

Résumé

De nombreuses études se sont intéressées à l'influence du sommeil sur la mémoire. Une période de sommeil comparée à une période d'éveil permet de réduire l'oubli, d'améliorer les performances mais également de réorganiser les traces mnésiques, favorisant ainsi la créativité et l'extraction de règles. Ces études se basent sur les modèles classiques de la mémoire et expliquent ces observations par une interaction entre les processus implicites et explicites au cours du sommeil. Cependant, les modèles classiques de la mémoire semblent limités pour décrire la totalité des processus de réorganisation des traces mnésiques observés après une période de sommeil. Dans ce travail de thèse, nous avons tenté de comprendre l'influence du sommeil sur la réorganisation des traces à travers le modèle Act-In, un modèle de mémoire à traces multiples se plaçant dans la lignée de la cognition incarnée.

Nous avons développé notre recherche autour de quatre axes expérimentaux. Dans un premier temps nous souhaitions vérifier si une période de sommeil permet de transformer passivement une trace implicite en trace explicite. Nous souhaitions par la suite étudier l'effet du sommeil sur les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces. Selon nous, le sommeil permettrait de renforcer l'intégration des composants au sein d'une trace et il permettrait également de favoriser la mise en relation de plusieurs traces, conduisant à l'émergence d'éléments communs. Enfin, dans le dernier axe de ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés aux conséquences des modifications nocturnes liées à l'âge sur la consolidation mnésique au cours du sommeil.

Mots clés : Sommeil, Consolidation, Trace mnésique, Act-In, Implicite, Explicite.

Abstract

Numerous studies have been interested in the effect of sleep on memory. For instance, a period of sleep as compared to a similar period of wakefulness protects memories from interferences, improves performances, but also reorganizes memory traces favoring creativity and rules extraction. These studies are based on classical memory models and explain these observations by an interaction between implicit and explicit processes. However, these models seem to be limited to describe all the processes involved in memory reorganization. In this thesis, we tried to understand the influence of sleep on memory reorganization within Act-In memory model, a multiple traces memory model in the line of grounded cognition. We developed our research within four experimental axes. First of all, we wanted to verify if sleep could transform an implicit trace into an explicit one. We also wanted to study the effect of sleep on multi-components integration and inter-traces activation. We assumed that sleep could transform memory traces enhancing the integration of the trace components and could favor the link between different traces leading to the emergence of common elements. Finally, we were interested in the consequences of nocturnal modifications during aging on memory consolidation.

Keywords: Sleep, Consolidation, Memory trace, Act-In, Implicit, Explicit.

Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord remercier mes directeurs de thèse ; Rémy Versace pour sa disponibilité et la grande liberté qu'il laisse à ses doctorants. Merci de nous laisser faire nos choix, nos investigations et parfois nos erreurs. Merci à Stéphanie Mazza, pour sa pédagogie et sa patience au début de la thèse qui m'ont aidé à appréhender cette nouvelle thématique qu'était le sommeil. Ses conseils avisés, son soutien et sa bienveillance au cours de la thèse m'ont permis de réaliser celle-ci dans de très bonnes conditions. Merci à tous les deux d'avoir accepté d'entreprendre la tâche ô combien difficile du co-encadrement et d'avoir été si disponibles pendant la rédaction de ce manuscrit.

Je tiens également à remercier les membres du jury, Géraldine Rauchs et le professeur Denis Brouillet d'avoir accepté d'être les rapporteurs ainsi que le Dr Hélène Bastuji et Stéphane Rousset d'avoir accepté d'être les examinateurs de travail.

Je remercie le laboratoire EMC et plus particulièrement le Directeur du laboratoire Olivier Koenig, d'offrir un cadre de travail favorable au développement de la recherche scientifique tout en maintenant une ambiance agréable. Je voudrais adresser des remerciements particuliers aux titulaires du laboratoire Emanuelle, François, Jordan, Pascale, Gaën et George qui à un moment où à un autre m'ont apporté leur aide pour des questions théoriques, statistiques et pratiques.

