mentale en lien avec l'objet amorce devient une entité unique et non une somme de composants. Dans ce cas de figure, elle ne facilitera le traitement de la cible que si elle partage un nombre d'éléments communs très important avec la cible. Si seul le geste d'utilisation est similaire entre les représentations mentales en lien avec les deux objets, alors l'amorce n'aura pas un poids suffisant pour faciliter le traitement de la cible. Le facteur geste seul, ne pourra avoir un impact sur le traitement de la cible.

Afin de mettre en évidence ces deux étapes, nous avons constitué deux groupes de sujets. Le paradigme d'amorçage du premier groupe utilisait un SOA de 1000 ms. Selon nous, ce délai très important nous assurait que le processus d'intégration pouvait avoir le temps de se mettre en place. Le SOA utilisé pour le second groupe était quant à lui de seulement 300 ms. Nous avons supposé que ce délai était suffisamment court pour correspondre uniquement aux activations des composants de l'objet amorce.

Il est à noter que les choix des SOA que nous avons faits dans cette première expérience étaient relativement arbitraires. Les informations issues des neurosciences qui traitent du processus d'intégration ne concernent généralement pas la modalité motrice. De plus, nous savons qu'il s'agit d'un processus relativement précoce dans la construction de percepts multisensoriels ; mais qu'en est-il de l'émergence de composants mnésiques ? Par ailleurs, la tâche proposée aux participants peut, elle aussi, influencer la période de mise en place des processus neuronaux d'intégration. Au final, les choix que nous avons réalisés concernant les SOA dans cette expérience étaient des délais larges et très distincts susceptibles d'être affinés par les expériences ultérieures.

En ce qui concerne les hypothèses opérationnelles, nous avons supposé qu'avec un SOA long de 1000 ms, les composants élémentaires de l'amorce seraient intégrés les uns aux autres dans une trace « unitaire ». Dans ce cas de figure, le facteur geste seul ne peut, du fait qu'il aura été intégré aux autres composants, avoir un effet sur le traitement de la cible. La dépendance de son expression aux autres composants se traduira par une interaction significative entre ce facteur et l'autre facteur manipulé. En ce qui concerne le facteur catégorie, nous avons émis les mêmes hypothèses. Selon nous, les composants moteurs tiennent une place importante dans les représentations mentales en lien avec les outils. Les connaissances fonctionnelles sont en effet des propriétés essentielles de ces objets. Ainsi, nous avons postulé que lorsque la représentation de l'amorce est intégrée, même si elle partage de nombreux composants avec la cible, une différence du geste d'utilisation empêchera l'effet d'amorçage.

En revanche, avec un SOA court de 300 ms, nous avons postulé que le facteur geste pouvait avoir un effet facilitateur s'il était partagé par l'amorce et la cible, quelle que soit la similarité des autres composants. Par ailleurs, nous avons également supposé un effet

facilitateur du facteur catégorie lorsque les objets amorce et cible appartiennent à la même catégorie plutôt qu'à une catégorie différente. Statistiquement, nous avons supposé voir apparaître des effets additifs de chaque facteur.

Méthode expérimentale

Participants

Quarante étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge des participants, soit 27 femmes et 13 hommes, était de 20,5 ans.

Matériel et plan d'expérience

Un paradigme d'amorçage à court terme a été élaboré. La tâche des sujets était de catégoriser les cibles en tant qu'« animal » (10 cibles) ou « artéfact » (10 cibles). Les cibles étaient répétées quatre fois aléatoirement et précédées d'amorces qui étaient toutes des artéfacts (80 amorces). Au total 100 photos ont été utilisées dans cette expérience : 45 photos d'outils de bricolage, 45 photos d'ustensiles de cuisine et enfin 10 photos d'animaux.

Sélection des stimuli

Toutes les photographies ont été collectées sur Internet. Les principaux sites à partir desquels elles ont été obtenues concernent des enseignes de vente de meubles ou d'outils de bricolage. Les autres photos proviennent de Google image. Les artéfacts photographiés étaient des objets usuels sélectionnés en fonction de deux critères. La propriété « catégorie » tout d'abord. Les couples amorce-cible ont été construits de manière à former pour la moitié d'entre eux, des couples appartenant à la même catégorie sémantique et pour l'autre moitié, des couples de catégories sémantiques différentes. Les catégories concernaient « la cuisine » ou « le bricolage ». La moitié des cibles artéfacts était de la première catégorie, l'autre moitié de la seconde catégorie. La propriété « geste » ensuite. Les objets ont été sélectionnés en fonction du geste qu'ils étaient censés induire : la moitié des couples était constituée d'objets impliquant des gestes similaires et l'autre moitié était constituée d'objets impliquant des gestes différents.

Notons que ces artefacts ont été également sélectionnés en fonction de leurs qualités photographiques. Les objets devaient être clairement et rapidement identifiables et avoir un angle de vue relativement classique. De plus leur familiarité a été contrôlée, les objets choisis étaient quotidiennement présents dans notre environnement occidental.

Enfin, il est important de souligner que la standardisation de la présentation de ces nombreuses photos a été assurée par le logiciel Adobe Photoshop. Le travail a consisté à effacer tous les éléments qui n'appartenaient pas à l'artéfact, ceux qui pouvaient l'entourer ou des éléments associés, telle que la marque des objets. Les objets étaient donc isolés de leur environnement d'origine et disposés sur un fond blanc. Nous avons également modifié la taille photographique des objets en leur donnant systématiquement le même format : les images avaient 370 pixels de largeur. Enfin, il est à noter que l'ensemble de ce matériel est depuis régulièrement utilisé et complété par les doctorants ou étudiants en Master du laboratoire EMC, en tant que matériel expérimental.

Composition des couples amorce/cible

Chacune des 10 cibles artefact a été associée à quatre amorces artefact différentes selon les propriétés citées précédemment, à savoir la « catégorie » et le « geste ». Ainsi, les couples constitués pouvaient appartenir à quatre conditions expérimentales différentes : soit l'amorce et la cible étaient de même catégorie et impliquaient des gestes d'utilisation similaires ; soit l'amorce et la cible étaient de même catégorie et impliquaient des gestes d'utilisation différents ; soit l'amorce et la cible étaient de différentes catégories et impliquaient des gestes d'utilisation similaires ; soit, enfin, l'amorce et la cible étaient de différentes catégories et impliquaient des gestes d'utilisation différents. Ainsi le contrebalancement de la relation amorce/cible était réalisé en intra-sujet.

Au final, deux listes ont été constituées et réparties sur l'ensemble des sujets, dans lesquelles l'ordre des images était aléatoire sans contrainte particulière. La figure 15 présente quatre exemples de couples pour une cible donnée.

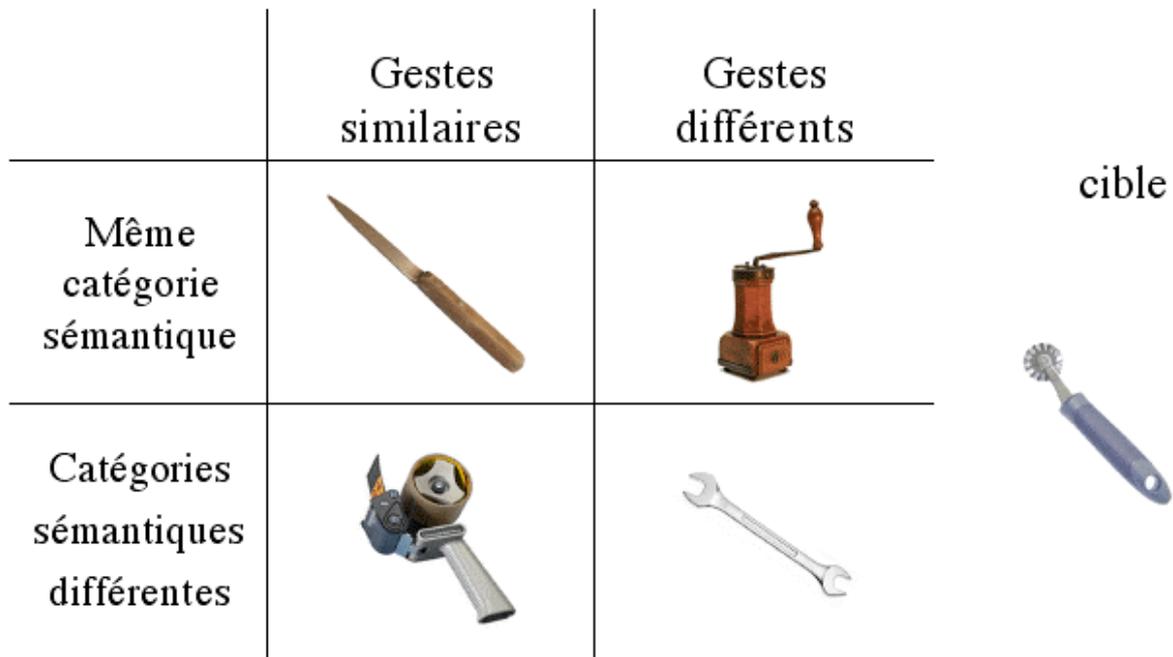


Figure 15. Exemple d'une cible précédée par une amorce dans chaque condition expérimentale.

Pour finir, 40 couples distracteurs, artéfact/animal, présentant des cibles animales ont été intégrés de façon aléatoire aux couples artéfacts/artéfacts. Les cibles animales étaient également répétées quatre fois, précédées pour la moitié d'amorces appartenant à la catégorie « cuisine » et pour l'autre moitié d'amorces appartenant à la catégorie « bricolage ». Ces couples distracteurs ont été utilisés uniquement pour créer la tâche.

Enfin, toutes les passations débutaient par six couples d'images d'entraînement avec des stimuli autres que les stimuli expérimentaux. Les temps de réponses des sujets n'étaient pas enregistrés par l'ordinateur, le rôle de ces couples étant de permettre aux sujets de s'habituer à la tâche.

Dispositif expérimental et procédure

L'expérience a été réalisée sur un micro-ordinateur Macintosh (eMac G4 avec VRAM : 32Mo ; mémoire vive : 768 Mo ; vitesse processeur : 1Ghz). Le logiciel utilisé pour créer et gérer l'expérience était Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt et Provost, 1993). L'ordinateur avait un écran de 17 pouces, avec une résolution de « 1280*960 » (16 millions de couleurs) et un taux de rafraîchissement de 72 Hz. Enfin, le contraste et la luminosité

étaient maintenus constants entre toutes les passations. La salle expérimentale utilisée pour les passations était insonorisée et située dans le laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC) de l'Université de Lyon. La lumière était éteinte pour concentrer l'attention des participants sur les images. Avant la session expérimentale, le participant remplissait un formulaire de consentement qui renseignait entre autre sur la qualité de sa vue. Une fois dans la salle, il s'installait face à l'ordinateur à 60 cm environ de l'écran et il était informé que l'expérience allait durer une dizaine de minutes.

Déroulement de l'expérience

La consigne donnée aux participants était présentée sur l'écran de l'ordinateur puis expliquée par l'expérimentatrice. Il était demandé au sujet de juger le plus rapidement et le plus exactement possible, si chaque deuxième image (des couples amorce/cible) représentait un animal ou un artéfact. Le sujet devait répondre à l'aide de touches prévues à cet effet sur le clavier (voir la figure 16). Dans toutes nos expériences, ces touches sont le « x » et le « : » du clavier. Enfin, un contre-balancement a été réalisé : ainsi, autant de sujets ont utilisé leur main droite pour répondre aux artéfacts que leur main gauche (et réciproquement pour les animaux).

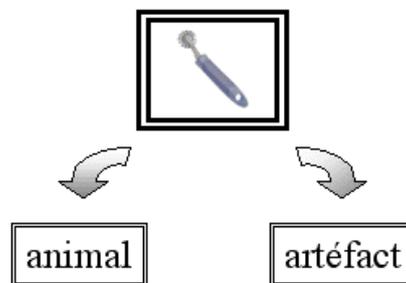


Figure 16. Illustration de la tâche des sujets.

Déroulement d'un essai

Deux groupes de sujets ont été testés avec deux SOA différents. Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 1000 ms. À sa disparition, une image amorce apparaissait pendant 1000 ms pour le premier groupe et 300 ms pour second (chaque groupe était constitué de 20 sujets). L'amorce était immédiatement suivie par une image cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des

deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 1000 ms. La figure 17 présentée ci-dessous illustre le déroulement d'un essai.

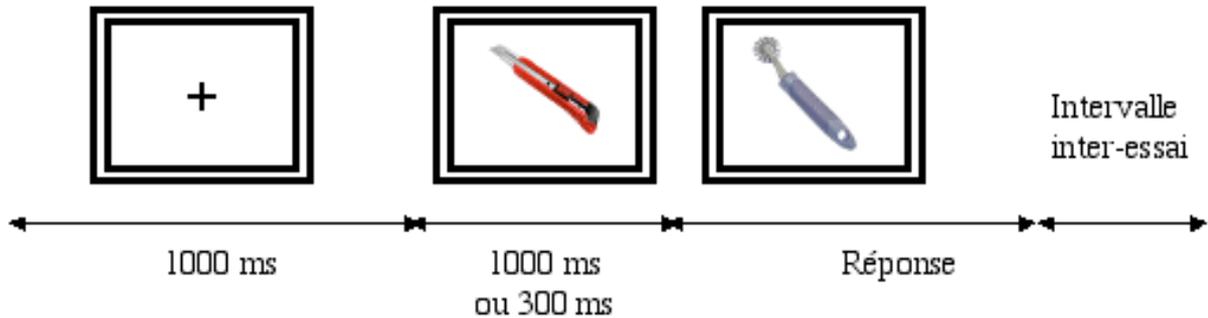


Figure 17. Exemple d'un essai de l'expérience 1.

Dans cet exemple, les gestes d'utilisation sont similaires entre l'amorce et la cible mais pas les catégories.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses. De la même façon, les latences supérieures à 1200 ms et celles inférieures à 100 ms n'ont pas été traitées. Nous avons en effet considéré que les temps supérieurs à 1200 ms avaient pu faire l'objet d'autres traitements cognitifs qui interféraient avec les effets d'amorçage étudiés. Quant aux temps inférieurs à 100 ms, nous les avons considérés comme trop courts pour une réelle catégorisation des stimuli. Selon ces critères, moins de 5% des latences ont été supprimés.

Le tableau 1 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour effectuer la catégorisation de la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 1000 ms		SOA 300 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Gestes similaires	Mêmes catégories	497 ms (10,6)	97,0 %	490 ms (18,6)	98,5 %
	Catégories différentes	504 ms (11,9)	100 %	492 ms (18,4)	99,5 %
Gestes différents	Mêmes catégories	502 ms (13,4)	99,0 %	495 ms (17,3)	95,0 %
	Catégories différentes	491 ms (10,3)	98,0 %	487 ms (15,0)	96,5 %

Tableau 1. Expérience 1. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance avec comme facteurs aléatoires le facteur sujets, comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets, les variables « geste » et « catégorie ». Nous n'avons pas réalisé d'analyse par items, jugeant le nombre d'items par catégorie trop faible. Enfin, il est à noter que nous évoquerons tous les résultats significatifs en lien avec nos facteurs principaux, ainsi que les résultats qui apportent des informations pertinentes par rapport à nos hypothèses. Cette remarque sera valable pour l'ensemble des expériences suivantes, malgré le fait que nous ne la répèterons pas.

Concernant les latences, les résultats n'ont révélé aucun effet principal significatif, ni pour le facteur « présentation », ni pour les facteurs « geste » et « catégorie ».

Seule l'interaction geste*catégorie a tendance à apparaître, $F(1, 38) = 3.03$, $p = 0.09$.

Elle est illustrée dans la figure 18. Toutefois, aucun effet simple significatif n'a été observé.

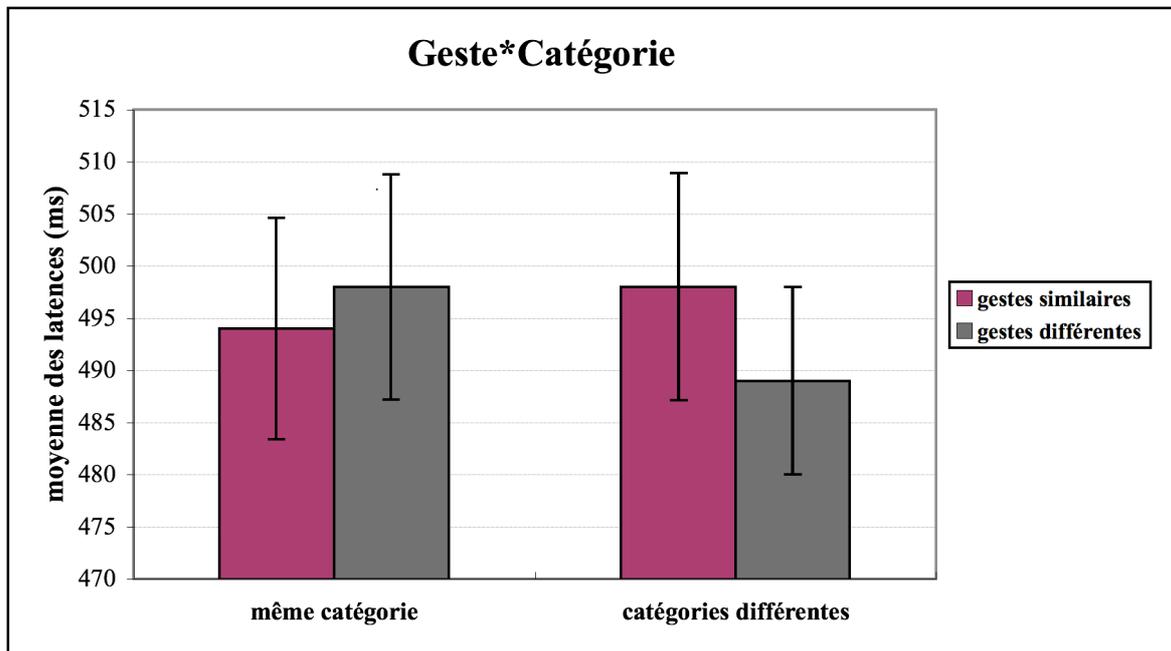


Figure 18. Expérience 1 : tendance à l'interaction « geste*catégorie ».

Enfin, les pourcentages de bonnes réponses obtenus dans cette expérience sont tous supérieurs à 95% quelle que soit la condition, ce qui explique peut éventuellement expliquer l'absence d'effet significatif révélée par cette analyse.

Discussion

À l'issue de cette première expérience, nous attendions pour un SOA court des effets d'amorçage additifs de la similarité gestuelle et de la similarité catégorielle entre l'amorce et la cible. En revanche, pour le SOA long, nous attendions un effet d'amorçage uniquement dans la condition où l'amorce et la cible était similaires à la fois d'un point de vue gestuel et catégoriel, traduisant selon nous l'intégration des composants de l'amorce. Pourtant, ni le facteur geste, ni d'ailleurs le facteur catégorie, n'ont eu d'effet significatif sur les temps de réponse des sujets. La seule tendance est celle d'une interaction entre ces facteurs, indépendante du SOA. Celle-ci va dans le sens d'une intégration, c'est-à-dire que le composant moteur peut potentiellement avoir une influence sur le traitement de la cible mais en fonction de la modalité du facteur catégorie et réciproquement. Bien entendu, la faiblesse

de l'interaction et l'absence d'effet simple significatif ne nous permet pas de conclure.

Toutefois, cette tendance nous permet peut-être de penser que les SOA utilisés n'étaient pas vraiment les bons pour dissocier les mécanismes d'activation et d'intégration. Le choix des délais a été comme nous l'avons déjà expliqué, approximatif. Il est possible qu'à 300 ms, l'intégration ait déjà eu lieu. À contrario, un SOA de 1000 ms est peut-être trop important pour que l'amorce ait un réel impact sur le traitement de la cible.

Par ailleurs, il est également possible que la tâche des sujets implique un traitement assez superficiel des stimuli. La tâche réalisée par les sujets décider si l'image cible qui apparaît à l'écran est un animal ou un objet manufacturé est peut être trop simple (avec le matériel utilisé ici) pour un réel effort cognitif d'identification de la cible. Il est possible que la discrimination visuelle des animaux se fasse à partir d'informations visuelles différentes de celles nécessaires au traitement des artéfacts, s'appuyant plutôt sur la présence ou non de courbes particulières, spécifiques aux animaux.

Une étude récente en potentiels évoqués, réalisée par Proverbio, Del Zotto, et Zani (2007), a montré que nous traitons plus rapidement les images d'animaux que les images d'objets inanimés, grâce à des activations neuronales précoces empruntant des trajets distincts. Dans leur expérience, les sujets devaient juger si une paire de dessins représentait deux animaux ou deux objets et ils ne devaient pas répondre s'il s'agissait d'une paire mixte. Les résultats montrent une réponse dès 150 ms dans la région occipitale aux entités vivantes. Le traitement des objets en revanche, induit une activité précoce mais légèrement décalée de 50 ms en moyenne dans la région frontale, qui selon les auteurs indique une prévalence des composants fonctionnels plutôt que visuels dans la reconnaissance des objets manipulables. Pour Proverbio et ses collègues, les différences observées précocement dans l'activité du cerveau durant le traitement des stimuli sont sans doute dues à des différences structurales entre animaux et artéfacts. Les animaux seraient plus homomorphiques que les objets, alors que ces derniers partageraient entre eux moins de caractéristiques. Cette expérience tend donc à montrer que le traitement des objets semble s'appuyer sur un ensemble de processus qui analysent à la fois les propriétés physiques et fonctionnelles des objets alors que la reconnaissance des animaux semble essentiellement engager l'identification sensorielle des attributs physiques comme la face, les yeux ou les membres des animaux. Bien sûr, ces analyses sont issues d'une comparaison systématique entre deux entités, mais nous pouvons tout de même retenir la différence temporelle significative en fonction de la nature des entités.

Dans notre expérience, il est possible que le simple traitement visuel des cibles

permette aux sujets de savoir s'il s'agit ou non d'un animal et de répondre en fonction de cette analyse.

Pour conclure, l'objectif de l'expérience suivante a donc été de modifier la tâche des sujets et d'utiliser des SOA différents, plus à même de mettre en évidence les processus qui nous intéressaient.

4.1.2. Expérience 2 (300 ms & 100 ms)

Objectifs et hypothèses

Les objectifs et hypothèses de cette expérience étaient les mêmes que ceux développés dans l'expérience précédente. Nous avons cependant changé certains paramètres qui concernaient les SOA et la tâche des sujets.

En ce qui concerne les SOA, nous avons considéré que 300 ms devait être un délai à partir duquel le processus d'intégration pouvait en réalité déjà se mettre en place. Par déduction, un délai inférieur à 300 ms a donc été choisi pour mettre en évidence les processus d'activation. Avec un SOA de 100 ms, Stoet et Hommel (2002) montrent dans leurs travaux (voir section 3.4.) que la planification d'une action motrice B est facilitée par la planification d'une action A qui la précède, si elles partagent des dimensions spatiales communes. Il semble qu'avec ce délai, un amorçage sur un composant particulier peut se réaliser entre la construction des deux représentations mentales en lien avec les actions A et B, quelle que soit la relation sur les autres composants. Nous avons donc décidé d'utiliser le même SOA que Stoet et Hommel pour mettre en évidence les processus d'activation.

Enfin, la tâche des sujets a été modifiée afin de la rendre un peu plus difficile et surtout d'impliquer davantage les composants sensori-moteurs manipulés expérimentalement. Il leur était demandé de catégoriser les images en termes d'objets de cuisine ou d'objet de bricolage. Selon nous, l'effort cognitif nécessaire pour réaliser la tâche devait être plus grand que dans l'expérience précédente, car l'analyse des objets s'appuyait

sur une discrimination plus complexe. Nous avons pensé que dans ce contexte l'effet d'amorçage pourrait apparaître.

Méthode expérimentale

Participants

Quatre-vingts étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge des participants, soit 55 femmes et 25 hommes, était de 21,1 ans.

Matériel et plan d'expérience

Le dispositif expérimental et la procédure étaient identiques à l'expérience précédente mais avec un temps de présentation de l'amorce de seulement *300 ms* ou *100 ms* selon le groupe. En revanche, la nouvelle tâche consistait pour les sujets à juger si la cible représentait un outil de bricolage ou un ustensile de cuisine (voir la figure 19). Ainsi, les couples distracteurs de la première expérience qui comportaient des cibles animales ont été retirés.

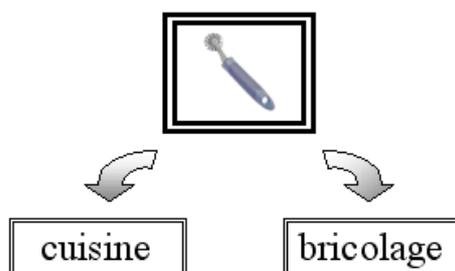


Figure 19. Tâche des sujets.

Le matériel était donc constitué de 50 images d'artéfacts appartenant soit à la catégorie « bricolage » soit à la catégorie « cuisine ». Dix d'entre elles étaient les cibles, dont la moitié appartenait à la première catégorie et l'autre moitié à la seconde.

Afin d'augmenter le nombre d'essais, tous les couples amorce/cibles ont été répétés

trois fois. Ainsi, chaque sujet voyait trois blocs de 40 essais chacun. La même cible pouvait être précédée d'une amorce de même catégorie et impliquant un geste d'utilisation similaire, d'une amorce de même catégorie et impliquant un geste différent, d'une amorce de catégorie différente et impliquant un geste similaire et enfin d'une amorce de catégorie différente et impliquant un geste différent. Au final, deux listes de contrebalancement ont été constituées dans lesquelles l'ordre des images réparties à travers les blocs était aléatoire. Toutes les passations débutaient par six couples d'images d'entraînement.

Enfin, comme dans l'expérience précédente, un contre-balancement à été réalisé au niveau des touches de réponses.

Déroulement d'un essai

Chaque essai débutait par un point de fixation au centre de l'écran pendant 1000 ms. À sa disparition, une image amorce apparaissait pendant 300 ms ou 100 ms selon le groupe de sujets (chaque groupe comportait 40 sujets). L'amorce était immédiatement suivie par une image cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des deux touches réponses. L'intervalle inter-essai était de 1000 ms. La figure 20 illustre le déroulement d'un essai.

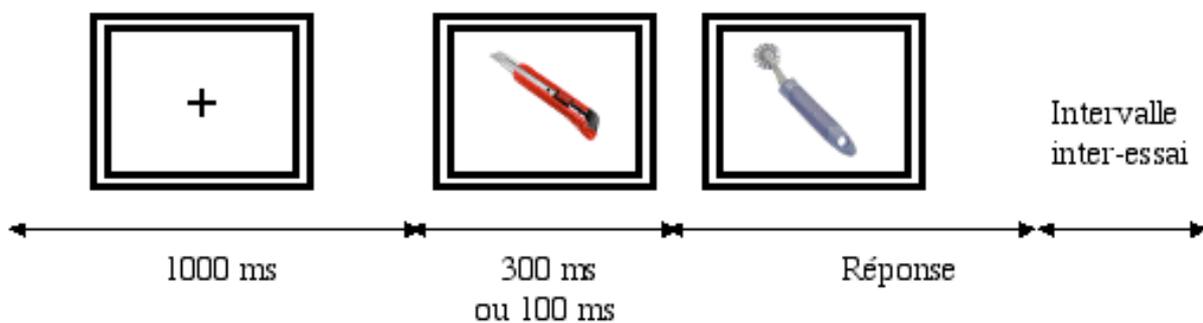


Figure 20. Exemple d'un essai de l'expérience 2.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences

associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses selon les mêmes critères que ceux décrits dans l'expérience précédente. Au final, moins de 5% des latences ont été supprimés.

Le tableau 2 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour effectuer la catégorisation de la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 300 ms		SOA 100 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Gestes similaires	Mêmes catégories	611 ms (8,2)	94,6 %	622 ms (8,9)	93,5 %
	Catégories différentes	631 ms (7,7)	93,8 %	639 ms (8,2)	92,3 %
Gestes différents	Mêmes catégories	627 ms (8,1)	93,0 %	625 ms (8,4)	93,0 %
	Catégories différentes	626 ms (7,7)	94,5 %	649 ms (8,4)	91,2 %

Tableau 2. Expérience 2. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance, avec comme facteur aléatoire le facteur sujets, comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets les variables « geste » et « catégorie ».

Comme dans la première expérience, l'analyse des taux de bonnes réponses n'a révélé aucun effet principal ni aucune interaction significative. Là encore le faible taux d'erreurs

peut expliquer ce résultat.

Concernant les latences, les résultats ont révélé un effet principal significatif du facteur « catégorie », $F(1, 78) = 29.26$, $p < 0.0005$. Les sujets mettent 621 ms en moyenne pour traiter la cible lorsqu'elle est de la même catégorie que l'amorce, alors qu'ils mettent 636 ms en moyenne lorsqu'elles sont de catégories différentes.

Par ailleurs, nous avons obtenu une interaction significative catégorie*SOA, $F(1, 78) = 4.5$, $p < 0.05$. Avec un SOA court de 100 ms, les sujets sont plus rapides pour traiter des cibles précédées d'amorce de même catégorie sémantique (623 ms) que de catégories différentes (644 ms), $F(1, 39) = 28.08$, $p < 0.0005$. De la même façon, les résultats montrent qu'avec un SOA long de 300 ms, les sujets sont également plus rapides pour traiter des cibles précédées d'amorce de même catégorie sémantique (619 ms) que de catégories différentes (628 ms), $F(1, 39) = 5.45$, $p < 0.05$. Ainsi, l'interaction traduit en réalité simplement un plus fort effet du facteur « catégorie » à 100 ms qu'à 300 ms.

Par ailleurs, les résultats ont révélé un effet significatif du facteur « geste », $F(1, 78) = 6.10$, $p < 0.05$. Les sujets mettent 626 ms en moyenne pour traiter la cible lorsque l'amorce et la cible nécessitent des gestes similaires alors qu'ils mettent 632 ms en moyenne lorsqu'elles nécessitent des gestes différents.

Enfin, de façon plus intéressante pour nos hypothèses, l'analyse de variance a montré une double interaction geste*catégorie*SOA, $F(1, 78) = 8.98$, $p < 0.005$. Cette interaction est illustrée dans la figure 21. Comme le montre la figure, les résultats semblent être tout à fait conformes aux hypothèses émises, c'est-à-dire des effets additifs des facteurs geste et catégorie pour un SOA de 100 ms et une interaction entre ces mêmes facteurs pour un SOA de 300 ms. Afin de le vérifier, nous avons réalisé des analyses de variance séparées pour chaque SOA.

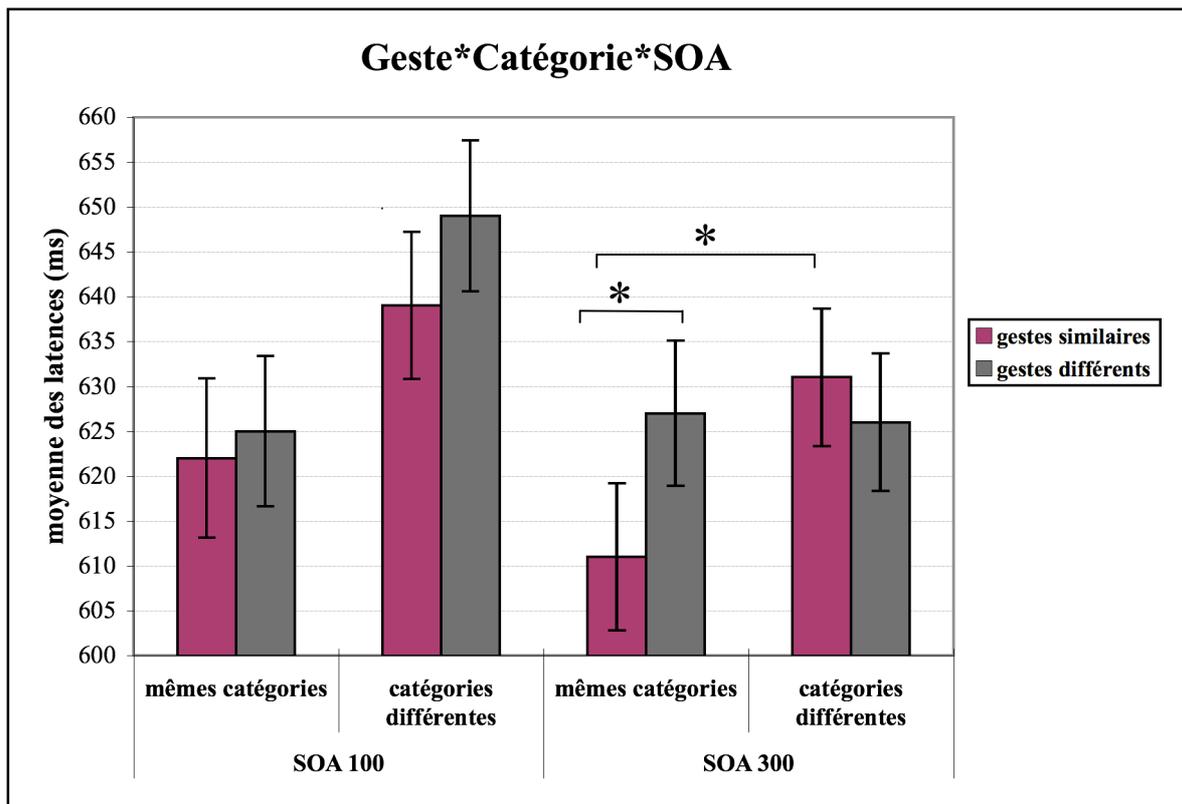


Figure 21. Expérience 2 : double interaction « geste*catégorie*SOA ».

Analyse avec un SOA de 300 ms

Les résultats ont révélé un effet significatif du facteur « catégorie », $F(1, 39) = 5.46$, $p < 0.05$. Les sujets mettent 619 ms en moyenne pour traiter la cible lorsqu'elle est de la même catégorie que l'amorce, alors qu'ils mettent 628 ms en moyenne lorsqu'elles sont de catégories différentes.

De plus, l'analyse de variance a montré une interaction significative geste*catégorie, $F(1, 39) = 7.76$, $p < 0.05$. Les analyses des effets simples ont indiqué un effet du facteur « geste » significatif uniquement quand l'amorce et la cible sont de même catégorie, $F(1, 39) = 8.82$, $p < 0.01$ et un effet du facteur « catégorie » uniquement lorsque l'amorce et la cible nécessitent des gestes d'utilisation similaires, $F(1, 39) = 13.8$, $p < 0.005$. En fait, les réponses sont facilitées lorsque l'amorce et la cible sont similaires à la fois au niveau du geste et au niveau de la catégorie.

L'analyse des résultats va donc dans le sens de notre hypothèse : lorsque le délai est suffisant pour permettre l'intégration des composants de l'objet amorce, l'effet facilitateur de la similarité du facteur geste ne s'exprime que lorsque les objets sont de même catégorie. De la même manière, l'effet facilitateur de la similarité du facteur catégorie ne s'exprime que lorsque les objets impliquent des gestes d'utilisation similaires. Les effets d'amorçage sont donc observés seulement quand la représentation mentale intégrée impliquée par l'amorce comporte un très grand nombre de composants communs avec la représentation mentale impliquée par la cible.

Analyse avec un SOA de 100 ms

Les résultats ont indiqué qu'avec un SOA de 100 ms, les latences sont plus courtes lorsque l'amorce et la cible appartiennent à la même catégorie sémantique (623 ms) plutôt qu'à des catégories différentes (644 ms), $F(1, 39) = 28.08$, $p < 0.0005$.

De la même façon, ils ont indiqué une forte tendance du facteur « geste ». Les latences sont plus courtes lorsque l'amorce et la cible nécessitent un geste similaire (630 ms) plutôt qu'un geste différent (637 ms), $F(1, 39) = 3.96$, $p = 0.054$.

L'analyse des résultats avec un SOA de 100 ms supporte bien l'idée que l'émergence d'une connaissance inclue une étape durant laquelle l'ensemble des composants moteurs et sensoriels sont activés et peuvent s'exprimer chacun indépendamment de l'expression des autres composants. La représentation mentale en est à un stade précoce de sa construction : la cascade des multiples interactions neuronales, censée lier les composants les uns aux autres, ne semble pas avoir encore commencé.

Discussion

Les résultats que nous avons obtenus supportent pleinement les différentes hypothèses que nous avons formulées au début de ce chapitre.

Dans un premier temps, il est intéressant de constater que la catégorisation des cibles, qui n'implique pas directement le traitement de composants moteurs par ailleurs, est pourtant influencée par le facteur geste. La similarité entre le geste impliqué par l'amorce et le geste

impliqué par la cible facilite le traitement de la cible. Les connaissances que nous avons des objets de notre environnement sont donc composées entre autres, d'éléments moteurs constitutifs des aspects fonctionnels des connaissances relatives à ce type d'objets.

Par ailleurs, il s'agit bien de l'activation de composants mnésiques puisqu'ils ne sont pas directement sollicités par la situation. Ils sont selon nous le résultat d'une diffusion d'activation en parallèle des composants visuels activés directement par l'image.

Mais la principale hypothèse à l'origine de cette expérience concernait les processus d'activation et d'intégration, correspondant à des stades différents de l'émergence d'une connaissance. Conformément à nos attentes, nous avons obtenu une double interaction entre les facteurs « geste », « catégorie » et « SOA », qui indique que les influences de chaque facteur varient en fonction du temps qui sépare la présentation de l'objet amorce et de l'objet cible.

Avec un SOA de 100 ms, les effets d'amorçage sont observés lorsque les objets amorce et cible nécessitent des gestes d'utilisation similaires. Les résultats montrent également qu'avec ce délai, un objet amorce appartenant à la même catégorie sémantique qu'un objet cible impliquera un effet d'amorçage, quels que soient les gestes d'utilisation des objets. Ces résultats montrent donc selon nous, que, lorsque le premier objet est présenté, il active la représentation mentale qui lui est associée ; si cette représentation partage une quelconque similarité avec la représentation activée par le second objet, le traitement de ce dernier sera plus efficace.

Mais les résultats confirment également que les effets d'amorçage varient en fonction du temps. Lorsque l'amorce est présentée 300 ms plutôt que 100 ms, la facilitation du traitement de la cible ne peut plus se faire uniquement à partir de la similarité d'un composant isolé. Les effets d'amorçage ne sont observés que lorsque l'amorce et la cible appartiennent à la même catégorie sémantique, c'est-à-dire lorsqu'ils partagent un grand nombre d'autres composants (sensoriels, moteurs, ...) et qu'ils partagent également un geste d'utilisation semblable¹.

¹ Cette expérience a donné lieu à la publication d'un article dans la revue *Acta Psychologica* (Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008).

4.1.3. Conclusions

Grâce à l'utilisation d'un SOA de 100 ms, nous avons pu observer des effets facilitateurs additifs de la similarité gestuelle et de la similarité catégorielle entre amorce et cible. En revanche, avec un SOA de 300 ms, une interaction a été observée, interprétée comme un effet facilitateur de la similarité gestuelle uniquement lorsque les objets étaient de même catégorie. En termes de dynamique d'émergence des connaissances, le temps d'exposition de l'amorce le plus long a selon nous permis l'intégration des différents composants de l'amorce, empêchant une expression indépendante de chacun d'entre eux. Il est donc possible de considérer que la présentation d'un objet produit dans un premier temps une activation des composants élémentaires constitutifs de l'objet ; puis, si l'activation se prolonge, une intégration des composants commence à se mettre en place. Ces activations élémentaires et intégrations multisensorielles et motrices influencent de manière différentielle les traitements qui suivent l'apparition de l'objet inducteur.

À ce stade de nos expérimentations, nous avons voulu, toujours à partir d'un matériel d'objets complexes, maîtriser davantage les composants que nous allions manipuler. Il est difficile en effet de trouver des objets qui nécessitent un geste d'utilisation totalement similaire (des nuances sont nécessairement impliquées au niveau de la main, du bras, de la force motrice...). Par ailleurs, la modulation de la similarité catégorielle est aussi problématique. En effet, la catégorie est le résultat d'un ensemble de composants variés. L'objectif des expériences suivantes a donc été d'isoler deux composants spécifiques, si possible tous les deux mnésiques et de mettre de nouveau en évidence les processus d'activation et d'intégration agissant entre ces facteurs.

4.2. Intégration audio-visuelle

La difficulté des expériences présentées dans cette section a été de réunir des objets susceptibles d'avoir au moins deux composants « mnésiques » en communs, en dehors de la ressemblance visuelle (puisque la modalité de présentation des stimuli était elle-même visuelle). L'objectif a donc été d'identifier puis de réunir un nombre suffisant d'objets usuels, caractérisés entre autres par deux critères qui pouvaient être partagés par ces objets.

Nous avons retenu le facteur « taille » et le facteur « sonorité ». Ainsi, dans l'une des

conditions expérimentales étudiées, les couples amorce/cible pouvaient être des objets de même taille et de même sonorité. Il est important de noter que nous avons considéré la similitude de la sonorité comme le fait que deux objets faisaient tous deux du bruit dans leur utilisation ou qu'ils n'en faisaient pas. Elle n'avait donc pas de rapport avec une ressemblance par rapport à la nature du bruit en lui-même (ton, amplitude...).

Par ailleurs, le facteur taille impliquait que les objets étaient partagés en deux groupes, les objets petits et les objets grands. Cependant, la présentation des images était standardisée : la taille photographique des objets avait systématiquement le même format. Les sujets voyaient donc des images de mêmes tailles photographiques, mais qui présentaient des objets dont la taille variait dans la réalité. Grâce à cette standardisation, nous avons considéré que le facteur taille renvoyait à un facteur mnésique.

4.2.1. Expérience 3 (500 ms & 100 ms)

Objectifs et hypothèses

En voulant maîtriser davantage les composants impliqués dans le processus d'intégration étudié dans nos expériences, nous avons sélectionné des facteurs qui relèvent de la modalité auditive et de la modalité visuelle.

Comme précédemment, nos hypothèses concernaient les étapes d'activation et d'intégration mises en jeu lors de l'émergence des connaissances nécessaires pour catégoriser des objets complexes, présents dans notre environnement quotidien. Parallèlement, elles impliquaient également de montrer la place des composants sensoriels au sein des traces mnésiques. Ainsi, nous avons de nouveau fait l'hypothèse que l'accessibilité aux connaissances mentales nécessaires pour réaliser la tâche, serait influencée par la similarité entre les propriétés sensorielles de l'amorce et de la cible.

En ce qui concerne la tâche, les participants devaient catégoriser des images en termes d'objets naturels ou d'artéfacts. Les objets naturels étant variés, ils incluaient des animaux

mais également des végétaux et des minéraux; nous avons supposé que la tâche nécessiterait ainsi un réel effort cognitif pour identifier les stimuli.

Enfin, les SOA utilisés dans l'expérience présentée ci-dessous était de 100 et 500 ms. Nous avons gardé le SOA de 100 ms pour étudier les effets additifs, délai suggéré par les travaux de Stoet et Hommel (2002). En revanche, pour faire apparaître l'interaction entre nos composants, nous avons voulu augmenter l'écart temporel entre les deux SOA manipulés. Au lieu de 300 ms, nous avons utilisé un SOA de 500 ms. Ce changement ne s'étayait pas sur des indices théoriques avérés, il était plutôt destiné à garantir le plus possible que le processus d'intégration aurait le temps de se mettre en place. Selon nous, ce délai devait être suffisant pour permettre à la fois des activations précoces visuelles et sonores et une intégration de ces propriétés sensorielles.

Méthode expérimentale

Participants

Quatre-vingts étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience, soit 48 femmes et 32 hommes. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge était de 20,8 ans.

Matériel et plan d'expérience

Un paradigme d'amorçage à court terme a été élaboré. La tâche des sujets était de catégoriser les cibles en tant qu' « élément naturel » (48 cibles) ou « artéfact » (48 cibles). Toutes les cibles étaient précédées d'amorces artéfacts, soit 48 amorces répétées deux fois, une fois avant une cible artéfact et une fois avant une cible naturelle.

Au total, 144 photos ont été utilisées dans cette expérience : 96 photos d'artéfacts et 48 photos d'éléments naturels.

Sélection des stimuli

Comme dans les expériences précédentes, les 144 photographies ont toutes été collectées sur Internet. Les artéfacts photographiés étaient des objets usuels sélectionnés en

fonction de deux critères. La propriété taille tout d'abord. Soit les objets étaient considérés comme « petits » (ne dépassant pas les formats d'un électrophone pour la largeur et d'un vase pour la hauteur), soit comme « grands » (les objets étaient supérieurs ou égaux au format d'un piano). La propriété sonorité ensuite. Soit les objets faisaient nécessairement du bruit lors de leur utilisation, soit ils n'en faisaient pas.

En ce qui concerne les éléments naturels, seule la propriété taille a été utilisée : soit ces éléments étaient de petite taille (inférieure ou égale à celle d'un coq) soit de grande taille (supérieure ou égale à celle d'un petit arbre). Pour rendre un peu plus hétérogènes les éléments naturels, ceux-ci ont été diversifiés. Ainsi, ils recouvraient des animaux mais également des végétaux et des minéraux. Comme pour les artefacts, le choix de ces éléments naturels a été étroitement lié à leurs qualités photographiques. Ils étaient donc clairement et rapidement identifiables.

Enfin, notons que ces artefacts ont été sélectionnés selon les mêmes critères et standardisés avec les mêmes outils que ceux décrits dans la précédente section d'expériences. De nouveau, la taille photographique des objets avait systématiquement le même format : soit 370 pixels de largeur. Les sujets voyaient donc des images de même taille photographique, mais qui présentaient des objets dont la taille variait dans la réalité.

Composition des couples amorce/cible

La construction des couples a dépendu des propriétés citées précédemment, à savoir la « taille » et la « sonorité ». Nous précisons que deux objets de même sonorité pouvaient être deux objets tous les deux sonores dans leur utilisation ou tous les deux non sonores. Ainsi, pour les couples constitués uniquement d'artefacts, quatre conditions expérimentales ont été créées : soit l'amorce et la cible étaient de tailles et de sonorités similaires ; soit l'amorce et la cible étaient de tailles similaires et de sonorités différentes ; soit l'amorce et la cible étaient de tailles différentes et de sonorités similaires ; soit enfin, l'amorce et la cible avaient des tailles et des sonorités différentes. Au final, quatre listes ont été constituées réparties sur l'ensemble des sujets, dans lesquelles l'ordre des images était aléatoire. Une cible artefact donnée était ainsi précédée par une amorce de taille et de sonorité similaires pour un quart des sujets ; elle était précédée d'une amorce similaire uniquement sur la taille pour un autre quart. Pour un troisième quart, la cible était précédée par une amorce similaire pour la sonorité uniquement. Enfin, pour le dernier quart des sujets, la cible ne partageait aucune de ces propriétés avec

l'amorce. La figure 22 présente quatre exemples de couples, chacun répartis sur une des quatre listes.

	Tailles similaires	Tailles différentes	
Sonorités similaires			<p>cible</p> 
Sonorités différentes			

Figure 22. Exemples de différentes amorces (réparties sur 4 listes différentes) pour une même cible, petite et sonore.

Pour finir, 48 couples distracteurs présentant des cibles « naturelles » ont été intégrés de façon aléatoire aux couples artéfact/artéfact afin de créer la tâche. Malgré le fait que les hypothèses ne concernaient essentiellement que les cibles artéfacts, nous avons manipulé la propriété taille en vue d'analyser ses effets éventuels sur le traitement des cibles. Ainsi, l'amorce et la cible étaient soit de tailles similaires soit de tailles différentes.

Enfin, toutes les passations débutaient par 12 couples d'images d'entraînement. Les temps de réponses des sujets n'étaient pas enregistrés par l'ordinateur, le rôle de ces couples étant de permettre aux sujets de s'habituer à la tâche.

Dispositif expérimental et procédure

L'expérience a été réalisée sur un micro-ordinateur Macintosh (eMac G4 avec VRAM : 32Mo ; mémoire vive : 768 Mo ; vitesse processeur : 1Ghz). Le logiciel utilisé pour

créer et gérer l'expérience était Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt et Provost, 1993). L'ordinateur avait un écran de 17 pouces, avec une résolution de « 1280*960 » (16 millions de couleurs) et un taux de rafraîchissement de 72 Hz. Enfin, le contraste et la luminosité étaient maintenus constants entre toutes les passations. La salle expérimentale utilisée pour les passations était insonorisée et localisée dans le laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC) de l'Université de Lyon. La lumière était éteinte pour concentrer l'attention des participants sur les images. Avant la session expérimentale, le participant remplissait un formulaire de consentement qui renseignait entre autres sur la qualité de sa vue. Une fois dans la salle, il s'installait face à l'ordinateur à 60 cm environ de l'écran et il était informé que l'expérience allait durer environ une dizaine de minutes.