Je tiens également à remercier mes collègues doctorants/ATER/Post-Doc pour la bonne ambiance et les échanges scientifiques ou non du midi. Chacun de vous, avec ses qualités et ses défauts a contribué à ce que le laboratoire soit un lieu de vie et pas uniquement un lieu de travail. Je voudrais aussi remercier ceux qui ont été ou qui sont aujourd'hui mes « colocataires » de bureau : Benoit et Guillaume, mes « grands frères », qui m'ont apporté leur aide dans de nombreux domaines et qui, comme des grands frères m'ont taquinée énormément. Amandine mon acolyte de rédaction, notre « plan de rédaction » a porté ses fruits ! Rédiger à tes côtés a rendu la tâche moins difficile et tu as été un véritable soutien dans les moments périlleux, merci pour tout. Merci à Stéphanie, Jean-Baptiste et Marion d'avoir contribué à la bonne ambiance de notre bureau. Enfin, un merci particulier à Anna, Nina, Adrien, Mathieu et Emilie pour les rires, les confidences, les chansons, les danses et leur belle amitié.

Je voudrais adresser mes remerciements les plus sincères à Marie Izaute et Lionel Brunel d'avoir accepté de participer à mon Comité de Suivi de thèse. Ils m'ont apporté de précieux conseils et encouragements lors de nos réunions.

Merci à l'entreprise Weinmann pour le prêt du PSG ambulatoire qui m'a permis de réaliser les enregistrements de sommeil.

Je tiens à remercier les 340 participants qui ont accepté de prendre part à mes expériences, de se réveiller tôt, de venir tard au laboratoire, de se faire poser des électrodes ou de dormir avec un actimètre et tout cela sans rémunération. Cette thèse n'aurait pas été possible sans eux.

Sur le plan personnel, je voudrais remercier mes amis, Mélissa, Tatiana, Jonathan, Garry, Thomas, Steeve, Cécile et Elodie pour le soutien pendant la thèse. Merci d'avoir accepté de jouer les cobayes quand il fallait que je teste de nouveaux protocoles ou que je m'entraîne à poser les électrodes. Merci d'avoir été si compréhensifs pendant la rédaction, et merci de toujours me faire rire quand j'en ai besoin. Vous êtes des amis formidables.

Enfin j'adresse un énorme merci à ma famille. A mon parrain qui était persuadé que je ferais une thèse avant même que je ne l'envisage. Il a su m'inspirer et me donner le courage de prendre des risques. Merci à ma mère, mon beau-père, mon père, mes grand-mères et mon frère d'avoir accepté tous ces sacrifices, de toujours me soutenir dans mes choix et d'être toujours là pour moi. Je n'aurai jamais assez de mots pour vous dire à quel point vous comptez. Je pense également à mon oncle Georges qui m'a enseigné ce qu'était la véritable force de caractère, j'espère le rendre fier là où il se trouve. Merci enfin à Yoris, mon frère de cœur, pour sa présence et son écoute pendant la rédaction de ce manuscrit et dans la vie en général. J'espère un jour pouvoir lui rendre tout ce qu'il m'apporte.

Grenn diri apré grenn diri mwen finn pa plen sak la...

Table des matières

Remerciements.....	1
INTRODUCTION GENERALE.....	5
PARTIE THEORIQUE	9
Chapitre 1. Les liens entre sommeil et mémoire.....	10
1.1. Sommeil et encodage	11
1.2. Sommeil et consolidation mnésique.....	13
1.3. Dissociations des stades de sommeil.....	16
1.4. Bases neurophysiologiques des liens entre sommeil et mémoire	20
1.5. Les modèles classiques de la mémoire.....	27
Chapitre 2. Sommeil et réorganisation des traces mnésiques	32
2.1. Sélectivité des informations consolidées.....	33
2.2. Sommeil et créativité.....	37
2.3. Sommeil et incorporation lexicale.....	39
2.4. Sommeil et extraction de règles	41
Chapitre 3. Un cadre théorique original : le modèle Act-In.....	48
3.1. Les modèles à traces multiples.....	49
3.2. Quelques principes de la cognition incarnée (ou située).....	51
3.3. Le modèle Act-In	54
3.4. Sommeil, mémoire et modèle Act-In	57
PARTIE EXPERIMENTALE.....	62
Chapitre 4. Sommeil et explicitation d'un apprentissage implicite.	63
4.1 Expérience 1	66
Méthode	66
Résultats	70
Discussion	74
Chapitre 5. Sommeil et intégration multi-composants.	78
5.1 Expérience 1	81
Méthode	81
Résultats	84
Discussion	88
5.2 Expérience 2	91
Méthode	90
Résultats	92
Discussion	95
5.3 Expérience 3	99
Méthode	98
Résultats	101
Discussion	102
Conclusion Chapitre 5.....	104