Déroulement de l'expérience

De nouveau, un paradigme d'amorçage à court terme a été utilisé. La tâche des sujets était de catégoriser des cibles en tant qu'« élément naturel » ou « artéfact ». La consigne donnée aux participants était présentée sur l'écran de l'ordinateur puis expliquée par l'expérimentatrice. Elle demandait au sujet de juger le plus rapidement et le plus exactement possible, si chaque deuxième image (des couples amorce/cible) présentait un élément naturel ou un artéfact (voir la figure 23). Le sujet devait répondre à l'aide de touches prévues à cet effet sur le clavier. Ajoutons qu'un contre-balancement a été réalisé au niveau des touches réponses : ainsi, autant de sujets ont utilisé leur main droite pour répondre aux artéfacts que leur main gauche (et réciproquement pour les éléments naturels).

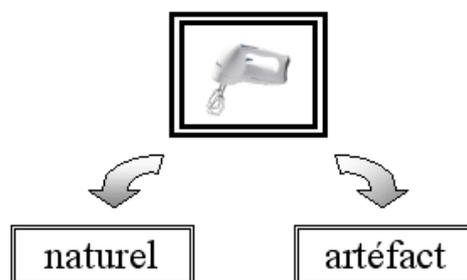


Figure 23. Tâche des sujets.

Déroulement d'un essai

Deux groupes de sujets ont été testés avec deux SOA différents. Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 1000 ms. À sa disparition, une image amorce apparaissait pendant 500 ms ou 100 ms selon le groupe (40 participants par groupe). L'amorce était immédiatement suivie par une image cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet appuie sur une des deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 1000 ms. La figure 24 présentée ci-dessous illustre le déroulement d'un essai.



Figure 24. Exemple d'un essai de l'expérience 3.

Dans cette illustration, la taille et la sonorité sont similaires entre l'amorce et la cible.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet et chaque item dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses. De la même façon, les latences supérieures à 1200 ms et celles inférieures à 100 ms n'ont pas été traitées. Nous avons en effet considéré que les temps supérieurs à 1200 ms avaient pu faire l'objet d'autres traitements cognitifs qui interféraient avec les effets d'amorçage étudiés. Quant aux temps inférieurs à 100 ms, nous les avons considérés comme trop courts pour une réelle catégorisation des stimuli. Enfin, parmi les latences restantes, celles s'écartant de plus de 3 écart-types de la moyenne ont elles aussi été exclues. Selon ces critères, moins de 6% des

latences ont été supprimés.

Le tableau 3 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour effectuer la catégorisation de la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 500 ms		SOA 100 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Tailles similaires	Sonorités similaires	580 ms (13,0)	92,3 %	598 ms (11,5)	90,9 %
	Sonorités différentes	591 ms (15,3)	92,4 %	617 ms (11,8)	90,5 %
Tailles différentes	Sonorités similaires	604 ms (13,9)	92,8 %	612 ms (11,8)	91,8 %
	Sonorités différentes	598 ms (14,1)	91,0 %	606 ms (10,6)	90,1 %

Tableau 3. Expérience 3. Moyenne des latences en ms et des pourcentages de bonnes réponses (BR) pour chacune des quatre conditions expérimentales et en fonction du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance, avec comme facteur aléatoire le facteur sujets ou le facteur items (notés F_s et F_i). Il nous a en effet semblé intéressant de réaliser une analyse par items puisque nous disposions de 48 couples par conditions. Enfin, nous avons utilisé comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets ou intra-items les variables « taille » et « sonorité ».

Les analyses ont révélé un effet principal significatif du facteur « taille » uniquement dans l'analyse par sujets, $F_s(1, 78) = 4.9$, $p < 0.05$, et $F_i(1, 47) = 3.6$, $p = 0.6$. Les sujets présentent des temps de réaction significativement plus courts lorsque les amorces et les

cibles sont similaires au niveau de la propriété taille (597 ms en moyenne) par rapport à la condition où elles ne le sont pas (605 ms en moyenne). Un effet principal du SOA est également apparu, mais cette fois-ci uniquement dans l'analyse par items, $F_i(1, 47) = 16.18$, $p < 0.0005$, et $F_s(1, 78) = 0.78$, $p = 0.3$. Les cibles sont plus rapidement traitées lorsqu'elles sont précédées d'amorces présentées 500 ms (590 ms) plutôt que 100 ms (610 ms).

Les analyses ont enfin révélé une interaction significative taille*sonorité dans l'analyse par sujet, $F_s(1, 78) = 12.79$, $p < 0.005$, mais pas dans l'analyse par items, $F_i(1, 47) = 2.7$, $p = 0.1$. Comme le montre la figure 25, les réponses semblent être plus rapides dans la condition où l'amorce et la cible partagent la même sonorité et la même taille par rapport aux trois autres conditions qui diffèrent peu entre elles. Les réponses ralentissent lorsqu'au moins un des deux composants diffère. Ceci a été confirmé dans des comparaisons locales qui ont révélé un effet significatif de la sonorité dans la condition tailles similaires, $F_s(1, 78) = 12.69$, $p < 0.005$, un effet significatif de la taille dans la condition sonorités similaires, $F_s(1, 78) = 21.34$, $p < 0.0005$, et enfin, une différence significative entre la condition où les tailles et sonorités sont similaires entre l'amorce et la cible et la condition où elles sont différentes, $F_s(1, 78) = 9.76$, $p < 0.005$.

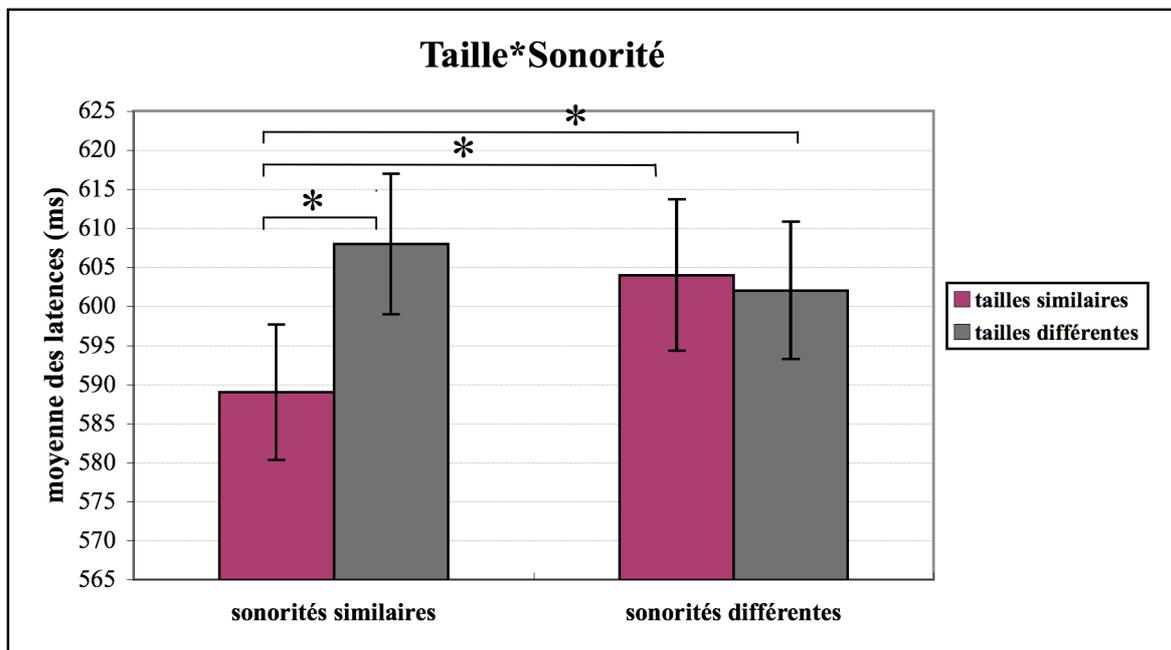


Figure 25. Expérience 3 : interaction « taille*sonorité ».

L'absence d'effet de nos facteurs dans l'analyse par items semble révéler une variabilité importante inter-items. En effet, si l'on retire 4 items de la liste pour lesquels les pourcentages de bonnes réponses sont inférieurs à 70 % dans au moins une des 4 conditions (à savoir un tambour en cuir, un escalier, une maison en bois et une église), les analyses par items révèlent elles aussi une interaction taille*sonorité significative, $F_i(1, 43) = 5.8$, $p < 0.05$. Nous pensons que les faibles scores correspondant aux objets retirés pour cette analyse sont dus à une moins bonne identification comparativement aux autres artefacts de la liste. Comme dans l'analyse par sujets, les comparaisons locales ont montré un effet significatif de la sonorité dans la condition tailles similaires, $F_i(1, 43) = 6.3$, $p < 0.05$, et un effet significatif de la taille dans la condition sonorités similaires, $F_i(1, 43) = 7.3$, $p < 0.05$.

Par ailleurs, nous retrouvons l'effet principal du SOA, $F_i(1, 43) = 13.5$, $p < 0.005$. Les cibles sont plus rapidement traitées lorsqu'elles sont précédées d'amorces présentées 500 ms (587 ms) plutôt que 100 ms (604 ms).

Enfin, en ce qui concerne les analyses des taux de bonnes réponses, elles n'ont montré aucun résultat significatif, que ce soit dans l'analyse par sujets ou dans l'analyse par items. Le taux global d'environ 93% de bonnes réponses explique sans doute cette absence de résultats.

Analyses complémentaires

Il est à noter que les hypothèses ont été formulées en termes de sonorités similaires versus différentes ; toutefois nous pouvons penser que lorsqu'une amorce sonore précède une cible non sonore, les composants auditifs activés par l'amorce n'auront pas d'effet d'amorçage sur la cible puisqu'elle ne nécessite pas pour sa part, l'activation de tels composants. Seul un effet de la taille pourra être observé si l'amorce et la cible sont similaires au niveau de ce facteur. En revanche, quand la cible représente un objet sonore, les deux composants, taille et sonorité, pourront avoir une influence sur la cible. Ainsi, nous avons postulé que dans ce cas de figure uniquement, une interaction - taille*sonorité de l'amorce - pourrait avoir lieu.

Une analyse complémentaire par sujets a donc été réalisée avec comme facteurs intra-sujets « la taille » (similaire ou non similaire), « la sonorité de l'amorce » (sonore ou non sonore) et « la sonorité de la cible » (sonore ou non sonore). Il est à noter que nous n'avons

pas réalisé cette analyse par items du fait de leur trop grande variabilité.

Cette analyse a révélé une double interaction sonorité cible*taille*sonorité amorce, $F_s(1, 78) = 11.46$, $p < 0.005$. Nous avons donc réalisé des analyses de variance séparées pour les cibles sonores et non sonores.

Comme prévu, les résultats ont montré que lorsque la cible est non sonore, seul un effet principal de la taille apparaît : $F_s(1, 78) = 5.35$, $p < 0.05$. Les cibles sont plus rapidement traitées (606 ms) quand les tailles de l'amorce et de la cible sont similaires par rapport à la condition où elles ne le sont pas (623 ms).

En revanche, lorsque la cible est sonore, nous avons obtenu une interaction taille*sonorité amorce, $F_s(1, 78) = 10.54$, $p < 0.005$. Des comparaisons locales ont révélé un effet significatif de la taille pour les amorces sonores, $F_s(1, 78) = 6.54$, $p < 0.05$. L'analyse montre également un effet significatif de la sonorité de l'amorce uniquement lorsque les amorces et les cibles sont de même taille, $F_s(1, 78) = 13.2$, $p < 0.005$. Enfin, on observe un effet de la taille lorsque l'amorce n'est pas sonore, $F_s(1, 78) = 4.14$, $p < 0.05$. Ces résultats sont illustrés dans la figure 26, présenté ci-dessous.

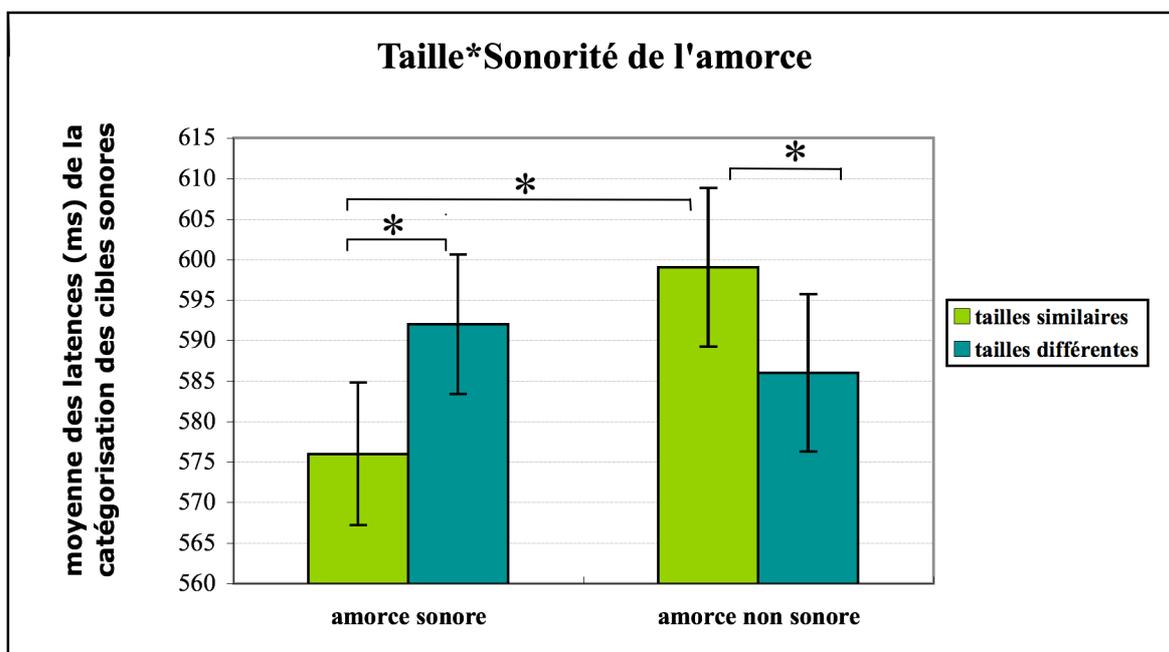


Figure 26. Expérience 3 : interaction « Taille*sonorité de l'amorce » pour les cibles sonores.

Par ailleurs, malgré le fait que nos hypothèses ne portaient que sur les cibles artéfacts, nous avons tout de même réalisé des analyses sur les cibles naturelles.

Les résultats ont indiqué un effet principal du facteur « SOA », $F_s(1, 78) = 7.3$, $p < 0.05$. Les sujets sont en moyenne plus rapides à traiter les cibles qui sont précédées d'amorces présentées pendant 100 ms (606 ms), plutôt que des amorces présentées pendant 500 ms (560 ms).

De plus, les résultats montrent une interaction significative taille*SOA, $F_s(1, 78) = 8.14$, $p < 0.05$.

Avec un SOA de 100 ms, une tendance est observée pour le facteur « taille », les sujets traitant plus rapidement les cibles précédées d'amorces de mêmes tailles (602 ms) que de tailles différentes (610 ms), $F_s(1, 39) = 3.84$, $p = 0.057$.

En revanche, avec un SOA de 500 ms, les sujets traitant plus rapidement les cibles précédées d'amorces de tailles différentes (556 ms) que de mêmes tailles (563 ms), $F_s(1, 39) = 4.39$, $p < 0.05$.

Enfin, une forte tendance à la significativité a été observée pour les taux de bonnes réponses. Les sujets réalisent en moyenne plus de bonnes réponses lorsque les tailles sont similaires entre l'amorce et la cible (94,7 %) plutôt que différentes (93,4%), $F_s(1, 78) = 3.9$, $p = 0.053$.

Discussion

En construisant cette expérience, nous avons fait l'hypothèse que la catégorisation d'un objet manufacturé allait activer en mémoire une représentation mentale, constituée entre autres des éléments sensoriels manipulés. Afin de confirmer cette idée, nous avons utilisé un paradigme d'amorçage où l'objet cible à traiter pouvait partager ou non un certain nombre d'éléments sensoriels avec un objet amorce. Bien que la tâche des sujets ne nécessitait pas le traitement de ces composants et que par ailleurs ils n'étaient pas « sensoriellement » présents (il s'agissait selon nous de composants mnésiques), les résultats ont montré que ces composants pouvaient influencer le traitement de la cible. Les temps de traitement des objets sont en effet plus rapides lorsque ils sont précédés d'objets amorces qui dans la réalité sont de

tailles similaires plutôt que de tailles différentes.

Au-delà du caractère sensoriel des connaissances relatives aux objets usuels, nous voulions également mettre en évidence leur dynamique d'émergence. Les résultats ont montré une interaction entre nos deux facteurs quel que soit le SOA. Cette interaction traduit selon nous le fait que les effets de congruence des deux composants manipulés ne sont pas additifs : lorsque l'amorce et la cible sont similaires au niveau de ces composants le traitement de la cible est accéléré, mais dès qu'un seul composant varie l'effet d'amorçage disparaît.

Ces résultats sont par ailleurs confortés par l'analyse par items qui met en évidence la même interaction (avec 4 items en moins). L'analyse par items des effets simples confirme l'idée d'une interdépendance entre les composants, qui détermine l'influence qu'ils peuvent avoir ou non sur la construction de la représentation mentale en lien avec l'objet cible.

Enfin, l'analyse complémentaire est selon nous très intéressante car elle permet d'étudier de façon plus poussée les relations entre amorce et cible par rapport au composant sonore. Elle montre que lorsque l'objet à traiter ne fait pas de bruit dans la vie quotidienne, seule la similarité de la taille de l'amorce peut avoir une influence sur son traitement, ce qui semble logique. En revanche, lorsqu'il est sonore, la taille de l'amorce a un effet modulé par la similarité de son statut sonore ou non sonore : l'interaction n'est observée que pour les cibles sonores.

Hélas, cette expérience a confirmé seulement en partie nos hypothèses. L'absence d'une double interaction entre les facteurs sensoriels et le facteur « SOA » ne nous a en effet pas permis de mettre en évidence l'étape précédente qui nous intéressait, correspondant au processus d'activation. Une explication possible à l'absence d'effet du SOA est que l'utilisation du délai de 100 ms n'a pas permis d'isoler pour chaque facteur, des effets principaux significatifs distincts car le processus d'intégration serait plus précoce que ce que nous avons supposé, du moins avec les composants taille et sonorité manipulés dans cette expérience.

Ainsi, le but de l'expérience suivante a été de tester cette explication en abaissant le SOA à une valeur de 50 ms. Nous supposons qu'avec ce délai, le processus d'interaction ne pourrait pas encore avoir lieu et que les composants amorceraient le traitement de la cible de façon indépendante.

4.2.2. Expérience 4 (50 ms)

Objectifs et hypothèses

L'expérience présentée ci-dessous est identique à l'expérience précédente avec toutefois un changement au niveau du SOA utilisé. L'amorce était présentée 50 ms et un seul groupe de sujets a été testé. L'objectif était d'obtenir des effets additifs de chaque facteur en imposant un délai très court afin d'empêcher le processus d'interaction neuronale de relier les composants entre eux.

Méthode expérimentale

Participants

Vingt-quatre étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge des participants, soit 14 femmes et 10 hommes, était de 20,5 ans.

Matériel et plan d'expérience

Le matériel, le dispositif expérimental, la procédure ainsi que la tâche étaient identiques à l'expérience précédente. Le temps de présentation de l'amorce a cependant été abaissé à 50 ms.

Déroulement d'un essai

Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 1000 ms. À sa disparition, une image amorce apparaissait pendant 50 ms. Elle était

immédiatement suivie par une image cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 1000 ms. La figure 27 illustre le déroulement d'un essai.

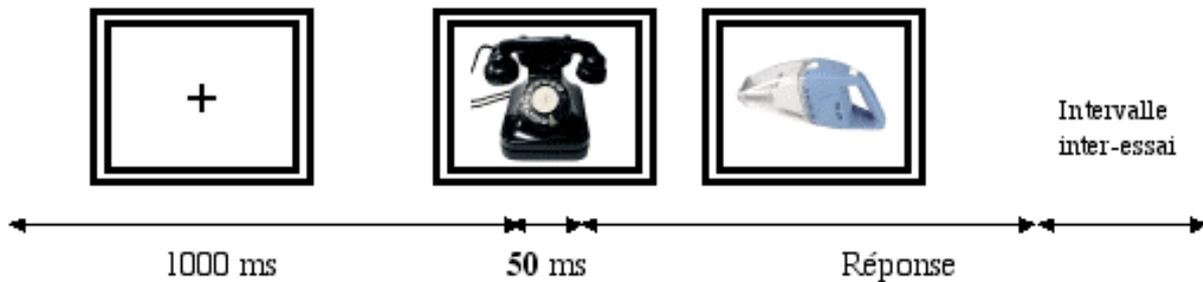


Figure 27. Exemple d'un essai de l'expérience 4.

Dans cet exemple, l'objet amorce est similaire à l'objet cible au niveau de la taille et de la sonorité.

Résultats

L'ensemble des analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet et chaque item dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses selon les mêmes critères que ceux décrits dans l'expérience précédente. Selon ces critères, moins de 5% des latences ont été supprimés.

Le tableau 4 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour effectuer la catégorisation de la cible en fonction des quatre conditions expérimentales.

		SOA 500 ms	
		Latences	BR
Tailles similaires	Sonorités similaires	640 ms (22,0)	88,0 %
	Sonorités différentes	630 ms (19,2)	87,2 %
Tailles différentes	Sonorités similaires	641 ms (20,3)	84,0 %
	Sonorités différentes	638 ms (19,6)	89,0 %

Tableau 4. Expérience 4. Moyenne des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) pour chacune des quatre conditions expérimentales.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance à mesures répétées, avec comme facteur aléatoire le facteur sujets ou le facteur items (notés F_s et F_i) et comme facteurs intra-sujets ou intra-items les variables « taille » et « sonorité ».

Malheureusement, aucun résultat significatif n'a été obtenu que ce soit au niveau des latences ou des pourcentages de bonnes réponses.

Discussion

Nous voulions grâce à l'utilisation d'un délai très court séparant la présentation de l'amorce et la présentation de la cible, mettre en évidence le processus d'activation des composants en lien avec les images. Or nous n'avons pas réussi à obtenir les effets additifs des deux facteurs manipulés. Pour expliquer cette absence de résultat nous pouvons éventuellement invoquer le faible nombre de sujets ayant participé à cette expérience (soit 24

au total). Un autre effet semble aussi apparaître ici. Si l'on compare le taux de bonnes réponses à celui obtenu dans les expériences précédentes, nous voyons qu'il est bien plus faible. Ce qui signifie que le délai très faible entre l'amorce et la cible a pu engendrer une interférence perceptive entre amorce et cible qui a masqué en partie les effets d'activation mnésique que nous voulions mettre en évidence.

4.3. Discussion du chapitre 4

Au terme de ce premier chapitre expérimental, nous pouvons constater que les résultats obtenus ont mis en évidence des effets seulement en partie conformes à nos hypothèses initiales.

Les expériences 1 et 2 ont été élaborées à partir de la manipulation du composant « geste » impliqué selon nous dans les connaissances nécessaires pour catégoriser certains objets usuels. Plus particulièrement, nous avons voulu étudier le processus d'intégration mis en oeuvre entre ce composant moteur et un ensemble d'autres composants multisensoriels regroupés sous le facteur « catégorie ». Dans un premier temps, l'utilisation des SOA de 1000 et 300 ms n'a pas été efficace, faisant uniquement apparaître une faible tendance à l'interaction entre les facteurs quel que soit le délai. Nous avons alors supposé que 300 ms était peut-être un délai pour lequel le processus d'intégration avait déjà eu le temps de se mettre en place. Et en effet, grâce à l'utilisation de SOA plus courts, nous avons réussi à obtenir des effets d'amorçage distincts de l'amorce sur le traitement de la cible. Avec un SOA de 100 ms, les deux facteurs se sont exprimés de façon indépendante, influençant séparément le traitement. En revanche, l'utilisation d'un SOA de 300 ms a donné lieu à une intégration geste*catégorie. L'impact du facteur geste avec un délai « long » a donc été tributaire de l'état des autres composants multisensoriels et réciproquement. Globalement, ces résultats ont montré que le processus d'intégration rendait la représentation mentale de l'amorce unifiée et permettait un phénomène d'amorçage uniquement quand un très grand nombre de composants était commun avec la représentation mentale en lien avec la cible.

La volonté de maîtriser davantage le nombre de composants impliqués dans notre étude de la dynamique d'émergence des connaissances, nous a conduit à construire les

expériences suivantes à partir de facteurs différents. Les propriétés sensorielles taille et sonorité ont été les facteurs sélectionnés, impliqués selon nous dans la représentation mentale en lien avec les objets manufacturés que nous avons choisis.

Le but a été de nouveau d'isoler des effets principaux indépendants de chacun des facteurs avec un SOA court et de mettre en évidence une interaction entre les facteurs avec un SOA long. L'utilisation de délais de 100 ms et de 500 ms a donné des résultats allant dans le sens d'une interaction quel que soit le SOA dans laquelle l'expression de la sonorité dépendait de l'expression de la variable taille et inversement. Par ailleurs, l'analyse complémentaire a permis de confirmer que ces effets d'amorçage étaient dus à l'activation et l'intégration de composants sensoriels et notamment sonore, puisque l'interaction n'était observée que pour les cibles sonores. Enfin, l'expérience 4 devait nous permettre de mettre en évidence l'autre processus qui nous intéressait et que les SOA utilisés dans l'expérience 3 n'avaient pu montrer. Hélas, nous n'avons pas trouvé d'effet d'amorçage indépendant pour chacune des deux propriétés manipulées malgré un SOA abaissé à 50 ms.

Ce premier chapitre expérimental est donc en partie conforme à nos hypothèses. Cependant, le fait de ne pas avoir réussi à isoler des effets additifs malgré la manipulation dans la section 4.2 d'éléments visuels et auditifs distincts, nous a conduit à en discuter les raisons et à modifier de nouveau notre protocole expérimental. D'un côté, il est possible que l'interaction obtenue soit le reflet d'une intégration très précoce entre ces deux types de composants (nous avons déjà évoqué la littérature issue des neurosciences qui montre une interaction dès 100 ms, voire plus précocement, entre les composants d'un percept multisensoriel et en particulier visuo-auditif ; voir Fu et al., 2003; Giard & Peronnet, 1999). D'un autre côté, nous pouvons également envisager que la tâche de catégorisation utilisée dans les expériences 3 et 4 soit une tâche qui nécessite obligatoirement l'intégration des différents composants constitutifs de la cible. Ainsi, quel que soit l'état d'émergence de l'amorce, son action ne pourrait être efficace que si elle est identique ou tout du moins si elle partage un grand nombre d'éléments avec la cible. Par ailleurs, les difficultés impliquées dans la maîtrise d'un matériel d'objets déjà existants ont été nombreuses et sans doute à l'origine des différences obtenues dans l'analyse par items. Comme nous l'avons précédemment dit, certains items n'ont pas semblé être totalement efficaces, l'effort nécessaire pour les identifier variant malgré le contrôle de leur familiarité. À ce manque d'homogénéité dans la sélection des images, s'ajoute une corrélation potentielle entre les facteurs qui a pu biaiser nos résultats.

En effet, il est possible que les objets de grande taille soient plus enclins à être sonores et réciproquement. Ainsi, le manque d'indépendance au niveau des composants manipulés pourrait être une autre raison à l'absence d'effet additif avec un SOA court.

Pour résumer, à ce stade de notre démarche expérimentale nous avons voulu de nouveau davantage maîtriser les composants sensoriels étudiés. Cette fois-ci, nous avons eu recours à un matériel totalement construit de sorte que les amorçages soient le résultat de composants (mnésiques) totalement identiques entre l'amorce et la cible. L'objectif a donc été de trouver une nouvelle façon d'appréhender l'émergence des connaissances à partir de stimuli simples, inconnus des participants et caractérisés par un nombre restreint de propriétés.

Chapitre 5

Études des processus d'activation et d'intégration à partir d'objets simples, maîtrisés

Comme nous venons de le dire, les expériences de ce chapitre ont été élaborées à partir d'un matériel totalement construit. Le but étant de maîtriser au moins deux composants mnésiques, nous avons imaginé des stimuli à trois composants dont l'un des trois (une couleur) ferait référence aux deux autres si les stimuli étaient appris par les sujets. Dans toutes les expériences que nous allons présenter dans ce chapitre, les stimuli en question étaient des formes géométriques simples et colorées. Dans un premier temps, nous avons travaillé à partir des composants forme et orientation de ces figures, puis nous sommes passés aux composants forme et position.

Rappelons que les objectifs étaient toujours les mêmes : il s'agissait de mettre en évidence des effets d'amorçage sensoriel modulés par le niveau d'émergence des connaissances mentales (qui se réduisaient quantitativement à deux composants) en lien avec nos amorces. De nouveau, nous avons utilisé un paradigme d'amorçage à court terme.

Enfin, notons que la tâche des sujets était différente de la tâche de catégorisation sémantique du chapitre précédent. Dans les expériences présentées dans ce chapitre, le traitement de la cible ne nécessitait plus l'intégration de la cible.

5.1. Les processus d'activation et d'intégration des composants sensoriels forme et orientation

Expérience 5 (100 ms & 500 ms)

Objectifs et hypothèses

La tâche des sujets dans cette nouvelle expérience était d'indiquer le plus vite possible l'orientation d'une figure géométrique qui apparaissait soit horizontalement, soit verticalement au centre de l'écran. Cette cible était précédée d'une couleur amorce qui devait, grâce à une phase préalable d'apprentissage, activer dans la mémoire du sujet une forme et une orientation identiques ou différentes de celles qui caractérisaient la figure cible. Selon nous, bien que le sujet n'avait pas à traiter la couleur, nous avons supposé qu'elle allait avoir un impact sur la vitesse de traitement de la cible. Comme dans le chapitre précédent, nous nous attendions à ce que ces effets d'amorçage soient modulés par le temps d'apparition à l'écran de la couleur amorce. Plus précisément, nous avons supposé qu'avec un SOA long de 500 ms, les deux composants mnésiques auxquels l'amorce faisait référence auraient le temps de s'intégrer l'un à l'autre. Selon nous, cet état « abouti » de la représentation mentale devait impliquer des effets d'amorçage interdépendants des composants sensoriels. En revanche, avec un SOA court de 100 ms, nous avons supposé des effets additifs de la forme et de l'orientation.

Méthode

Participants

Cinquante-deux étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette

expérience, soit 30 femmes et 18 hommes. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge était de 22,1 ans.

Matériel et plan d'expérience

Un paradigme d'amorçage à court terme a été élaboré. La tâche des sujets était d'appuyer le plus vite possible sur l'une des touches du clavier étiquetées d'une flèche vers le haut ou d'une flèche sur le côté, en fonction de l'orientation verticale ou horizontale de la cible apparaissant à l'écran. Chaque participant voyait une série de 64 essais.

Sélection des stimuli

Tous les stimuli ont été développés à l'aide du logiciel Power Point. Pendant une phase d'observation, les participants voyaient simplement défiler (ils n'avaient pas de réponse à fournir) une série de quatre figures caractérisées par une forme, une orientation et une couleur particulières : à savoir un rectangle bleu vertical, un rectangle jaune horizontal, une ellipse rouge verticale et enfin une ellipse verte horizontale (voir la figure 28). Les rectangles (2,7*1,3 cm) et les ellipses (3,2*1,6 cm) avaient une surface d'environ 5,1 cm² et les figures étaient toutes centrées au milieu de l'écran. L'objectif de cette phase d'apprentissage était d'associer, dans la mémoire du sujet, chaque couleur à une forme particulière et à une orientation particulière.

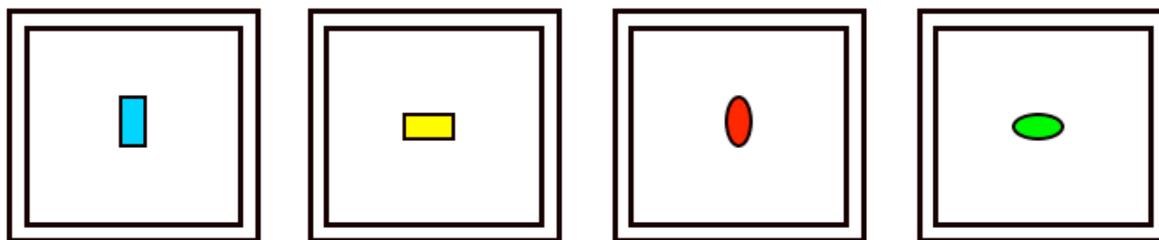


Figure 28. Les quatre figures colorées que les participants voyaient défiler pendant une phase d'observation.

Durant la phase test, les mêmes figures ont été utilisées comme cibles mais elles n'étaient plus colorées (voir la figure 29). De plus, chaque figure cible était précédée par un grand cercle de couleur d'une surface de 20 cm² (utilisé comme amorce), pouvant être bleu, jaune, rouge ou vert. Les amorces sont représentées dans la figure 30.

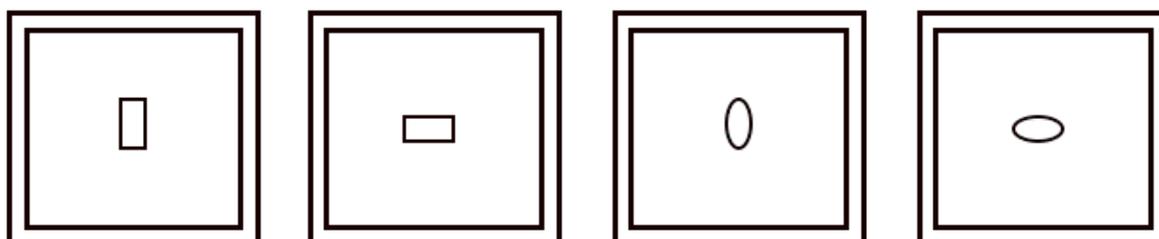


Figure 29. Les quatre figures cibles du paradigme d'amorçage.

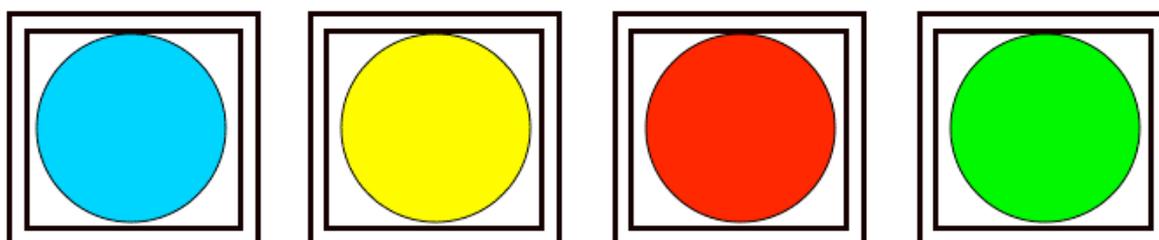


Figure 30. Les quatre couleurs amorces.

Composition des couples amorce/cible

La construction des couples a dépendu de deux des propriétés citées précédemment, à savoir la « forme » et « l'orientation ». Ainsi, les couples constitués pouvaient appartenir à quatre conditions expérimentales différentes : soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme et l'orientation étaient identiques à celles de la cible ; soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme était identique à celle de la cible mais pour laquelle l'orientation était différente ; soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme était différente de celle de la cible mais dont l'orientation était identique ; soit enfin, l'amorce faisait référence à une figure dont la forme et l'orientation étaient différentes de celles de la cible.

Chaque cible apparaissait quatre fois dans chaque condition. Au final, deux listes ont été constituées et réparties sur l'ensemble des sujets, dans lesquelles un ordre aléatoire différent des images était utilisé. La figure 31 présente quatre exemples de couples.

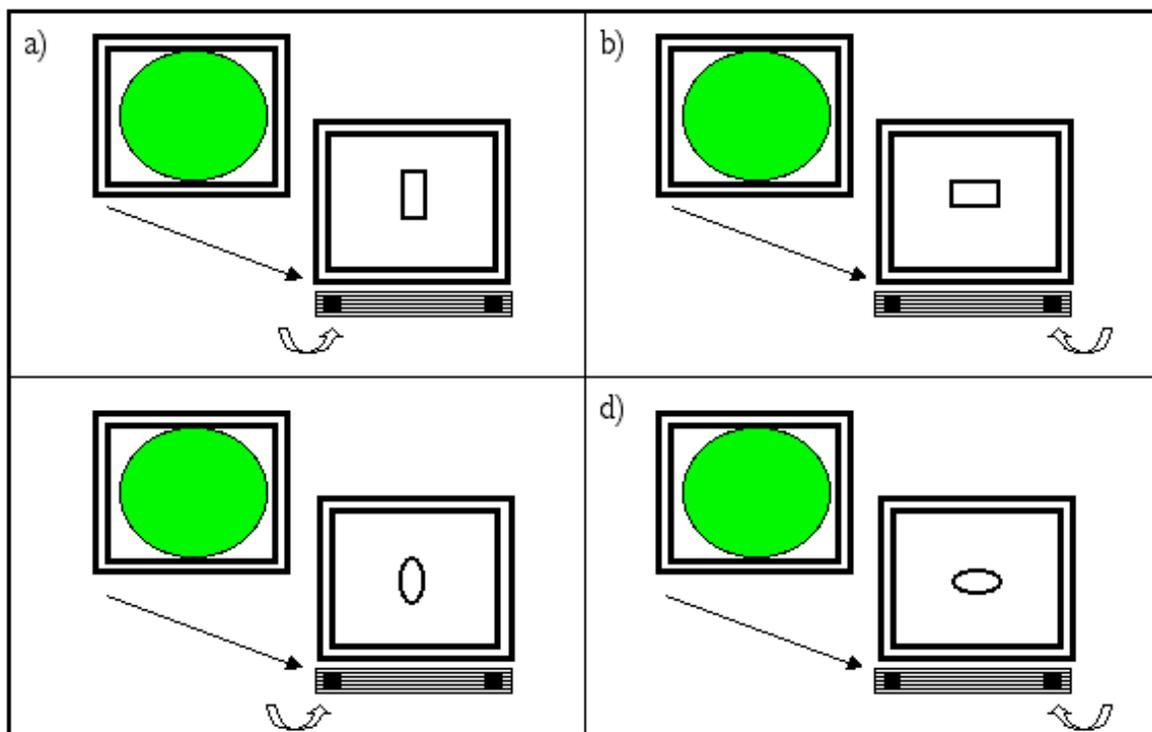


Figure 31. Exemples d'un essai dans chacune des conditions.

a) La figure à laquelle fait référence la couleur amorce a une forme et une orientation

différentes de celles de la figure cible b) Les formes sont différentes et les orientations identiques c) Les formes sont identiques et les orientations sont différentes d) Les formes et les orientations sont identiques.

Dispositif expérimental et procédure

L'expérience a été réalisée sur un micro-ordinateur Macintosh (eMac G4 avec VRAM : 32Mo ; mémoire vive : 768 Mo ; vitesse processeur : 1Ghz). Le logiciel utilisé pour créer et gérer l'expérience était Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt et Provost, 1993). L'ordinateur avait un écran de 17 pouces, avec une résolution de « 1280*960 » (16 millions de couleurs) et un taux de rafraîchissement de 72 Hz. Enfin, le contraste et la luminosité étaient maintenus constants entre toutes les passations. La salle expérimentale utilisée pour les passations était insonorisée et localisée dans le laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC) de l'Université de Lyon. La lumière était éteinte pour concentrer l'attention des participants sur les images. Avant la session expérimentale, le participant remplissait un formulaire de consentement qui renseignait, entre autres, sur la qualité de sa vue. Une fois dans la salle, il s'installait face à l'ordinateur à 60 cm environ de l'écran. Enfin, il était informé que l'expérience allait durer environ 20 minutes et qu'elle était divisée en trois phases : une phase d'observation, une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'observation

Durant cette première phase, les participants voyaient défiler une série de quatre figures colorées et orientées, chacune répétée 10 fois dans un ordre aléatoire. Les sujets avaient pour consigne d'observer et de mémoriser les figures, à savoir : un rectangle bleu vertical, un rectangle jaune horizontal, une ellipse rouge verticale et enfin une ellipse verte horizontale. Les figures apparaissaient 500 ms à l'écran, précédées d'un point de fixation de 500 ms. L'intervalle inter-essai était de 1000 ms.

Phase d'apprentissage

Une phase d'apprentissage était ensuite réalisée. Les sujets voyaient une série de quatre cercles de couleur répétés 12 fois aléatoirement et précédés chacun d'un point de fixation de 500 ms. Pour chaque couleur, les sujets devaient donner oralement la forme

(rectangle ou ovale) et l'orientation (vers le haut ou sur le côté) auxquelles la couleur faisait référence. Dès que le sujet répondait, il devait également appuyer sur la barre espace : la bonne réponse apparaissait alors à l'écran pendant 500 ms. Les sujets faisant plus de 10 % d'erreurs ne continuaient pas l'expérience.

Phase test

Pour cette dernière phase, un paradigme d'amorçage à court terme a été utilisé. La consigne donnée aux participants était présentée sur l'écran de l'ordinateur puis expliquée par l'expérimentatrice. Les sujets étaient informés qu'ils allaient voir une figure apparaître au centre de l'écran, précédée d'un grand cercle de couleur qu'ils devaient ignorer. L'expérimentatrice insistait sur le fait que dans cette dernière phase, ce n'était plus la couleur qu'ils devaient traiter mais la figure qui apparaissait juste après. Leur tâche était d'appuyer le plus vite possible sur la touche étiquetée d'une flèche vers le haut si la cible apparaissant à l'écran était une figure orientée verticalement ou sur la touche étiquetée d'une flèche sur le côté si la cible était orientée horizontalement (voir la figure 32).

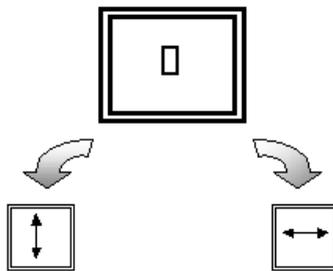


Figure 32. Illustration de la tâche des sujets.

Déroulement d'un essai

Deux groupes de sujets ont été testés avec deux SOA différents. Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 500 ms. À sa disparition, un grand cercle de couleur (l'amorce) apparaissait pendant 100 ms ou 500 ms selon le groupe (24 sujets dans chaque groupe). L'amorce était immédiatement suivie par une cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 1000 ms. La figure 33 présentée ci-dessous illustre le

déroulement d'un essai.

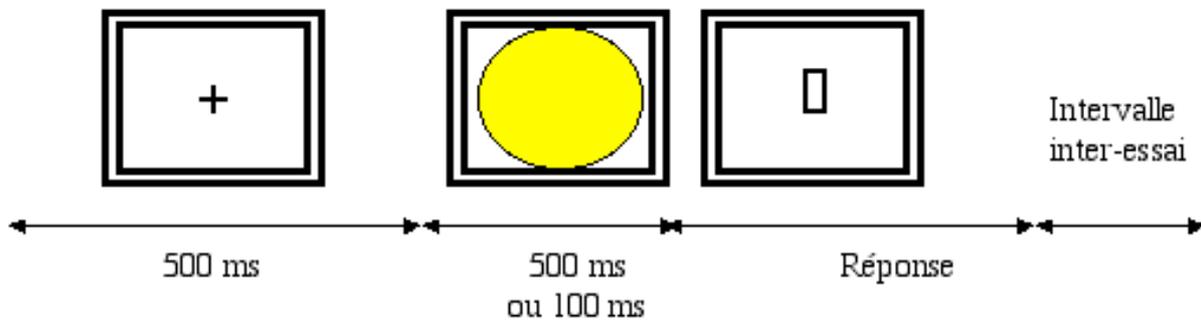


Figure 33. Exemple d'un essai de l'expérience 5.

Dans cette illustration, la figure cible est précédée d'une couleur amorce faisant référence dans la mémoire des sujets à une figure de même forme mais d'orientation différente.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses. De la même façon, les latences supérieures à 1200 ms et celles inférieures à 100 ms n'ont pas été traitées. Nous avons en effet considéré que les temps supérieurs à 1200 ms avaient pu faire l'objet d'autres traitements cognitifs qui interféraient avec les effets d'amorçage étudiés. Quant aux temps inférieurs à 100 ms, nous les avons considérés comme trop courts pour une réelle catégorisation des stimuli. Parmi les latences restantes, celles s'écartant de plus de 3 écarts-types de la moyenne ont elles aussi été exclues. Selon ces critères, moins de 5% des latences ont été supprimés. Enfin, notons que quatre sujets ayant fait plus de 10% d'erreurs durant la phase d'entraînement ont été exclus des traitements statistiques.

Le tableau 5 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour effectuer la catégorisation de la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 500 ms		SOA 100 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Formes identiques	Orientations identiques	555 ms (23,0)	96,2 %	561 ms (21,1)	96,5 %
	Orientations différentes	544 ms (18,0)	96,7 %	574 ms (22,5)	97,8 %
Formes différentes	Orientations identiques	559 ms (21,4)	98,5 %	572 ms (21,4)	98,5 %
	Orientations différentes	568 ms (22,0)	94,4 %	567 ms (17,4)	93,9 %

Tableau 5. Expérience 5. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance, avec comme facteur aléatoire le facteur sujets, comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets les variables « forme » et « orientation ». Ajoutons, que nous n'avons pas réalisé d'analyse par items, jugeant le nombre d'items par catégorie trop faible.

Les résultats obtenus ont indiqué un effet principal significatif du facteur « forme », $F(1, 46) = 4.16, p < 0.05$. Les sujets traitent plus rapidement les cibles lorsque les amorces font référence à des figures de mêmes formes que les figures cibles (558 ms) comparativement à la condition où elles font référence à des figures de formes différentes (566 ms).

Par ailleurs, une double interaction a été observée entre nos facteurs forme*orientation*SOA, $F(1, 46) = 5.04, p < 0.05$. Cette interaction est illustrée dans la

figure 34. Comme le montre la figure, les résultats semblent totalement s'inverser selon le SOA. Ainsi, nous avons réalisé des analyses de variance séparées pour chaque SOA.

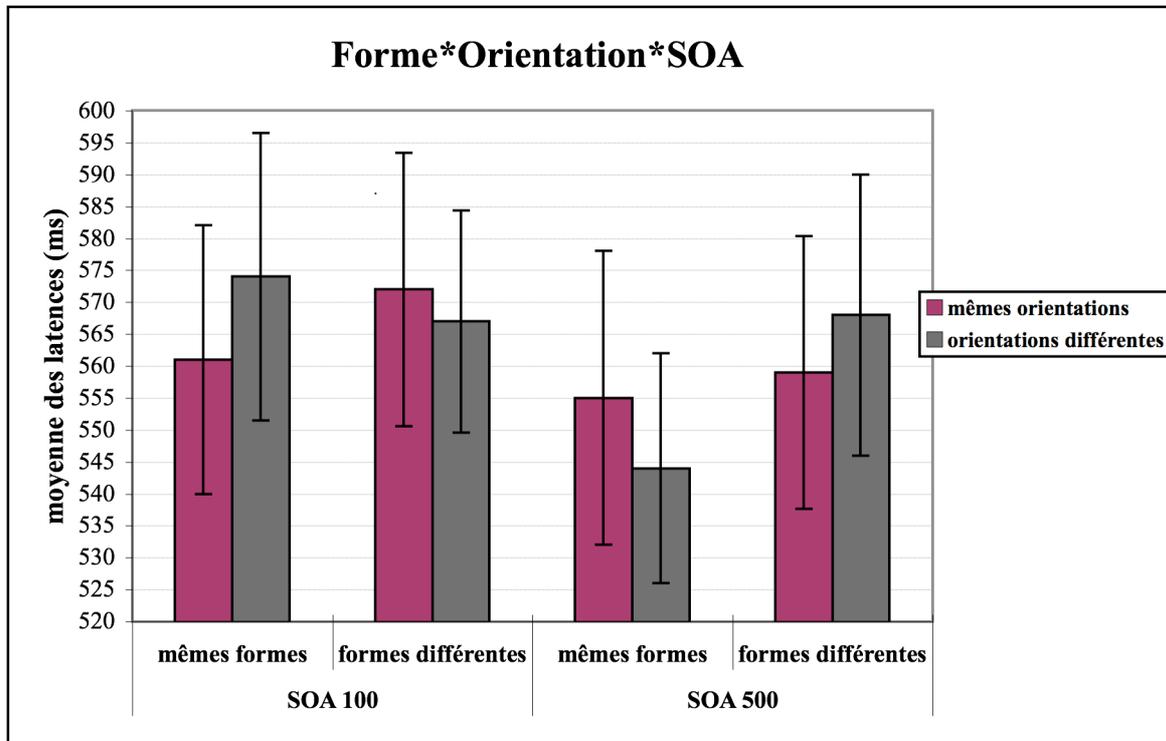


Figure 34. Expérience 5 : double interaction « forme*orientation*SOA ».

Avec un SOA de 100 ms, aucun résultat significatif n'est apparu. En revanche, avec un SOA de 500 ms, les analyses ont révélé un effet principal significatif du facteur « forme », $F(1, 23) = 8.14, p < 0.05$. Les sujets sont significativement plus rapides pour traiter la cible lorsqu'elle est précédée d'une amorce qui fait référence à une figure de même forme (549 ms) qu'une figure de forme différente (563 ms).

Les analyses ont également montré une tendance à l'interaction forme*orientation, $F(1, 23) = 3.11, p = 0.09$, avec un seul effet simple significatif, correspondant à l'effet du facteur « forme » quand l'amorce fait référence à une figure d'orientation différente de celle de la figure cible, $F(1, 23) = 9.1, p < 0.01$. Toutefois, on voit bien sur la figure que les effets semblent aller dans un sens totalement différent de celui attendu. Ainsi, la faiblesse de l'interaction et le sens très surprenant et totalement inattendu des effets nous incite à beaucoup de prudence.

Enfin, il est à noter que les pourcentages de bonnes réponses se situent globalement au-dessus de 95%. Il ne nous a donc pas semblé pertinent d'effectuer des analyses plus avancées sur ces données.

Discussion

Les résultats que nous avons obtenus à l'issue de cette expérience 5 ne sont pas vraiment concluants. Malgré la double interaction mise en évidence entre nos facteurs forme, orientation et SOA, les effets obtenus en séparant les SOA sont, d'une part, très faibles, et, d'autre part, non conformes aux effets attendus. Plusieurs explications sont possibles : tout d'abord la phase d'apprentissage nécessaire pour créer les nouvelles connaissances en lien avec les couleurs a pu ne pas être optimale ; ensuite en ce qui concerne les composants mnésiques manipulés, il est possible que l'orientation soit une propriété visuelle spécifique, surtout en se limitant à l'opposition verticale/horizontale. Une autre difficulté avec l'orientation est qu'elle n'est pas indépendante de la forme. En effet, un rectangle ou une ellipse n'a pas la même forme selon qu'il est présenté horizontalement ou verticalement.

C'est pourquoi, à l'issue de cette expérience, nous avons décidé de modifier, dans l'expérience suivante, un certain nombre de paramètres expérimentaux. Tout d'abord la phase d'apprentissage a été renforcée afin de s'assurer d'une plus grande efficacité de l'association inter-modale. Ensuite, la dimension orientation a été remplacée par la dimension position. Grâce à ce changement, nous nous sommes assurés que tous les composants étaient indépendants les uns des autres et donc qu'ils pouvaient être manipulés également de façon indépendante.

De la même façon, la distinction des formes géométriques a été renforcée en utilisant des formes moins ressemblantes. Selon nous, les rectangles et les ellipses utilisés présentaient des formes longilignes trop ressemblantes, dues à la similitude de leurs axes de symétries (par ailleurs liée au facteur orientation) et à leur surface relativement petite et identique.

La taille des stimuli a elle aussi fait l'objet de modification ; une augmentation de leur surface nous a semblé raisonnable. Enfin, les amorces de l'expérience 5 étaient de grands cercles colorés. Il aurait sans doute fallu que ces amorces ne fassent pas référence à une quelconque figure géométrique. Nous avons donc également modifié la nature de l'amorce.

5.2. Les processus d'activation et d'intégration des composants sensoriels forme et position

5.2.1. Expérience 6 (500 ms & 100 ms)

Objectifs et hypothèses

Dans cette expérience, la forme, les propriétés et la nature des figures ont donc été modifiées afin de rendre les quatre figures les plus distinctes possible d'un point de vue visuel et également d'un point de vue mnésique (grâce à la phase d'apprentissage). Pour augmenter leur distinctivité, nous avons choisi d'utiliser un composant sensoriel autre que l'orientation ainsi que des figures géométriques plus différentes entre elles. Des triangles et des cercles ont remplacé les rectangles et les ellipses et leur surface a été doublée. À la place du facteur « orientation », nous avons utilisé le facteur « position ». Ainsi, les figures pouvaient avoir la même position spatiale (gauche ou droite) ou des positions différentes (opposées). Selon nous, cette propriété devait faciliter la différenciation entre les figures et surtout pouvait être manipulée indépendamment de la forme des stimuli.

En ce qui concerne les amorces, nous les avons également modifiées. À la place d'un cercle coloré, nous avons préféré une couleur pleine écran, ne faisant pas référence à une figure géométrique particulière (sauf la forme rectangulaire de l'écran, qui ne correspondait à aucune des deux formes cibles, cercle et triangle).

Par ailleurs, étant donné que la tâche des sujets était de déterminer la position d'apparition de la cible à l'écran, nous avons eu l'idée d'ajouter une consigne « forçant » le sujet à réellement traiter la forme de la cible, et pas seulement sa position. Nous avons ajouté des figures distractrices (des carrés) pour lesquelles le sujet ne devait pas répondre.

Enfin, la phase d'apprentissage a été modifiée ; nous avons remplacé la phase passive

d'observation des stimuli par une phase active d'apprentissage.

Méthode

Participants

Quarante-six étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience, soit 35 femmes et 5 hommes. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge était de 20,7 ans.

Matériel et Plan d'expérience

Un paradigme d'amorçage à court terme a été élaboré. La tâche des sujets était d'appuyer le plus vite possible sur les touches gauche ou à droite du clavier en fonction de la position d'apparition de la cible, à gauche ou à droite de l'écran. Cette consigne était valable uniquement lorsque la cible était un triangle ou un cercle. Si le sujet voyait apparaître un carré, il devait attendre sa disparition, puis le nouvel essai. Chaque participant voyait une série de 72 essais.

Sélection des stimuli

Tous les stimuli ont été développés à l'aide du logiciel Power Point. Pendant la phase d'apprentissage, les participants devaient apprendre quatre figures définies par leur forme, leur position à l'écran et leur couleur : à savoir un triangle équilatéral bleu situé à gauche de l'écran, un cercle vert situé à gauche de l'écran, un cercle rouge situé à droite de l'écran et enfin un triangle équilatéral jaune situé également à droite de l'écran (voir la figure 35). Les triangles avaient 4,8 cm de côté, les cercles 3,6 cm de diamètre. Les quatre figures avaient une surface d'environ 11,4 cm². Elles étaient centrées verticalement du côté gauche ou droit de l'écran et le milieu de chaque figure formait un angle de 7,59° avec la position du point de fixation.

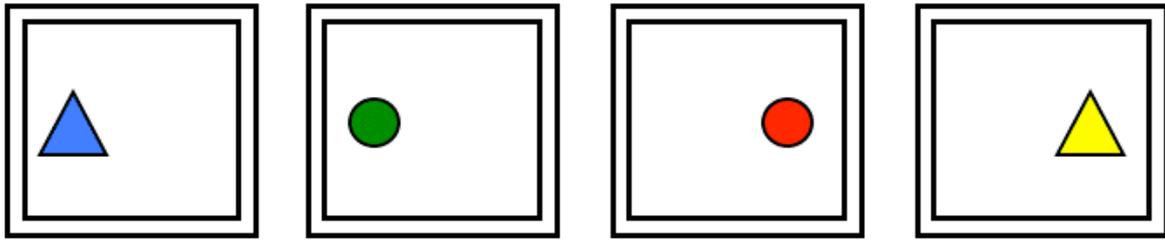


Figure 35. Les quatre figures colorées que les participants mémorisaient pendant une phase préalable d'apprentissage.

Pour la phase test, un paradigme d'amorçage a été utilisé. Les mêmes figures ont été utilisées comme cibles mais elles n'étaient plus colorées (voir la figure 36). De plus, chaque cible était précédée par une couleur plein écran (utilisée comme amorce), une couleur bleue, verte, rouge ou jaune (voir la figure 37).

Afin de « forcer » les sujets à traiter la forme des cibles en plus de leur position, deux figures supplémentaires ont été utilisées : un carré situé à gauche de l'écran et un carré situé à droite de l'écran (3,15 cm de côté). Les sujets avaient pour consigne de ne pas répondre lorsque l'un ou l'autre apparaissait. Comme les autres cibles, chaque carré était précédé par une couleur plein écran bleue, verte, rouge ou jaune. Ces couples couleur/carré étaient utilisés comme des distracteurs.



Figure 36. Les six figures cibles du paradigme d'amorçage. Les sujets avaient pour consigne de ne pas traiter les carrés.

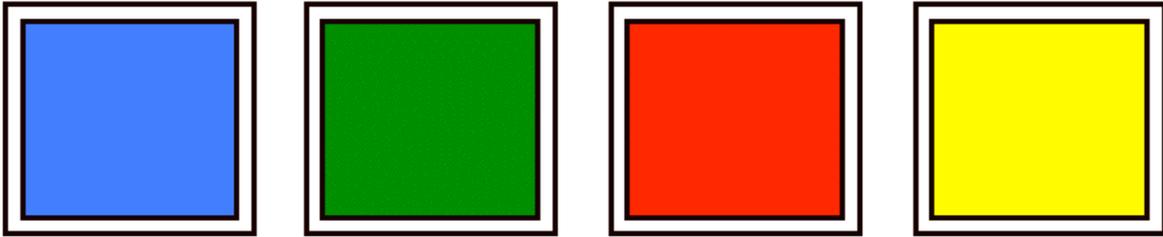


Figure 37. Les quatre couleurs amorces.

Composition des couples amorce/cible

La construction des couples a dépendu de deux propriétés citées précédemment, à savoir la « forme » et la « position ». Ainsi, les couples constitués pouvaient appartenir à quatre conditions expérimentales différentes : soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme et la position étaient identiques à celles de la cible ; soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme était identique à celle de la cible mais dont la position était différente ; soit l'amorce faisait référence à une figure dont la forme était différente de celle de la cible mais dont la position était identique ; soit enfin, l'amorce faisait référence à une figure dont la forme et la position étaient différentes de celles de la cible. La figure 38 présente quatre exemples de couples. Enfin, toutes les cibles apparaissaient trois fois dans chaque condition expérimentale.

En ce qui concerne les couples distracteurs, chaque carré était précédé trois fois par chacune des quatre couleurs.

Au final, 72 couples amorce/cible étaient vus par les sujets, dont 24 couples distracteurs. Notons également que deux listes ont été constituées et réparties sur l'ensemble des sujets, dans lesquelles un ordre aléatoire différent des images était utilisé.

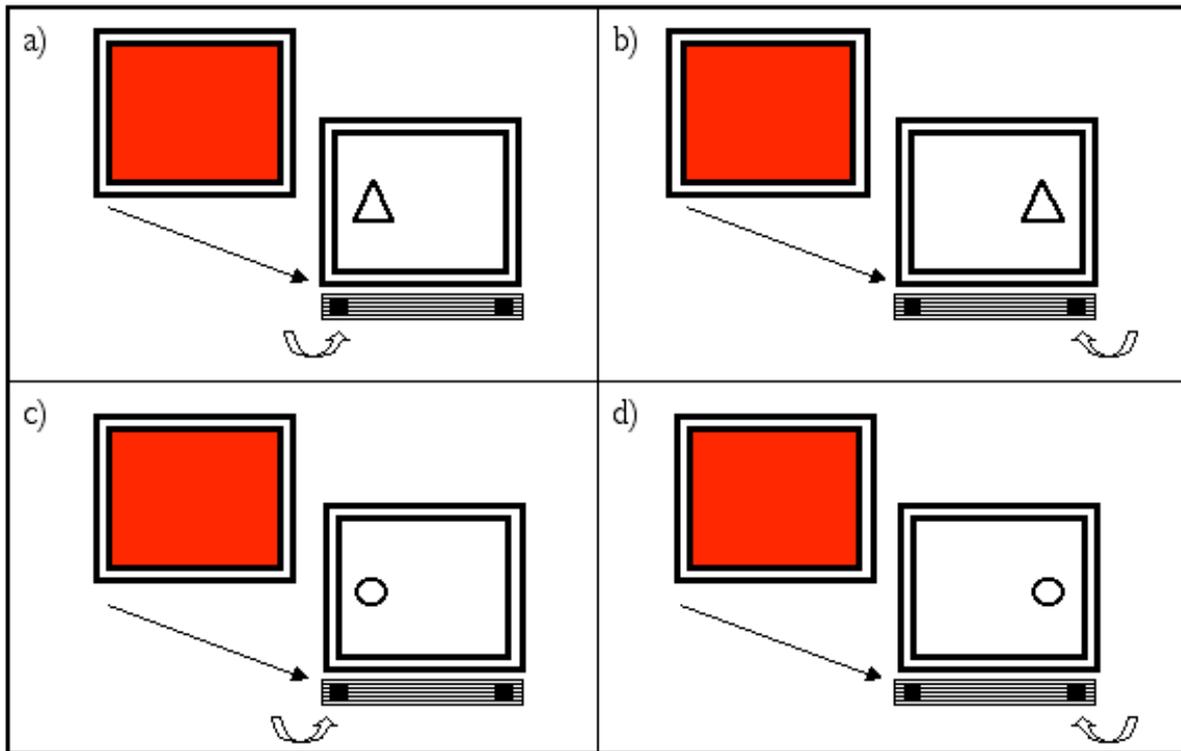


Figure 38. Exemples d'un essai dans chacune des conditions.

a) La figure à laquelle fait référence la couleur amorce a une forme et une position différentes de celles de la figure cible b) Les formes sont différentes et les positions identiques c) Les formes sont identiques et les positions sont différentes d) Les formes et les positions sont identiques.

Dispositif expérimental et procédure

L'expérience a été réalisée sur un micro-ordinateur Macintosh (eMac G4 avec VRAM : 32Mo ; mémoire vive : 768 Mo ; vitesse processeur : 1Ghz). Le logiciel utilisé pour créer et gérer l'expérience était Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt et Provost, 1993). L'ordinateur avait un écran de 17 pouces, avec une résolution de « 1280*960 » (16 millions de couleurs) et un taux de rafraîchissement de 72 Hz. Enfin, le contraste et la luminosité étaient maintenus constants entre toutes les passations.

La salle expérimentale utilisée pour les passations était insonorisée et localisée dans le laboratoire d'Etude des Mécanismes Cognitifs (EMC) de l'Université de Lyon. La lumière était éteinte pour concentrer l'attention des participants sur les images. Avant la session expérimentale, le participant remplissait un formulaire de consentement qui renseignait, entre

autres, sur la qualité de sa vue. Une fois dans la salle, il s'installait face à l'ordinateur à 60 cm environ de l'écran. Enfin, le sujet était informé que l'expérience allait durer environ 20 minutes et qu'elle était divisée en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase test.

Phase d'apprentissage

Le but de cette phase d'apprentissage était que les participants mémorisent les quatre figures définies par l'association des trois propriétés (forme, couleur et position) qui les caractérisaient. À savoir : un triangle bleu positionné à gauche de l'écran, un cercle vert positionné à gauche de l'écran, un cercle rouge positionné à droite de l'écran et enfin un triangle jaune également positionné à droite de l'écran. Les sujets voyaient les quatre figures simultanément à l'écran et sur une feuille A4 qu'ils pouvaient manipuler. Il leur était explicitement demandé de mémoriser la forme, la couleur et la position de chaque figure. Seuls dans la salle d'expérimentation, ils disposaient de cinq minutes en moyenne.

L'efficacité de cette phase d'apprentissage était ensuite testée. L'expérimentatrice indiquait une couleur au sujet qui devait alors dessiner rapidement sur un petit morceau de papier représentant l'écran, la bonne forme (triangle ou cercle) correspondant à la couleur énoncée, à la bonne position (gauche ou droite) et avec le crayon de couleur approprié. Chacune des couleurs était énoncée quatre fois dans un ordre aléatoire. Si le sujet commettait une erreur, l'expérimentatrice recommençait la procédure du début, après avoir montré de nouveau les quatre figures colorées.

Une seconde phase d'apprentissage était ensuite réalisée directement avec l'ordinateur. L'objectif était de familiariser les sujets avec les touches réponse tout en renforçant leur apprentissage. Ils voyaient une série de 32 essais, séparés par un intervalle inter-essai de 1500 ms. Chaque essai correspondait à l'apparition d'une couleur plein écran. La tâche des sujets était d'indiquer oralement le plus vite possible la forme correspondant à la couleur, tout en appuyant sur la touche étiquetée gauche ou droite du clavier, en fonction de la position à laquelle la couleur faisait également référence. Dès que le sujet répondait, la bonne réponse apparaissait à l'écran pendant 1000 ms. Les sujets faisant plus de 10 % d'erreurs ne continuaient pas l'expérience.

Phase test

Pour cette dernière phase, un paradigme d'amorçage à court terme a été utilisé. La consigne donnée aux participants était présentée sur l'écran de l'ordinateur puis expliquée par l'expérimentatrice. Les sujets étaient informés qu'ils allaient voir une figure apparaître à l'écran, précédée d'une couleur qu'ils devaient ignorer. Leur tâche était d'appuyer le plus vite possible sur la touche étiquetée gauche du clavier si la figure apparaissait à gauche de l'écran ou sur la touche étiquetée droite si la figure apparaissait à droite de l'écran (voir la figure 39). Comme nous l'avons déjà dit, les sujets étaient également informés qu'ils ne devaient pas répondre si la figure qui apparaissait était un carré. Ils devaient alors attendre sa disparition et l'apparition de l'essai suivant.

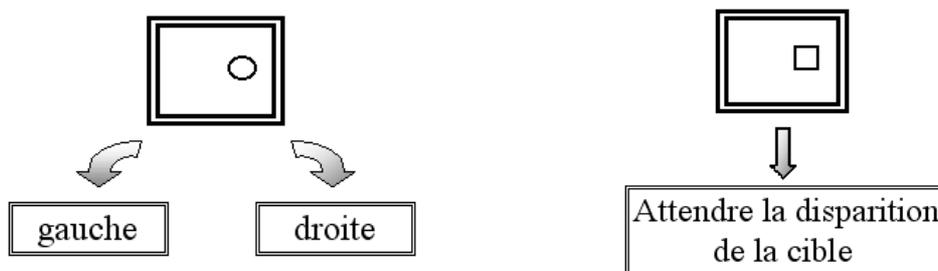


Figure 39. Illustration de la tâche des sujets.

Déroulement d'un essai

Deux groupes de sujets ont été testés avec deux SOA différents. Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 750 ms. À sa disparition, une couleur amorce apparaissait pendant 100 ms ou 500 ms, selon le groupe (20 sujets dans chaque groupe). Elle était immédiatement suivie par une cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 2250 ms. La figure 40 présentée ci-dessous illustre le déroulement d'un essai.

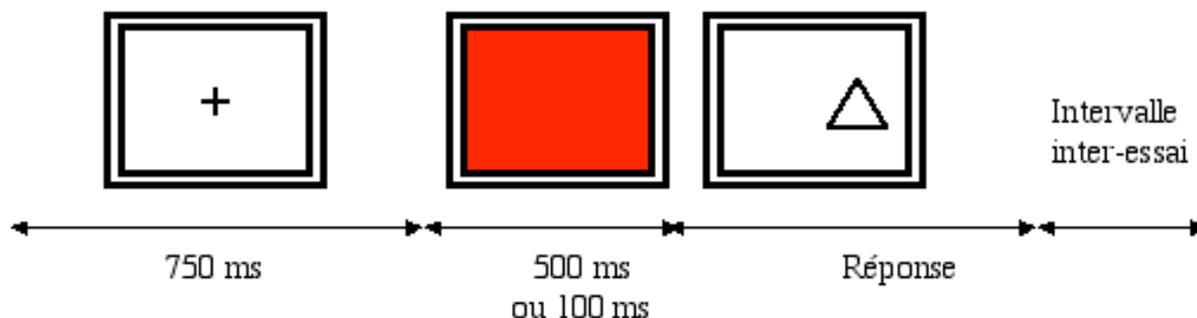


Figure 40. Exemple d'un essai de l'expérience 6.

Dans cette illustration, la couleur amorce fait référence à une figure de forme différente de la figure cible mais de position identique.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses. De la même façon, les latences supérieures à 1200 ms et celles inférieures à 100 ms n'ont pas été traitées. Nous avons en effet considéré que les temps supérieurs à 1200 ms avaient pu faire l'objet d'autres traitements cognitifs qui interféraient avec les effets d'amorçage étudiés. Quant aux temps inférieurs à 100 ms, nous les avons considérés comme trop courts pour une réelle catégorisation des stimuli. Parmi les latences restantes, celles s'écartant de plus de 3 écarts-types de la moyenne ont elles aussi été exclues. Selon ces critères, moins de 5% des latences ont été supprimés. Enfin, notons que six sujets ayant fait plus de 10% d'erreurs durant la phase d'entraînement ou ayant réalisés plus de quatre erreurs sur les cibles « carrés », ont été exclus des traitements statistiques.

Le tableau 6 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour traiter la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 500 ms		SOA 100 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Formes identiques	Positions identiques	537 ms (13,4)	99,6 %	540 ms (12,8)	99,6 %
	Positions différentes	551 ms (13,4)	99,6 %	548 ms (14,4)	99,6 %
Formes différentes	Positions identiques	550 ms (15,6)	100 %	569 ms (18,0)	99,6 %
	Positions différentes	546 ms (14,6)	100 %	561 ms (17,1)	99,6 %

Tableau 6. Expérience 6. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance avec comme facteurs aléatoires le facteur sujets, comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets les variables « forme » et « position ». Comme dans l'expérience précédente, nous n'avons pas réalisé d'analyse par items jugeant le nombre d'items par catégorie trop faible.

Les résultats ont indiqué un effet principal significatif du facteur « forme », $F(1, 38) = 10.05$, $p < 0.005$. Les sujets traitent plus rapidement les cibles lorsqu'elles sont précédées d'amorces qui font référence à des figures de mêmes formes que les cibles (544 ms) plutôt que des figures de formes différentes (557ms).

Par ailleurs, une forte tendance à l'interaction forme*SOA a été obtenue, $F(1, 38) = 4.06$ $p = 0.051$, traduisant un effet de la forme observé uniquement pour le SOA de 100 ms. Avec ce délai, les cibles précédées d'amorces faisant référence à des figures de même forme

sont plus rapidement traitées (544 ms) que les cibles précédées d'amorces faisant référence à des figures de formes différentes (565 ms), $F(1, 19) = 10.06$, $p < 0.005$. Ces résultats sont illustrés dans la figure 41.

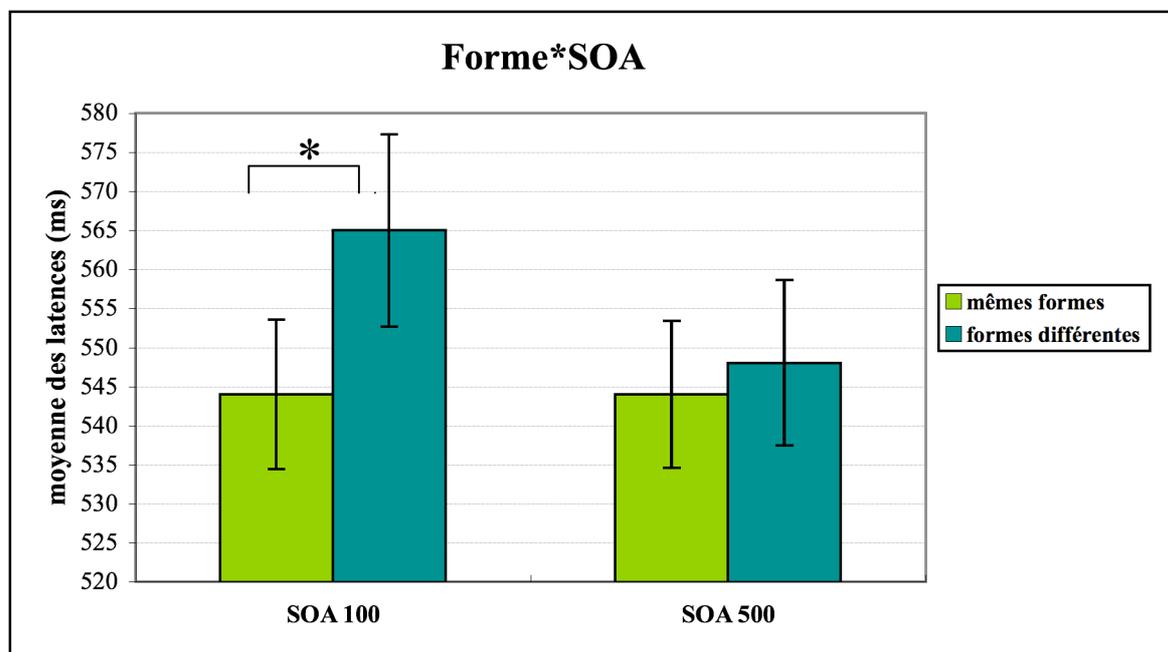


Figure 41. Expérience 6 : interaction « forme*SOA ».

Par ailleurs, une forte tendance à l'interaction entre les facteurs « forme » et « position » a été observée, $F(1, 38) = 3.98$, $p = 0.053$. Cette interaction est illustrée dans la figure 42. Comme on le voit sur cette figure, les latences semblent être plus courtes dans la condition où l'amorce et la cible partagent la même forme et la même position, par rapport aux trois autres conditions. Ceci a été confirmé par les comparaisons locales qui ont montré une tendance à l'effet simple du facteur « position » lorsque la cible et la figure à laquelle fait référence l'amorce ont des formes identiques, $F(1, 38) = 3.2$, $p = 0.08$. Elles ont également montré un effet du facteur « forme », lorsque la figure à laquelle fait référence l'amorce et la cible ont des positions identiques, $F(1, 38) = 12.0$, $p < 0.005$. Enfin les comparaisons locales ont montré des temps de traitement significativement différents entre la condition où la figure à laquelle fait référence l'amorce et la cible ont les deux facteurs en communs et la condition où elles n'en ont aucun, $F(1, 38) = 5.9$, $p < 0.05$.

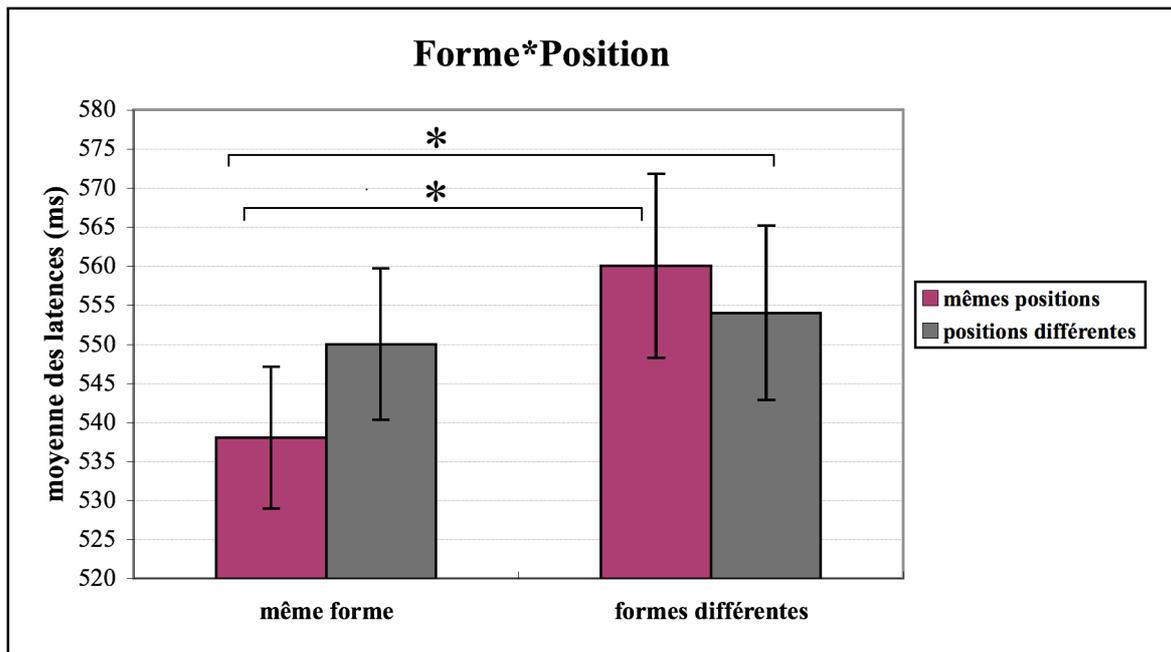


Figure 42. Expérience 6 : interaction « forme*position ».

Pour finir, notons que les pourcentages de bonnes réponses se situent globalement au-dessus de 99%. Il ne nous a donc pas semblé pertinent d'effectuer des analyses plus avancées sur ces résultats.

Discussion

Comme dans l'expérience 5, l'ensemble des résultats obtenus a été en partie conforme à nos hypothèses. De nouveau, l'effet principal significatif de la forme est apparu. Les sujets ont traité plus rapidement les cibles lorsqu'elles étaient précédées d'une couleur qui faisait référence à une figure de même forme plutôt que de forme différente.

En revanche, aucune interaction double n'a été observée entre nos trois facteurs. Seule une tendance à l'interaction entre la forme et la position est apparue, mais quel que soit le SOA. Cette interaction traduit, selon nos hypothèses, une intégration entre les composants forme et position. L'analyse des effets simples montre en effet que lorsque la position est la même entre amorce et cible, les sujets vont traiter plus rapidement la cible si elle partage également une même forme plutôt qu'une forme différente avec l'amorce. Autrement dit, lorsque les composants à la base de la représentation mentale stimulée par l'amorce, sont tous identiques aux composants constitutifs de la cible, l'amorce pourra avoir un effet d'amorçage

facilitateur sur le traitement de la cible. En revanche, lorsqu'un composant diffère, l'amorçage ne pourra être effectif. Le deuxième effet simple illustre parfaitement cette interprétation : la cible sera significativement plus rapidement traitée lorsqu'elle est précédée d'une amorce qui fait référence à une figure identique plutôt qu'à une figure différente sur les deux composants.

Jusqu'à présent, nous avons interprété l'absence de double interaction entre les facteurs « forme », « position » et « SOA » comme le résultat d'une interaction très précoce entre les composants. Il nous a cependant semblé que cette idée pouvait être discutée, surtout dans cette expérience 6. En effet, l'interaction obtenue entre le facteur « forme » et le facteur « SOA », a montré qu'avec un SOA de 100 ms, les cibles sont plus rapidement traitées lorsqu'elles sont précédées d'une amorce en lien avec une figure de même forme que de forme différente. En revanche, aucun effet n'est apparu avec un SOA plus long de 500 ms. La forme semble donc pouvoir se traduire par un effet d'amorçage uniquement pour un délai court d'exposition de l'amorce. Ces résultats pourraient, au moins pour ce facteur, aller dans le sens de nos hypothèses. En ce qui concerne l'absence d'effet du facteur « position » nous proposons que la consigne relative aux carrés puisse en être en partie responsable. Il est envisageable que cette consigne donne une priorité au traitement de la forme qui « cacherait » ou supprimerait l'effet d'amorçage de la position, du fait de la priorité et de l'importance données au traitement de la forme de la cible. Ainsi, aucun effet principal ne pourrait avoir lieu à partir de ce facteur. L'objectif de l'expérience 7 a donc été de valider cette explication en modifiant la procédure de l'expérience 6 puisque, par ailleurs, nous avons considéré et le matériel et la procédure déjà optimisée.

5.2.2. Expérience 7 (500 ms & 100 ms)

Objectifs et hypothèses

Nous avons réalisé la même expérience que l'expérience 6 mais en retirant la consigne qui demandait aux sujets de ne pas répondre lorsque la cible qui apparaissait à l'écran était un

carré. L'apparition d'un effet systématique du facteur « forme » dans les expériences 5 et 6 nous a en effet laissé penser qu'il n'était pas nécessaire de « forcer » les sujets à le traiter, les effets de ce facteur étant assez constants. Par ailleurs, comme nous l'avons déjà dit, nous supposons que la consigne relative aux carrés à « trop sensibilisé » les sujets à traiter en priorité la forme des figures. Dans ce contexte, l'amorçage éventuel que la couleur pourrait induire n'est pas assez « fort » pour apparaître.

Méthode

Participants

Cinquante-six étudiants droitiers de l'Université de Lyon ont participé à cette expérience, soit 47 femmes et 9 hommes. Ils étaient tous volontaires et présentaient une vue normale, avec ou sans correction. La moyenne d'âge était de 20,3 ans.

Matériel et plan d'expérience

Un paradigme d'amorçage à court terme a été élaboré. La tâche des sujets était d'appuyer le plus vite possible sur les touches étiquetée gauche ou à droite du clavier en fonction de la position d'apparition de la cible, à gauche ou à droite de l'écran. Chaque participant voyait une série de 48 essais.

Sélection des stimuli

Tous les stimuli ont été développés à partir des mêmes critères que ceux utilisés dans l'expérience précédente. Les figures à apprendre étaient les mêmes que précédemment (figure 43) ainsi que les couleurs amorces (figure 44). Les figures cibles étaient également similaires (figure 45). Cependant, les carrés ont été retirés de l'expérience.

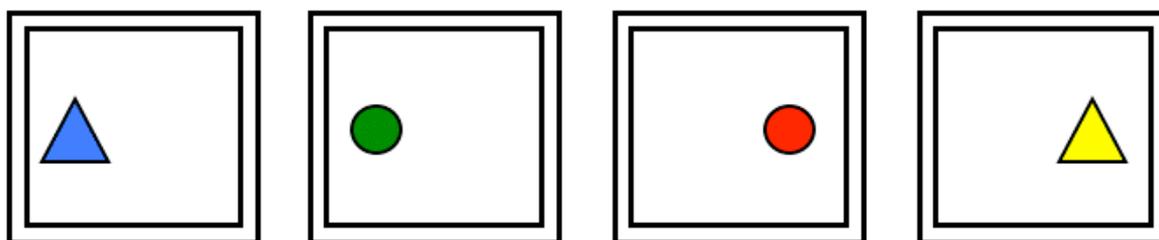


Figure 43. Les quatre figures colorées que les participants mémorisaient pendant une phase préalable d'apprentissage.

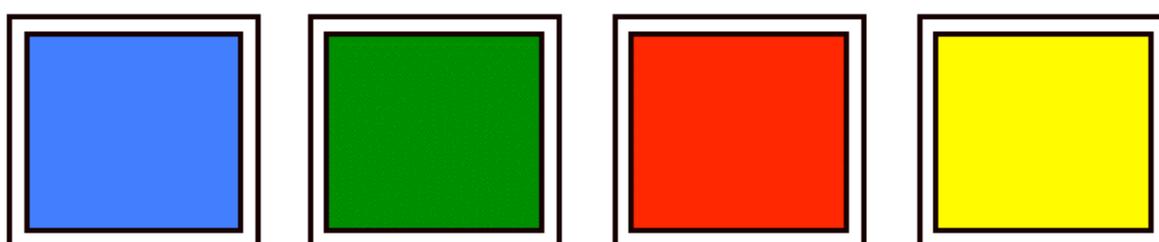


Figure 44. Les quatre couleurs amorces.

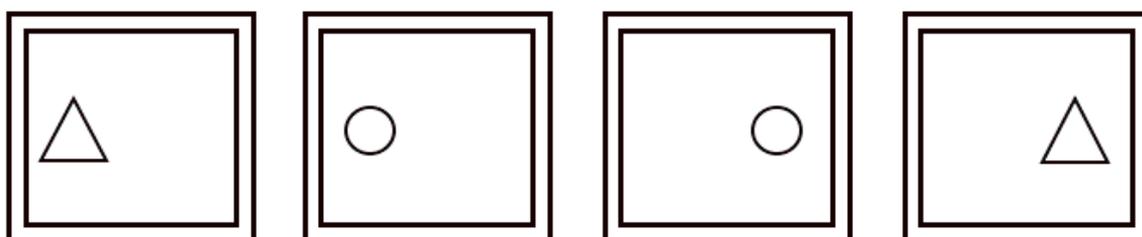


Figure 45. Les quatre figures cibles du paradigme d'amorçage.

Composition des couples amorce/cible

La construction des couples a dépendu de deux des propriétés caractérisant les figures, à savoir la « forme » et la « position ». Ainsi, les couples constitués pouvaient appartenir à quatre conditions expérimentales différentes : soit l'amorce et la cible avaient des formes et des positions identiques, soit l'amorce et la cible étaient de mêmes formes et de positions différentes, soit l'amorce et la cible avaient des formes différentes et des positions identiques soit enfin, l'amorce et la cible avaient des formes et des positions différentes.

Chaque cible apparaissait trois fois dans chaque condition. Au final, deux listes de contrebalancement ont été constituées et réparties sur l'ensemble des sujets, dans lesquelles l'ordre des images était aléatoire mais différent.

Dispositif expérimental et procédure

Le dispositif expérimental et la procédure étaient les mêmes que dans l'expérience précédente. Les sujets devaient apprendre les quatre figures colorées et orientées, puis ils étaient soumis à deux phases d'entraînement. Enfin, les carrés ont été retirés de la phase test.

Phase test

Un paradigme d'amorçage à court terme a été utilisé. La consigne donnée aux participants était présentée sur l'écran de l'ordinateur puis expliquée par l'expérimentatrice. Les sujets étaient informés qu'ils allaient voir une figure apparaître à l'écran, précédée d'une couleur qu'ils devaient ignorer. Leur tâche était d'appuyer le plus vite possible sur la touche indiquée gauche du clavier si la figure apparaissait à gauche de l'écran ou sur la touche droite si la figure apparaissait à droite de l'écran (voir la figure 46).

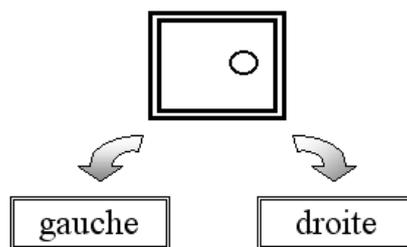


Figure 46. Illustration de la tâche des sujets.

Déroulement d'un essai

Deux groupes de sujets ont été testés avec deux SOA différents. Chaque essai débutait par la présentation d'un point de fixation au centre de l'écran pendant 750 ms. À sa disparition, une couleur amorce apparaissait pendant 100 ms ou 500 ms, selon le groupe (28

sujets dans chaque groupe). Elle était immédiatement suivie par une cible qui restait à l'écran jusqu'à ce que le sujet ait appuyé sur une des deux touches réponse. Enfin, l'intervalle inter-essai était de 2250 ms. La figure 47 présentée ci-dessous illustre le déroulement d'un essai.

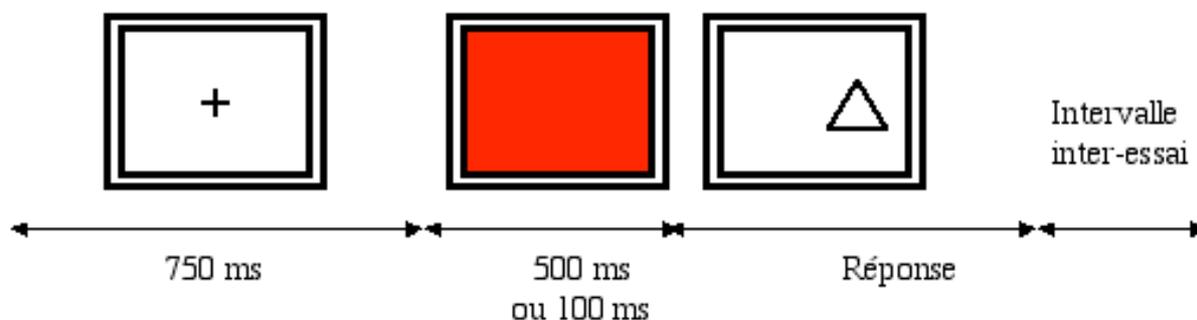


Figure 47. Exemple d'un essai de l'expérience 7.

Résultats

Les analyses présentées ci-dessous sont des analyses de variance effectuées grâce au logiciel SuperAnova. Les latences moyennes et les taux de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet dans les quatre conditions expérimentales. Cependant, les latences associées aux mauvaises réponses ont été exclues de ces analyses. De la même façon, les latences supérieures à 1200 ms et celles inférieures à 100 ms n'ont pas été traitées. Nous avons en effet considéré que les temps supérieurs à 1200 ms avaient pu faire l'objet d'autres traitements cognitifs qui interféraient avec les effets d'amorçage étudiés. Quant aux temps inférieurs à 100 ms, nous les avons considérés comme trop courts pour une réelle catégorisation des stimuli. Enfin, parmi les latences restantes, celles s'écartant de plus de 3 écart-types de la moyenne ont elles aussi été exclues.

Le tableau 7 présente les moyennes des temps de réponse et des pourcentages de bonnes réponses obtenus pour traiter la cible en fonction des conditions expérimentales.

		SOA 500 ms		SOA 100 ms	
		Latences	BR	Latences	BR
Formes identiques	Positions identiques	419 ms (9,5)	99,6 %	385 ms (7,6)	100 %
	Positions différentes	430 ms (9,7)	99,6 %	394 ms (7,4)	99,4 %
Formes différentes	Positions identiques	427 ms (11,2)	99,7 %	392 ms (8,0)	99,1 %
	Positions différentes	424 ms (9,9)	99,7 %	402 ms (9,0)	98,3 %

Tableau 7. Expérience 7. Moyennes des latences en ms avec les erreurs standards et les pourcentages de bonnes réponses (BR) en fonction des quatre conditions expérimentales et du SOA.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à différentes analyses de variance, avec comme facteur aléatoire le facteur sujets, comme facteur inter-sujets le « SOA » et comme facteurs intra-sujets les variables « forme » et « position ». Comme dans les expériences précédentes, nous n'avons pas réalisé d'analyse par items, jugeant le nombre d'items par catégorie trop faible.

Les résultats ont montré un effet principal du facteur « SOA », $F(1, 54) = 6.40$, $p < 0.05$. Les cibles sont plus rapidement traitées lorsqu'elles sont précédées d'amorces présentées 100 ms (394 ms), plutôt que 500 ms (425 ms).

Les résultats ont également indiqué un effet principal significatif du facteur « forme », $F(1, 54) = 5.58$, $p < 0.05$. Les sujets traitent plus rapidement les cibles lorsque les amorces font référence à des figures de mêmes formes que les figures cibles (407 ms) comparativement à la condition où elles font référence à des figures de formes différentes

(411 ms).

De la même manière, les résultats ont montré un effet principal significatif du facteur « position », $F(1, 54) = 10.95$, $p < 0.005$. Les sujets traitent plus rapidement les cibles lorsqu'elles ont des positions identiques à celles des figures auxquelles les amorces font référence (406 ms) plutôt que des positions différentes (412 ms).

Enfin, une double interaction forme*position*SOA a été observée, $F(1, 54) = 4.06$, $p < 0.05$. Cette interaction est illustrée dans la figure 48. Comme le montre la figure, les performances semblent tout à fait aller dans le sens de nos hypothèses, à savoir des effets additifs des facteurs forme et position pour un SOA de 100 ms et une interaction pour un SOA de 500 ms. Afin de vérifier cela, nous avons réalisé des analyses de variance séparées pour chaque SOA.

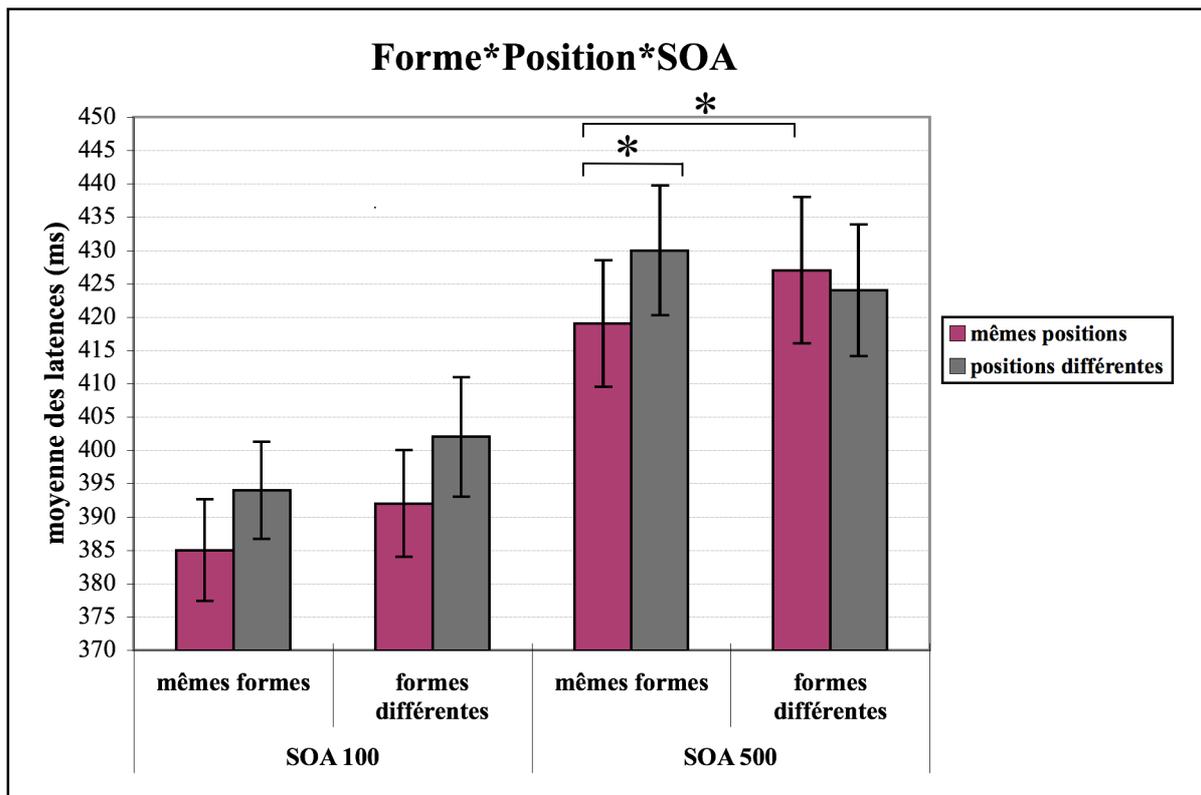


Figure 48. Expérience 7 : double interaction « forme*position*SOA ».

Les analyses ont montré qu'avec un SOA de 100 ms, les latences sont significativement plus rapides lorsque la figure à laquelle l'amorce fait référence et la figure cible présentent une même forme (390 ms) plutôt que des formes différentes (397 ms), $F(1, 27) = 11.29, p < 0.005$.

De la même manière, les analyses montrent que les réponses sont plus rapides lorsque la figure à laquelle l'amorce fait référence et la figure cible ont des positions identiques (389 ms) plutôt que des positions différentes (398 ms), $F(1, 27) = 11.73, p < 0.005$.

Pour finir, aucune interaction significative n'a été obtenue entre les facteurs « forme » et « position ».

Ces résultats supportent notre hypothèse qui proposait que l'émergence d'une connaissance inclut une étape dans laquelle tous les composants sont activés et peuvent chacun s'exprimer de façon indépendante.

En revanche, avec un SOA de 500 ms, l'analyse des latences a révélé une interaction significative forme*position, $F(1, 27) = 10.16, p < 0.005$. Les comparaisons locales montrent que les réponses sont plus rapides lorsque tous les composants sont identiques comparativement aux conditions où un composant diffère. En effet, les résultats montrent une différence significative entre la condition où amorce et cible ont une même position et une même forme et la condition où elles ont une même position mais une forme différente, $F(1, 27) = 6.7, p < 0.05$. De la même façon, une différence significative est obtenue entre la condition où l'amorce et la cible ont une même position et une même forme et la condition où elles ont une même forme mais des positions différentes, $F(1, 27) = 12.17 p < 0.005$.

Ces résultats vont eux aussi dans le sens de nos hypothèses qui proposaient qu'avec un SOA « plus long », l'expression d'un composant dépend de l'expression des autres composants. La facilitation due à l'amorçage est obtenue uniquement lorsque l'amorce et la cible sont identiques et non lorsqu'elles partagent certains composants alors que d'autres diffèrent.

Enfin, il est à noter que les pourcentages de bonnes réponses se situent globalement au-dessus de 99%. Il ne nous a donc pas semblé pertinent d'effectuer des analyses plus

avancées sur ces résultats.

Discussion

Le protocole utilisé pour cette dernière expérience nous a enfin permis d'obtenir des résultats allant totalement dans le sens de nos hypothèses qui concernaient la dynamique d'émergence des connaissances.

Nous avons en effet réussi à mettre en évidence des effets d'amorçage sensoriels différents sur la cible, en fonction de l'état de construction de la représentation mentale en lien avec le stimulus amorce.

Avec un SOA de 100 ms, un effet facilitateur significatif a été obtenu pour chaque composant sensoriel manipulé. Les résultats ont montré que des effets d'amorçage étaient observés lorsque la figure en lien avec l'amorce et la figure cible partageaient une même forme et ce, quelle que soit leur position. De la même façon, des effets d'amorçage ont été observés lorsque la figure en lien avec l'amorce et la figure cible avaient une même position et ce, quelle que soit leur forme. L'expression de la congruence de la forme s'est donc manifestée indépendamment de l'expression de la congruence de la position et vice-versa. Selon nous, ces résultats traduisent bien l'idée selon laquelle la présentation de la couleur amorce active la représentation mentale de la figure qui lui a été associée en mémoire. Si cette représentation partage une quelconque similarité avec la représentation activée par la cible, alors le traitement de cette dernière sera plus efficace qu'en l'absence de similarité.

Cependant, les résultats ont montré que l'amorçage variait en fonction du délai. Lorsque l'amorce était présentée pendant un SOA de 500 ms, donc plus long, la facilitation du traitement de la cible n'a plus pu être observée à partir de composants similaires isolés. Les analyses ont montré des effets d'amorçage uniquement lorsque l'ensemble des composants était partagé par les deux représentations mentales.

5.3. Discussion du chapitre 5

À l'issue de ces trois expériences, nous sommes parvenus à élaborer un protocole expérimental capable de distinguer les processus d'activation et d'intégration nécessaires à l'émergence d'une connaissance simple et nouvellement apprise. La maîtrise des composants

a été déterminante tout au long de ce chapitre et les expériences 5 et 6 nous ont permis d'optimiser d'une part le matériel et d'autre part le protocole.

Dans un premier temps, nous avons opté pour la manipulation de deux propriétés visuelles qui étaient la forme et l'orientation de figures géométriques. N'ayant pas de références expérimentales directes, nous avons choisi de façon arbitraire des rectangles et des ellipses orientés verticalement ou horizontalement. Chacune des figures était reliée dans la mémoire du sujet, grâce à la phase d'apprentissage, à une couleur particulière utilisée dans la phase test comme amorce. Comme dans le chapitre précédent, nous avons utilisé un paradigme d'amorçage à court terme et nous nous attendions à ce que la présentation d'une de ces couleurs avant le traitement de la cible induise des effets d'amorçage distincts en fonction du SOA utilisé.

Le fait d'obtenir un effet significatif global du composant forme a été positif. La couleur avait donc induit un amorçage sensoriel à partir d'un composant mnésique que les sujets n'avaient pas à traiter. En revanche, malgré la double interaction mise en évidence entre nos trois facteurs, les analyses de variance séparées pour chaque SOA n'ont fait ressortir qu'un effet de la forme, pour le SOA de 500 ms. Toutefois, l'absence d'interaction pour ce délai ainsi que l'absence d'effet additif pour le SOA de 100 ms ont eu le mérite de nous encourager à remettre en question la validité de nos facteurs et à les optimiser.

L'expérience 6 a donc bénéficié de ces changements. En particulier, nous avons constaté que les deux facteurs que nous avons utilisés n'étaient en réalité pas tout à fait distinguables l'un de l'autre. En effet, la forme et l'orientation semblent au contraire visuellement dépendantes, créant une figure unique et particulière. Manipuler des composants réellement indépendants nous a donc conduit à choisir un autre facteur, la position des figures. Par ailleurs, la phase d'apprentissage a été modifiée afin de rendre l'apprentissage des stimuli plus actif et par conséquent plus efficace. Enfin, afin de s'assurer que l'amorçage allait pouvoir également avoir lieu sur la composante forme, nous avons ajouté une consigne qui impliquait que le sujet traite à la fois la forme et à la fois la position de la cible sans pour autant avoir besoin d'intégrer ces composants l'un à l'autre.

Les résultats de cette expérience ont été de nouveau seulement en partie conformes à nos attentes. Comme dans l'expérience 5, un effet global de la forme a été obtenu. Par ailleurs, une interaction forme*SOA a été constatée, traduisant une facilitation de la similarité de la forme entre amorce et cible uniquement pour un délai court de 100 ms. Les résultats de l'expérience 6 ont aussi montré une interaction entre nos facteurs forme et position indiquant

des modulations du temps de traitement de la cible en fonction de la modalité de la forme lorsque amorce et cible avaient une même position. Une des hypothèses rapidement envisagée quant au faible impact de notre deuxième facteur a été l'incidence de la consigne concernant les carrés sur l'amorçage éventuel de la position. Selon nous, cette consigne étant potentiellement à l'origine de modifications incontrôlables, impliquant un traitement temporellement ou qualitativement différencié des deux facteurs, nous avons décidé de construire une nouvelle expérience cette fois-ci sans cette consigne.

Ce dernier changement de protocole a été bénéfique. Le profil de nos résultats a correspondu pleinement à nos hypothèses. D'une part des effets d'amorçage sensoriel des facteurs ont été observés et d'autre part une double interaction forme*position*SOA a montré la dépendance de l'impact de ces facteurs, au temps plus ou moins long laissé à leur émergence. Cette dernière expérience a également montré que le traitement de la forme s'est fait de façon automatique sans consigne particulière la concernant. Nous reparlerons du phénomène d'automaticité dans notre discussion générale.

Au-delà de la mise en évidence d'une dynamique d'émergence de connaissances nouvellement apprises, l'évolution du protocole au fur et à mesure des expériences de ce chapitre, met en relief les difficultés observées dans la construction d'une telle étude. Elle souligne par exemple l'importance de l'indépendance des facteurs utilisés. Nous retiendrons également que la nature de la tâche est elle aussi déterminante et qu'il est préférable que sa réalisation ne nécessite pas l'intégration des composants relatifs au stimulus à traiter. Par ailleurs, après avoir testé un certain nombre de sujets avec ce type de protocole, il apparaît fondamental de construire une phase d'apprentissage véritablement efficace. L'apprentissage actif, multipliant les modalités d'apprentissage sera donc préféré à un apprentissage passif.

Enfin, il est important de rappeler que les délais différents qui correspondent selon nous à un état d'activation des composants de l'amorce et à un état d'intégration de ces composants dans notre dernière expérience, ne sont valables que pour la modalité et les facteurs sensoriels étudiés. Cependant, cette expérience associée aux expériences du chapitre 4, procurent un profil similaire de résultats qui va dans le sens de l'existence d'une dynamique d'émergence des connaissances, tributaire du processus d'intégration également impliqué, selon nous, dans l'activité perceptive réelle.

DISCUSSION GÉNÉRALE

L'ensemble des expériences que nous avons réalisées tout au long de ce travail de thèse s'est inscrit dans un cadre théorique particulier de la mémoire. À l'opposé des modèles traditionnels multi-systèmes, nous avons proposé une approche unitaire et fonctionnelle du système mnésique où les connaissances mentales résultent de différents patterns d'activation du système nerveux. Les observations actuelles montrent que ces patterns neuronaux ne sont pas localisés mais, au contraire, distribués sur l'ensemble du cerveau et qu'ils impliquent, entre autres, les aires primaires responsables de notre interaction avec l'environnement. Les connaissances même les plus conceptuelles, semblent donc posséder un caractère sensoriel et moteur. Par ailleurs, le fait que les mêmes régions cérébrales soient impliquées lors de la construction d'une représentation mentale stimulée par un percept, et lors de son évocation, nous a amené à supposer également des chevauchements au niveau des processus cognitifs mis en jeu. C'est à partir de ces considérations théoriques que nous avons proposé une problématique concernant le processus d'intégration et son rôle dans l'émergence des connaissances mentales. Décrit par les neurosciences comme un processus précoce et à la base de la perception cohérente d'une situation multisensorielle, ce processus d'intégration est selon nous, également responsable de la cohérence des représentations mentales.

Les expériences réalisées avaient donc pour objectifs de mettre en évidence l'existence d'un tel processus et de le distinguer des processus d'activation qui invariablement le précèdent. L'utilisation du paradigme d'amorçage à court terme nous a permis d'une part de tester le phénomène d'amorçage sensoriel aussi bien sur des connaissances sémantiques qu'épisodiques et d'autre part, de mettre en évidence des états distincts de l'émergence de ces connaissances.

Résumé de nos expériences

Nous avons présenté, dans le chapitre 4, les expériences 1, 2, 3 et 4, qui ont eu pour but de tester l'existence des processus d'activation et d'intégration dans l'émergence de connaissances, engendrées par l'observation d'objets usuels. La section 4.1. était plus particulièrement consacrée aux connaissances en lien avec des objets impliquant un geste d'utilisation spécifique. Nos expériences ont montré que le traitement de l'image d'un outil ou d'un ustensile de cuisine était influencé par la présentation préalable d'un objet nécessitant un même geste d'utilisation. Ces résultats s'inscrivent dans un vaste ensemble d'observations similaires mentionnées dans la section 2.2.2., qui confirme l'existence de propriétés motrices au sein des connaissances sémantiques, autrement dit conceptuelles. Cependant, l'idée que les effets d'amorçage moteurs observés dans notre expérience 2, soient en réalité le résultat de similarités visuelles entre l'amorce et la cible pourrait être objectée. En effet, les objets qui impliquent un geste d'utilisation similaire partagent bien souvent aussi des attributs visuels. Quoiqu'il en soit, même si les composants visuels et moteurs sont tous deux responsables des effets facilitateurs dans la condition où le geste est similaire, ce biais potentiel ne peut expliquer les nettes modulations des effets d'amorçage que nous avons obtenues. En effet, nos résultats ont également réussi à montrer des effets d'amorçage distincts en fonction du délai qui sépare la présentation de l'image amorce et de l'image cible. Pour nous, cette différence est liée au fait que la représentation mentale évoquée par l'amorce n'est pas une entité abstraite, stockée et réactivée comme un tout d'emblé unifié. Elle est au contraire reconstruite grâce à un ensemble de processus neuronaux impliquant des aires cérébrales éparses. Son émergence est fondamentalement inscrite dans un discours temporel qui traduit les cascades d'interactions et d'intégrations s'établissant entre les différents pools neuronaux initialement activés. Comme nous l'avons déjà expliqué, deux états d'émergence particuliers peuvent être distingués : un état précoce résultant de l'activation des aires neuronales et permettant des amorçages additifs et un état avancé où l'intégration entre les différents éléments de la représentation n'autorise plus leur action indépendante. Et en effet, les résultats expérimentaux de la section 4.1. montrent des effets principaux des facteurs étudiés avec un

SOA court de 100 ms alors qu'ils mettent en évidence une interaction entre les facteurs avec un SOA de 300 ms.

Ainsi, ces observations expérimentales nous permettent de proposer que les connaissances qui émergent lorsque nous devons traiter (par exemple catégoriser) des objets manufacturés, sont bien le résultat d'un ensemble de composants multisensoriels et moteurs, reliés les uns aux autres par le processus d'intégration qui semble être effectif au moins 300 ms après l'apparition de l'objet.

Toujours à propos des objets manufacturés, les expériences de la section 4.2. ont été motivées par la nécessité de maîtriser davantage la quantité des composants étudiés. Entre autres, dans les expériences présentées dans la première section, l'une des dimensions utilisées était la catégorie de l'objet. Or la catégorie sémantique est déterminée par tous les composants associés à l'objet (multisensoriels, moteurs, émotionnels...). Nous avons donc travaillé par la suite, dans les expériences 3 et 4, à partir de deux propriétés bien distinctes, circonscrites à des modalités sensorielles différentes. Cette fois-ci, les composants concernaient les propriétés taille et sonorité des objets. Et de la même façon que dans la section précédente, des effets d'amorçage sensoriels ont été obtenus entre les amorces et les cibles qui partageaient ces propriétés. L'analyse des résultats a montré une interaction entre le facteur taille et le facteur sonorité : de nouveau, lorsque l'amorce et la cible étaient similaires au niveau des composants, le traitement de la cible était accéléré, tandis que si un seul composant variait l'effet d'amorçage disparaissait. Cependant, l'absence de double interaction avec le facteur SOA ne nous a pas permis de confirmer l'ensemble de nos hypothèses. Les effets d'amorçage des facteurs n'étaient pas modulés par les différents temps de présentation de l'amorce. Le fait de ne pas trouver d'effet additif pour chaque facteur avec un SOA court a pu avoir de multiples origines. La tâche de catégorisation nécessitait peut-être une intégration de la représentation mentale en lien avec la cible et ses multiples composants ne pouvaient donc pas être amorcé de façon indépendante par chaque composant activé de l'amorce. Une autre possibilité déjà suggérée par les recherches en neurosciences, est que le processus d'intégration entre des composants visuels et auditifs soit un processus qui ait lieu de façon très précoce, avant même 100 ms.

Au final, le chapitre 4 nous a permis de nous intéresser à l'émergence de connaissances nécessaires pour catégoriser un ensemble d'objets présents dans notre quotidien, c'est-à-dire de connaissances sémantiques. Mais les difficultés rencontrées vis-à-

vis du matériel ainsi que l'absence d'effet additif avec un SOA court pour les composants visuo-auditifs, nous ont amenés à construire de nouvelles expériences (5, 6 et 7), en modifiant radicalement la nature des connaissances étudiées.

Les expériences présentées dans le chapitre 5 ont donc eu pour objectif de maîtriser davantage les composants constitutifs des connaissances impliquées dans le paradigme d'amorçage. Pour cela, nous avons construit de toutes pièces les stimuli que les participants avaient à apprendre. Ces stimuli étaient caractérisés par trois attributs particuliers (orientation ou position, forme et couleur). L'idée était que si nous présentions l'un de ces attributs, il réactiverait en mémoire les deux autres qui pourraient influencer le traitement d'un stimulus ultérieur partageant ou non ces propriétés. Construire les stimuli a donc présenté l'avantage de nous permettre de créer des effets d'amorçage à partir de composants (mnésiques) totalement identiques entre l'amorce et la cible. Par ailleurs, la tâche des sujets a également été modifiée. Elle ne nécessitait plus l'intégration des composants de la cible, permettant ainsi avec un SOA court, des effets facilitateurs indépendants de chacun des composants.

Dans l'ensemble, les expériences 5 et 6 ont apporté des informations utiles pour l'élaboration d'un protocole efficace utilisé au final dans notre dernière expérience. Les éléments essentiels sont les suivants. Globalement, il semble nécessaire que la phase d'apprentissage soit très élaborée ; il ne suffit pas d'un apprentissage passif pour que les sujets mémorisent les stimuli. Il est au contraire nécessaire qu'ils s'entraînent sur cette mémorisation de façon active. Par ailleurs, il est important que les attributs des stimuli amorce et cible soient facilement discriminables pour induire des effets d'amorçage. Les composants spatiaux par exemple, ont été préférés aux composants relatifs à l'orientation pour augmenter la discrimination en mémoire des différents stimuli. Le facteur forme semble pour sa part assez stable : un effet principal significatif a été obtenu sur ce facteur dans l'ensemble de nos expériences bien que la tâche n'avait aucun rapport avec la forme des cibles. En ce qui concerne les couleurs amorces, nous n'avons pas eu de difficulté quant aux nuances de luminosité, de contraste et d'autres paramètres de ce type, qu'elles pouvaient présenter entre elles. Chaque couleur apparaissait dans toutes les conditions expérimentales, par conséquent une couleur donnée exerçait la même influence, dans toutes les conditions.

Au final, les résultats que nous avons obtenus dans l'expérience 7 ont présenté un

profil similaire à ceux du chapitre 4. Que ce soit des connaissances relatives à des objets complexes usuels ou des connaissances épisodiques, nouvellement apprises, leur émergence semble modulée par le processus d'intégration. Nous avons en effet mis en évidence des effets d'amorçage différents en fonction du délai de présentation des stimuli, qui traduisent selon nous des possibilités d'amorçage différentes de chaque composant en fonction de son état d'émergence. De façon générale, nous proposons que la représentation mentale d'un objet soit basée sur la réactivation de structures neuronales qui encodent les différents composants sensoriels et moteurs de l'objet. Les activations multimodales initiales de ces structures peuvent alors influencer un traitement cognitif ayant lieu très rapidement après l'apparition de l'objet. Par la suite, les composants sont intégrés graduellement à des niveaux intra et intermodaux via le processus d'intégration qui permet d'accéder à des connaissances de plus en plus élaborées et unitaires. Mais ce processus nécessite également plus de temps que les activations initiales. Dans nos expériences, dans le cas d'un SOA long, les effets d'amorçage ne sont observés que lorsque la représentation mentale en lien avec l'amorce, a l'ensemble de ses composants élémentaires en commun avec la cible. L'aspect intégré de la représentation explique, selon nous, pourquoi les composants de l'amorce ne peuvent pas agir individuellement. Statistiquement, cette intégration se traduit par une interaction entre les facteurs manipulés.

Les traces mnésiques : un continuum d'intégrations

À la base de l'ensemble de nos expériences, nous avons supposé une séquentialité des processus mis en jeu pendant l'émergence des connaissances. Mais les différents travaux que nous avons menés ont montré que trouver un délai correspondant à des effets additifs de chaque facteur manipulé était une tâche relativement difficile.

L'explication empruntée aux neurosciences qui suggère des intégrations cross modales audio-visuelles très précoces ne semble pas être véritablement satisfaisante. D'après les auteurs, les intégrations multisensorielles pourraient prendre place très rapidement dans la « chaîne » des traitements sensoriels et opérer à la fois dans les structures à modalités spécifiques et non spécifiques (voir par exemple Giard & Peronnet, 1999). Parallèlement, les

études anatomiques révèlent des projections directes entre les régions auditives et les aires visuelles (Falchier & al., 2002; Rockland & Ojima, 2001, 2003; Schroeder et al., 2003) qui pourraient être à l'origine de ces intégrations. Cependant, il nous semble davantage cohérent de considérer ces projections et ces activités multisensorielles non pas comme des intégrations mais plutôt comme des « interactions » très précoces entre les aires primaires. Les effets obtenus par Giard et Peronnet environ 40 ms après la présentation du stimulus, ne correspondent pas selon nous à un stade d'émergence d'une trace mnésique unifiée. Ils semblent plutôt être le résultat d'interactions précoces entre les composants élémentaires, reflétant seulement le début de la construction de la trace. Il s'agit d'une diffusion d'activations multimodales entre les différents composants encore indépendants les uns des autres. La trace unifiée serait le résultat plus tardif de la succession de ces processus permettant au final, l'intégration des composants multisensoriels.

Par ailleurs, il est possible que le processus d'intégration varie avec la nature des modalités sensorielles, motrices et émotionnelles constituant le stimulus. Il n'est donc pas raisonnable de penser qu'un seul profil de séquentialité existe. Nos travaux se sont intéressés à l'intégration entre des composants mnésiques sensoriels et moteurs, mais ils ne correspondent qu'à une toute petite quantité des combinaisons possibles.

De la même façon, le processus d'intégration doit certainement être influencé par les attentes et les expériences passées du sujet. Il est possible d'envisager par exemple, que plus le niveau d'expertise exigé est élevé, plus l'intégration sera dense et rapide. Les connaissances utilisées par l'expert sont certainement déjà des connaissances de niveau d'intégration supérieur à celles du sujet « novice ».

En dehors des multiples facteurs motivationnels et situationnels, la valeur émotionnelle d'un stimulus peut également jouer un rôle sur la force de l'intégration impliquée dans la construction de la trace mnésique correspondante. Une expérience réalisée dans notre laboratoire a montré, qu'une émotion à valence négative pouvait par exemple moduler le processus d'intégration entre des composants perceptifs distincts (Versace & Rose, 2007). Les participants devaient dans une première phase juger le degré d'association entre des images d'objets ou d'animaux et des sons présentés simultanément. Les sons correspondaient en fait toujours à un bruit typiquement associé à l'image. Chaque couple image/son était précédé d'une image neutre ou à valence négative présentée pendant 3000 ms. L'hypothèse principale des auteurs était que la valence négative renforcerait les associations. Dans une seconde phase, les mêmes images étaient présentées avec les mêmes sons que lors

de la première phase (sons associés) ou avec un son différent (non associé à l'image). Les couples image/son étaient toujours présentés seuls et la tâche des participants était d'indiquer si le son et l'image étaient associés ou non. Les résultats ont montré que lorsqu'une image ancienne était présentée avec le même son que lors de l'encodage, les réponses étaient plus rapides lorsque l'encodage avait eu lieu en condition négative qu'en condition neutre. Au contraire, lorsqu'une image ancienne était présentée avec un son différent de celui de l'encodage, les réponses étaient plus lentes lorsque l'encodage avait eu lieu en condition négative plutôt qu'en condition neutre. Ces résultats confirment selon nous, le fait que l'encodage en condition d'activation négative a augmenté la force du lien entre l'image et le son et pas seulement les traces respectives de l'image et du son. L'émotion a joué un rôle de renforcement, impliquant des processus d'intégration semblent-ils plus « forts ».

Finalement, il apparaît que tous les facteurs en lien avec la situation, l'activité et les attentes du sujet sont des « modulateurs » du processus d'intégration impliqué dans l'émergence des connaissances. Cette conception dynamique et fonctionnelle de la mémoire correspond tout à fait aux idées défendues par le modèle de l'embodiment et plus généralement de la cognition située. Les opérations mentales sont dans cette optique, le produit global de l'interaction du sujet avec son environnement. Le fonctionnement cognitif ne se limite pas à un traitement symbolique et interne de l'information, il se construit plutôt à travers les expériences sensorielles, motrices et émotionnelles, et leur réactivation interne guide en retour la perception et les comportements (Barsalou, 1999, 2008 ; Glenberg, 1997 ; Varela, Thompson, & Rosch, 1991). Il n'existerait donc pas un processus standard d'intégration, mais plutôt des émergences variables d'un même stimulus, en fonction de chaque situation. La dichotomie de connaissances en mémoire activées ou non activées, conscientes ou inconscientes, pourrait alors être ramenée à un continuum de niveaux d'intégration. Il est possible par exemple que les connaissances les plus « abouties » soient le résultat d'intégrations multiples et fortes et qu'elles correspondent à un niveau très conscient. À l'inverse, les connaissances faiblement émergentes pourraient être le résultat de diffusions d'activation peu intégrées. Il semble donc que le rôle de ces processus dans la récupération en mémoire soit relativement important.

Toujours à partir de ce continuum de niveaux d'intégration, il est possible selon nous d'expliquer les récupérations explicite/implicite de façon relativement cohérente. En effet, si effectivement les processus d'activation et d'intégration sont impliqués dans l'émergence des

connaissances, quelles qu'elles soient, des modulations de ces processus doivent être à la base des différentes formes de récupération d'une même connaissance. Dans des tâches de nature explicite par exemple, la récupération en mémoire se fait selon nous sur des traces très spécifiques (distinctes les unes des autres). Le processus d'intégration nécessaire ici est un processus qui agit entre les différents composants multimodaux de chaque trace : nous parlerons d'une intégration intra-trace intermodale très fine (spécifique), qui permet de rendre la trace « discriminable » et donc de la récupérer explicitement. Les tâches implicites en revanche, reposent sur l'influence d'une récupération automatique, non intentionnelle (issue d'un amorçage par exemple) sur le traitement d'un stimulus cible. Dans ce contexte, si la tâche demande le traitement d'une caractéristique perceptive spécifique (par exemple, la catégorisation d'un item sur la base de sa taille), alors l'intégration intermodale devrait jouer un rôle limité et les traces associées à l'item sur la composante en question, auront toutes les chances d'influencer la catégorisation (en quelques sortes équivalent à une intégration inter-traces « unimodale »). Si la tâche demande au contraire de traiter l'item dans sa globalité, par exemple une tâche de catégorisation sémantique, une intégration multimodale est alors nécessaire et tout facteur améliorant la distinctibilité de l'item cible sur un composant quelconque, ou améliorant l'intégration inter-modale, doit faciliter la catégorisation (pour une discussion cf. Brunel, Vallet, Oker, & Versace, en préparation).

Dans une recherche récente non publiée, Oker, Brunel, et Versace (soumis) ont testé ces hypothèses en comparant l'effet de la distinctivité perceptuelle (des mots désignant des objets typiquement associés à du bruit ou non typiquement associés à du bruit) ou conceptuelle (des mots désignant des objets ou des animaux) manipulée lors d'une phase d'étude, sur une récupération ultérieure de type explicite (rappel libre) ou implicite (décision lexicale). La tâche de décision est considérée par les auteurs comme une tâche de catégorisation nécessitant de l'intégration inter-modale. Conformément aux hypothèses formulées plus haut, les résultats ont révélé un effet de la distinctivité perceptuelle uniquement sur la tâche implicite, et un effet de la distinctivité conceptuelle à la fois sur dans la tâche implicite et dans la tâche explicite.

À l'issue de ces réflexions, nous proposons donc que le processus d'intégration soit :

/ Un processus commun à la perception multimodale et à la récupération des connaissances en mémoire.

/ Un processus modulé par de nombreux facteurs situationnels et émotionnels.

/Un processus qui s'inscrit dans une dynamique temporelle initiée par des diffusions d'activations multimodales.

/Un processus diffus, actif au sein des traces (intra-traces) et entre les traces (inter-traces).

L'intégration nécessite-t-elle de l'attention ?

Pour finir, il est intéressant d'ajouter que nos expériences semblent pouvoir apporter des informations quant au statut de l'attention dans l'émergence des connaissances. Les interactions que nous avons obtenues dans l'expérience 7 témoignent non seulement de l'activation d'attributs non pertinents pour la tâche mais également de la dépendance de leur expression aux autres composants. Ces interactions sont, pour nous, le reflet d'une intégration même en l'absence de traitement attentionnel. Or pour certains auteurs, l'attention est un « pré requis » nécessaire à l'intégration. Bien sûr nos expériences ont concerné des composants « mnésiques » mais comme nous l'avons expliqué tout au long de cette thèse, il s'agit pour nous du même processus que celui impliqué dans l'intégration de stimuli perceptivement présents.

Pour les auteurs travaillant dans le domaine de la perception visuelle, la question d'une attention *permettant* l'intégration ou au contraire *résultant* de l'intégration multimodale, se pose (Calvert & Thesen, 2004). Par exemple, la théorie de l'intégration des traits développée par Treisman et Gelade (1980), considère que l'identification visuelle d'un objet passe par une première étape qui consiste en une analyse (ou détection) très rapide et en parallèle, des caractéristiques élémentaires de l'objet comme sa forme, sa couleur, son orientation, sa taille, etc. Il s'agit d'une sorte d'inventaire des caractéristiques sensorielles de la scène visuelle. Les objets en tant qu'entités n'existent pas encore à ce niveau-là. L'identification des objets et l'extraction de connaissances relatives à ces objets sont ensuite supposées nécessiter une intégration des caractéristiques élémentaires. Cette intégration ne serait possible que par l'intervention d'une attention focalisée sur une zone particulière du champ observé. Cette focalisation de l'attention permettrait l'intégration de toutes les caractéristiques de la région en question.

Comme nous l'avons montré, les connaissances que l'individu associe

automatiquement aux objets, ou émergeant des objets, nous semblent plutôt dépendre du niveau d'activation et d'intégration des composants de l'objet. Tant que le fonctionnement cognitif se limite aux activations multimodales, seuls ces composants peuvent être accessibles, l'objet n'existe pas encore comme entité intégrée. La détection consciente et donc l'attention ne peuvent, dans ce cas, concerner que les composants isolés, indépendants. Les travaux de Treisman (e.g., 1988 ; Treisman & Gelade, 1980) montrent bien que la présentation très brève d'une scène visuelle peut permettre la détection des propriétés élémentaires de la scène (les couleurs, les formes simples, les orientations, etc.) sans être capable de percevoir les associations entre les propriétés élémentaires. L'identification d'un objet en revanche nécessite l'intégration d'un minimum des composants de l'objet. Dans ce cas seulement un traitement attentionnel de l'objet en tant qu'entité unifiée devient possible.

Afin de mieux comprendre le lien entre attention et récupération automatique ou réfléchie d'une information en mémoire, nous avons débuté une série d'expériences à partir de l'hypothèse d'une indépendance entre les processus d'intégration et le processus attentionnel. Nous avons imaginé toujours à partir de stimuli simples, de créer un protocole où l'attention du sujet serait fortement orientée sur un composant autre que les composants sur lesquels porte le paradigme d'amorçage. Dans nos expériences du chapitre 5, la tâche des sujets concernait l'un des composants directement impliqué dans l'intégration étudiée. Les nouveaux stimuli utilisés doivent donc comporter au moins un attribut supplémentaire. Le protocole est actuellement en construction, ainsi que le matériel. Bien sûr, il serait également intéressant en parallèle, d'affiner nos délais en utilisant des SOA variés et d'aller plus loin en travaillant à partir d'autres combinaisons multimodales.

Conclusion

Le travail réalisé tout au long de cette thèse s'est inscrit dans une position théorique alternative à la description classique multi-systèmes et abstraite de la mémoire. Nous avons essayé de montrer la nature véritablement épisodique de toutes les connaissances mentales,

même les plus conceptuelles. En insistant sur l'implication de zones neuronales similaires dans nos interactions avec les objets et dans leurs évocations mentales, nous avons proposé des processus également communs à ces deux activités cognitives. Nos expériences ont porté sur les processus d'activation et d'intégration et ont suggéré un continuum d'intégrations nécessaires à l'émergence des connaissances. La dynamique proposée des mécanismes d'acquisition et de récupération des connaissances en mémoire, apparaît dans ce contexte comme une théorie très cohérente envisageant le fonctionnement cognitif dans sa globalité et d'une manière intégrée. Les liens entre mécanismes perceptifs, attentionnels et mnésiques deviennent beaucoup plus étroits et reflètent selon nous davantage le fonctionnement cognitif.

Grâce à cette façon d'envisager la mémoire, « Les connaissances, les états de conscience qui en découlent, l'évolution de ces états de conscience, mais aussi les comportements qui en résultent peuvent être décrits en termes d'états successifs d'un système mnésique multimodal » (Versace et al., 2008).

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261-295.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in Research and theory 2* (pp. 89-195). New York, Academic Press.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1977). Recency re-examined. In S. Dornic (Ed.), *Attention and Performance*, 6 (pp. 647-667). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22, 577-660.
- Barsalou, L. W. (2003). Situated simulation in the human conceptual system. *Language and Cognitive Processes*, 18, 513-562.
- Barsalou, L.W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617-645.
- Barsalou, L. W., Simmons, W. K., Barbey, A. K., & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Cognitive Sciences*, 7(2), 84-91.
- Bechara, A., Tranel, D., Damasio, H., Adolphs, R., Rockland, C., & Damasio, A. R. (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 automatically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 6, 215-225.
- Bensafi, M., Sobel, N., & Khan, R. M. (2007). Hedonic-specific activity in piriform cortex during odor imagery mimics that during odor perception. *Neurophysiology*, 98(6), 3254-3262.
- Blake, R., Sobel, V. K., & James, T. W. (2004). Neural synergy between kinetic vision and touch. *Psychological Science*, 15, 397-402.

- Blaxton, T. A. (1989). Investigating dissociations among memory measures: Support for a transfer-appropriate processing framework. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 657-668.
- Borghetti, A. M., Bonfiglioli, C., Lugli, L., Ricciardelli, P., Rubichi, S., & Nicoletti, R. (2007). Are visual stimuli sufficient to evoke motor information? Studies with hand primes. *Neuroscience Letters*, *411*, 17-21.
- Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Seitz, R. J., Zilles, K., Rizzolatti, G., & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: An fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, *13*, 401-404.
- Brunel, L., Vallet, G., Oker, A., & Versace, R. (en préparation). Implicit and explicit emergence of the knowledge: Evidence for a level of integration process.
- Calvert, G. A., & Thesen, T. (2004). Multisensory integration: Methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology-Paris*, *98*, 191-205.
- Cohen, J., McWhinney, B., Flatt, M. & Provost J. (1993). PsyScope designing and controlling experiments in the psychology laboratory using Macintosh computers. *Behavioral Research Methods, Instruments and Computers*, *25*, 257-271.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*, 407-428.
- Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *8*, 240-247.
- Craik, F. I., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *11*, 671-684.
- Craik, F. I., & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *104*, 268-294.
- Damas, L., Versace, R. & Mille, A. (2001). Etudier la mémoire humaine pour concevoir des assistants informatiques à l'apprentissage. Actes de RàPC' 2001, (PP. 11-16). Plateforme AFIA. Grenoble, Juin.

- Damasio, A. R. (1989). Time-locked multiregional retroactivation : A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition*, 33, 25-62.
- Damasio, A. R. (1995). *L'erreur de Descartes*. Paris : Odile Jacob.
- Decety, J., & Boisson, D. (1990). Effect of brain and spinal cord injuries on motor imagery. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 240, 39-43.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastène, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioral Brain Research*, 42, 1-5.
- Ducieux, A., Marsot-Dupuch, K., Lasjaunias, P., Oppenheim, C., & Fredy, D. (2003). Lyrical and musical auditive mental imagery in functional MRI. *Journal of Neuroradiology*, 30(1), 18-24.
- Ellis, R., & Tucker, M. (2000). Micro-affordance: The potentiation of components of action by seen objects. *British Journal of Psychology*, 91, 451-471.
- Eustache, F., & Desgranges, B. (2003). Concepts et modèles en neuropsychologie de la mémoire: entre théorie et pratique clinique. In T. Meulemans, B. Desgranges, S., Adam, et E., Eustache (Eds.), *Evaluation et prise en charge des troubles mnésiques* (pp. 13-49). Marseille: Solal.
- Falchier, A., Clavagnier, S., Barone, P., & Kennedy, H. (2002). Anatomical evidence of multimodal integration in primate striate cortex. *The Journal of Neuroscience*, 22(13), 5749-5759.
- Ferrier, L., Staudt, A., reilhac, G., Jiménez, M., & Brouillet, D. (2007). Influence of typical size of objects in a categorization task. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 64(4), 316-321.
- Foxe, J. J., Morocz, I. A., Murray, M. M., Higgins, B. A., Javitt, D. C., & Schroeder, C. E. (2000). Multisensory auditory-somatosensory interactions in early cortical processing revealed by high-density electrical mapping. *Cognitive Brain Research*, 10, 77-83.
- Foxe, J., & Schroeder, C. E. (2005). The case for feedforward multisensory convergence during early cortical processing. *Neuroreport*, 16(5), 419-423.
- Frak, V., Paulignan, Y., & Jeannerod, M. (2001). Orientation of the opposition axis in mentally simulated grasping. *Experimental Brain Research*, 136, 120-127.

- Fu, K. M. G., Johnston, T. A., Shah, A. S., Arnold, L., Smiley, J., Hackett, T. A., Garraghty, P. E., & Schroeder, C. E. (2003). Auditory cortical neurons respond to somatosensory stimulation. *The Journal of Neuroscience*, *23*(20), 7510-7515.
- Gallese, V. (2003). The manifold nature of interpersonal relations : The quest for a common mechanism. *Philosophical Transactions-Royal Society of London. Biological sciences*, *358*(1431), 517-528.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, *119*, 593-609.
- Gallese, V., & Goldman, A. I. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mindreading. *Cognitive Sciences*, *12*(2), 493-501.
- Gazzola, V., van der Worp, H., Mulder, T., Wicker, B., Rizzolatti, G., & Keysers, C. (2007). Aphasics born without hands mirror the goal of hand actions with their Feet. *Current Biology*, *17*, 1235-1240.
- Gentilucci, M., Benuzzi, F., Bertolani, L., Daprati, E., & Gangitano, M. (2000). Recognizing a hand by grasp. *Cognitive Brain Research*, *9*, 125-135.
- Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J. B., Gaymard, B., Marsault, C., Agid, Y., & Le Bihan, D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral Cortex*, *10*, 1093-1104.
- Ghazanfar, A. A., Maier, J. X., Hoffman, K. L., & Logothetis, N. K. (2005). Multisensory integration of dynamic faces and voices in rhesus monkey auditory cortex. *The Journal of Neuroscience*, *25*(20), 5004-5012.
- Giard, M. H., & Peronnet, F. (1999). Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans : A behavioral and electrophysiological study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(5), 473-490.
- Gil-da-Costa, R., Braun, A., Lopes, M., Hauser, M. D., Carson, R. E., Herscovitch, P., & Martin, A. (2004). Toward an evolutionary perspective on conceptual representation: Species-specific calls activate visual and affective processing systems in the macaque. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(50), 17516-17521.
- Glenberg A. M. (1997). What memory is for? *Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 1-55.

- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 558-565.
- Goldman-Ravic, P. S., Scalaidhe, S. P. O., & Chafee, M. V. (2000). Domain specificity in cognitive systems. In M. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 839-847). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Gottfried, J. A., Smith, A. P., Rugg, M. D., & Dolan, R. J. (2004). Remembrance of odors past: Human olfactory cortex in cross-modal recognition memory. *Neuron*, 42, 687 - 695.
- Grèzes, J., Tucker, M., Armory, J., Ellis, R., & Passingham, R. E. (2003). Objects automatically potentiate action: An fMRI study of implicit processing. *European Journal of Neuroscience*, 17, 2735-2740.
- Haris, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation : A neuromagnetic study. *Neurobiology*, 95, 15061-15065.
- Helbig, H. B., Graf, M., & Kiefer, M. (2006). The role of action representations in visual object recognition. *Experimental Brain Research*, 172(2), 1432-1106.
- Hintzman, D. L. (1986). "Schema abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93, 411-428.
- Hoffman, J. (1982). Representation of concepts and classification of objects. In F. Klix, J. Hoffmann, & E. Van Dermeer (Eds.), *Cognitive Research in Psychology* (pp. 72-89). Amsterdam: North Holland Publishing Company.
- Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Cognitive Sciences*, 8(11), 495-500.
- Jacoby, L. L., & Witherspoon, D. (1982). Remembering without awareness. *Canadian Journal of Psychology*, 36, 300-324.
- James, T. W., James, K. H., Humphrey, G. K., & Goodale, M. A. (2005). Do visual and tactile object representations share the same neural substrate? In M. A. Heller and S. Ballesteros (Eds.), *Touch and blindness : Psychology and neuroscience*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum.

- Jones, E. G. (1970). An anatomical study of converging sensory pathways within the cerebral cortex of the monkey. *Brain*, *93*, 793-820.
- Kan, I. P., Barsalou, L. W., Solomon, K. O., Minor, J. K., & Thompson-Schill, S. L. (2003). Role of mental imagery in a property verification task : fMRI evidence for perceptual representations of conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, *20*, 525-540.
- Kaschak, M. P., Madden, C. J., Therriault, D. J., Yaxley, R. H., Aveyard, M., Blanchard, A. A., & Zwaan, R. A. (2005). Perception of motion affects language processing. *Cognition*, *94*, 79-89.
- Kaschak, M. P., Zwaan, R. A., Aveyard, M., & Yaxley, R. (2006). Perception of auditory motion affects language processing. *Cognitive Science*, *30*(4), 733-744.
- Kolers, P. A. (1973). Remembering operations. *Memory and Cognition*, *12*, 347-355.
- Kosslyn, S. M., Ball, T. M., & Reiser, B. (1978). Visual images preserve metric spatial information : Evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology : Human perception and performance*, *4*(1), 47-60.
- 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.
- Lacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS Biology*, *3*, 529-535.
- Lawrence, A. D., Calder, A. J., McGowan, S. W., & Grasby, P. M. (2002). Selective disruption of the recognition of facial expressions of anger. *NeuroReport* *13*, 881-884
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, *95*, 492-527.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U., Birbaumer, N., & Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebella motor areas during executed and imagined hand movements : An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(5), 491-501.
- Macaluso, E., Frith, C. D., & Driver, J. (2000). Modulation of human visual cortex by crossmodal spatial attention. *Science*, *289*(5482), 1206-1208.

- Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: Structure and processes. *Neurobiology, 11*, 194-201.
- Martins, S., Guillery-Girard, B., & Eustache, F. (2006). Modèles de la mémoire humaine: concepts et modèles en neuropsychologie de l'adulte et de l'enfant. *Epilepsies, 18*, 4-14.
- Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. M., Wiggs, C. L., & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete cortical regions associated with knowledge of color and knowledge of action. *Science, 379*, 649-652.
- Martin, A., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (2000). Category specificity and the brain : The sensory/motor model of semantic representations of objects. In M. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 839-847). Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature, 379*, 649-652.
- Massaro, D. W. (1998). *Perceiving talking faces: From speech perception to a behavioral principle*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1986). A distributed model of human learning and memory. In J. L., McClelland, D. E., Rumelhart, & the PDP Research Group (Eds.), *Parallel Distributed Processing* (pp. 170-215). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Meddin, D. L., & Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review, 85*, 207-238.
- Molholm, S., Ritter, W., Murray, M. M., Javitt, D. C., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2002). Multisensory auditory-visual interactions during early sensory processing in humans: A high-density electrical mapping study. *Cognitive Brain Research, 14*, 115-128.
- Mondillon, L., Niedenthal, P.M., Vermeulen, N., & Winkielman, P. (Submitted). Embodiment of emotional concepts: Evidence from EMG Measures.
- Murray, M. M., Molholm, S., Michel, C. M., Heslenfeld, D. J., Ritter, W., Javitt, D. C., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2005). Grabbing your ear: Rapid auditory-somatosensory. multisensory interactions in low-level sensory cortices are not constrained by stimulus alignment. *Cerebral Cortex, 15*, 963-974.

- 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.
- Nicolas, S. (2003). *Mémoire et conscience*. Paris: A. Collin (Coll. Coursus).
- Niedenthal, P.M. (2007). Embodying emotion. *Science*, *316*, 1002-1005.
- Niedenthal, P. M., Barsalou, L. W., Winkielman, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2005). Embodiment in attitudes, social perception, and emotion. *Personality and Social Psychology Review*, *9*(3), 184-211.
- Niedenthal, P. M., Brauer, M., Halberstadt, J. B., & Innes-Ker, A. H. (2001). When did her smile drop? Facial mimicry and the influences of emotional state on the detection of change in emotional expression. *Cognition & Emotion*, *15*, 853–864.
- Oker, A., & Versace, R. (in press). Spatial Distinctiveness effect in Catégorization. *The European Journal of Cognitive Psychology*.
- Oliver, G. (2006). Visuomotor priming of a manual reaching movement during a perceptual decision task. *Brain Research*, *1124*, 81-85.
- Packard, M. G., & Cahill, L. (2001). Affective modulation of multiple memory systems. *Current Opinion in Neurobiology*, *11*, 752-756.
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Kaspirinski, R., & Berthoz, A. (2003). Comparison of actual and imagined execution of whole-body movements after a long exposure to microgravity. *Neuroscience Letters*, *339*(1), 41-44.
- Pecher, D., Zanolie, K., & Zeelenberg, R. (2007). Verifying visual properties in sentence verification facilitates picture recognition memory. *Experimental Psychology*, *54*(3), 173-179.
- Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2003). Verifying different-modality properties for concepts produces switching costs. *Psychological Science*, *14*(2), 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*(1), 164-167.
- Proverbio, A. M., Del Zotto, M., & Zani, A. (2007). The emergence of semantic categorization in early visual processing : ERP indices of animal vs. Artefact recognition. *BMC Neuroscience*, *8*(24), 1-16.

- Rauscher, F. H., Krauss, R. M., & Chen, Y. (1996). Gesture, speech, and lexical access: The role of lexical movements in speech production. *Psychological Science, 7*, 226–231.
- Rockland, K. S., & Ojima, H. (2001). Calcarine area V1 as a multimodal convergence area. *Society for Neuroscience Abstract, 27*, 511-20.
- Rockland, K. S., & Ojima, H. (2003). Multisensory convergence in calcarine visual areas in macaque monkey. *Journal Psychophysiology, 50*, 19-26.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch, & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rousset, S. (2000). Les conceptions “système unique” de la mémoire: aspects théoriques. *Revue de Neuropsychologie, 10(1)*, 27-51.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2002). Is an ant larger than a lion ?. *Acta Psychologica, 111*, 141-154.
- Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2002). The timing and laminar profile of converging inputs to multisensory areas of the macaque neocortex. *Cognitive Brain Research, 14*, 187-198.
- Schroeder, C. E., Lindsley, R. W., Specht, C., Marcovici, A., Smiley, J. F., & Javitt, D. C. (2001). Somatosensory input to auditory association cortex in the macaque monkey. *Journal Neurophysiology, 85*, 1322-1327.
- Schroeder, C. E., Smiley, J., Fu, K. M. G., McGinnis, T., O’Connell, M. N., & Hackett, T. A. (2003). Anatomical mechanisms and functional implications of multisensory convergence in early cortical processing. *Journal Psychophysiology, 50*, 5-18.
- Schröger, E., & Widmann, A. (1998). Speeded responses to audiovisual signal changes result from bimodal integration. *Psychophysiology, 35*, 755-759.
- Scoville, W. B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, 20*, 11-21.
- Setic, M., & Domijan, D. (2007). The influence of vertical spatial orientation on property verification. *Language and Cognitive Processes, 2(2)*, 297-312.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores. A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 22*, 261-273.

- Sheppard, R. N. & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3, 228-243.
- Simmons, W. K., & Barsalou, L. W. (2003). The similarity-in-topography principle : Reconciling theories of conceptual deficits. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 451-486.
- Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Picture of appetizing foods activate gustatory cortices for taste and reward. *Cerebral Cortex*, 15, 1602-1608.
- Smith, E. E., Shoben, E., & Rips, L. U. (1974). Structure and process in semantic memory: A feature model for semantic decision. *Psychological Review*, 81, 214-241.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2001). Representing Properties Locally. *Cognitive Psychology*, 4(2), 129-169.
- Solomon, K. O., & Barsalou, L. W. (2004). Perceptual simulation in property verification. *Memory & Cognition*, 32, 244-259.
- Spivey, M. J., Tyler, M. J., Richardson, D. C., & Young, E. E. (2000). Eye movements during comprehension of spoken scene descriptions. *Proceedings of the twenty-second Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 487-492). Erlbaum : Mahwah, NJ.
- Stenfield, R., & Zwaan, R. A. (2001). The effect of implied orientation derived from verbal context on picture recognition. *Psychological Science*, 12(2), 153-156.
- Stoet, G., & Hommel, B. (1999). Action planning and the temporal binding of response Codes. *Journal of Experimental Psychology*, 25(6), 1625-1640.
- Stoet, G., & Hommel, B. (2002). Interaction between feature binding in perception and action. In W. Prinz & B. Hommel (Eds.), *Common mechanisms in perception and action: Attention and Performance*, XIX (pp. 538-552). Oxford: Oxford University Press.
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (1999). Affectively burnt in: A proposed role of the right frontal lobe. In E. Tulving (Ed.), *Memory, consciousness, and the brain : The Tallinn Conference* (pp. 215-227). Philadelphia: Psychology Press.
- Tiberghien, G. (1997). *La mémoire oubliée*. Liège: Mardaga.

- Treisman, A. M. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tseng, M. J., & Bergen, B. K. (2005). Lexical processing drives motor simulation. In *proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*.
- Tucker, M., & Ellis, R. (1998). On the relations between seen objects and components of potential actions. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 24, 830-846.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory, in E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-403). New York: Academic Press.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo vadis? In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 839-847). Cambridge, MA: MIT Press.
- Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review*, 80, 352-373.
- Tyler, L. K., Stamatakis, E. A., Dick, E., Bright, P., Fletcher, P., & Moss, H. (2003). Objects and their actions: Evidence for a neurally distributed semantic system. *NeuroImage*, 18, 542-557.
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Van Dantzig, S., Pecher, D., Zeelenberg, R., & Barsalou, L. W. (2008). Perceptual processing affects conceptual processing. *Cognitive Science*, 32, 579-590.
- Van den Bergh, O., Vrana, S., & Eelen, P. (1990). Letters from the heart : affective categorization of letter combinations in typists and nontypists. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 1153-1161.
- Vermeulen, N., Niedenthal, P.M., & Luminet, O. (2007). Switching between sensory and affective systems incurs processing costs, *Cognitive Science*, 31, 183-192.
- Versace, R., Labeye, E., Badard, G., & Rose, M. (2008). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European journal of cognitive psychology*, 1-39.

- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états*. Marseille : Solal.
- Versace, R., & Rose, M. (2007). The role of emotion in multimodal integration. *Current Psychology Letters, Behavior, Brain, and Cognition*, 21, 13-22.
- Wang, Y., & Morgan, W. P. (1992). The effect of imagery perspectives on the psychophysiological responses to imagined exercise. *Behavioral Brain Research*, 52, 167-174.
- Wheeler, M. E., Petersen, S. E., & Buckner, R. L. (2000). Memory's echo: Vivid remembering reactivates sensory-specific cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11125-11129.
- Whittlesea, B. W. A. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 3-17.
- Whittlesea, B. W. A. (1989). Selective attention, variable processing, and distributed representation: Preserving particular experiences of general structures. In R. G. M. Morris (Ed.), *Parallel distributed processing: Implications for psychology and neurobiology*. Oxford, England: University Press.
- Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J-P., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2003). Both of us disgusted in my insula: The common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40, 655-664.
- Zwaan, R. A., Madden, C. J., Yaxley, R. H., & Aveyard, M. E. (2004). Moving words: Dynamic representations in language comprehension. *Cognitive Science*, 28, 611-619.
- Zwaan, R. A., Stanfield, R. A., & Yaxley, R. (2002). Language comprehenders mentally represent the shapes of objects. *Psychological Science*, 13(2), 168-171.
- Zwaan, R. A., & Yaxley, R. H. (2003). Spatial iconicity affects semantic relatedness judgments. *Psychonomic Bulletin & Review*. 10(4), 954-958.
- Zwaan, R. A., & Yaxley, R. H. (2004). Lateralization of object-shape information in semantic processing. *Cognition* 94, 35- 43.

ANNEXES

Annexe 1. Exemples d'images utilisées dans le paradigme d'amorçage à court terme multimodale des expériences 1 et 2 du chapitre 4. Les composants potentiellement communs entre l'amorce et la cible concernent des éléments moteurs et catégoriels.

Gestes similaires & Mêmes catégories	Gestes similaires & Catégories différentes	Gestes différents & Mêmes catégories	Gestes différents & Catégories différentes	Cible
				
				
				
				
				

Annexes 2. Exemples d'images utilisées dans le paradigme d'amorçage à court terme multimodal des expériences 3 et 4. Les composants potentiellement communs entre l'amorce et la cible concernent des éléments auditifs et visuels.

Tailles similaires & Sonorités similaires	Tailles similaires & Sonorités différentes	Tailles différentes & Sonorités similaires	Tailles différentes & Sonorités différentes	Cible
				
				
				
				
				