Chapitre 6. Sommeil et émergence de nouvelles connaissances	105
6.1. Expérience 1	107
6.1.1 Expérience 1a sans délai	107
Méthode	107
Résultats	110
6.1.2 Expérience 1b avec délai.....	111
Méthode	111
Résultats	112
Discussion Expérience 1	114
6.2. Expérience 2	116
Méthode	116
Résultats	117
Discussion	118
6.3. Expérience 3	121
Méthode	121
Résultats	125
Discussion	127
6.4. Expérience 4.....	130
6.4.1. Expérience 4a	130
Méthode	130
Résultats	133
6.4.2. Expérience 4b.....	134
Méthode	134
Résultats	136
6.4.3. Expérience 4c	138
Méthode	138
Résultats	141
Discussion Expérience 4	144
6.5. Expérience 5	146
Méthode	146
Résultats	148
Discussion	149
Conclusion Chapitre 6.....	150
 Chapitre 7. Modifications du sommeil et conséquences sur la mémoire.....	152
Méthode	154
Résultats	156
Discussion.....	161
 DISCUSSION GENERALE	165
Synthèse des résultats.....	167
Transformation passive de la trace implicite au cours du sommeil	169
Sommeil, intégration multi-composants et activation inter-traces.....	170
Sommeil, vieillissement et Act-In	175
De la pertinence.....	176
...Au contexte	178
Perspectives.....	179
Quelques mots de conclusion.....	179
 Références	181
 ANNEXES	202

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Dans la mythologie grecque, Hypnos, le Dieu du sommeil, apporte le repos et de doux rêves aux hommes. Mais Hypnos est également le frère jumeau de Thanatos le Dieu de la Mort. La mythologie grecque dépeint donc le sommeil comme un état proche, sinon identique à la mort. Pendant de nombreuses années, conformément à cette croyance, notre société a associé le sommeil à une « petite mort ». Il est vrai que pendant la nuit, nous sommes à la fois immobiles et peu réceptifs aux stimuli extérieurs. De nos jours, cette inactivité a même tendance à être considérée comme une perte de temps et une faiblesse à éliminer. Notons d'ailleurs que la consommation d'excitants est en plein essor. En 2011, la consommation annuelle par habitant en France a été estimée à 5kg pour le café (comité français du café) et à 230g pour le thé (ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt). Or, si le comportement de sommeil a persisté au fil de l'évolution et s'il est présent aujourd'hui chez la majorité des espèces (Cirelli & Tononi, 2008), c'est qu'il tient une fonction capitale pour la survie. A la fin de notre vie, nous aurons passé un tiers de celle-ci à dormir, alors pourquoi dormons-nous ?

Tout d'abord, le sommeil a de nombreuses fonctions biologiques telles que la conservation de l'énergie, l'adaptation, la restauration du corps et l'homéostasie synaptique (Rosenzweig, Breedlove, & Watson, 2005). Le manque de sommeil peut avoir de nombreuses conséquences dont les effets se manifestent dès 24 heures de privation à la fois sur le plan physique (fatigue, troubles de la vision, troubles somesthésiques, troubles auditifs, troubles de la perception temporelle) et sur le plan psychologique (irritabilité, difficultés de concentration, désorientation, désorganisation de la pensée). L'enregistrement par électroencéphalographie (EEG) de l'activité cérébrale au cours du sommeil a montré que celle-ci n'est pas unique mais qu'elle varie selon plusieurs critères ayant permis de mettre en évidence différents stades de sommeil. Revenons tout d'abord sur l'organisation de ces stades. L'endormissement (stade N1) est le stade d'entrée dans le sommeil. La vigilance et la fréquence cardiaque diminuent et les muscles se relâchent. Ce stade, très court (3 à 5% du sommeil total) permet de marquer la frontière entre l'éveil et le sommeil. Les ondes

cérébrales caractérisant l'éveil passif et qui constituent le rythme alpha sont peu à peu remplacées par un rythme thêta marquant l'entrée dans l'état de sommeil.

Le sommeil lent léger (stade N2) succède à l'endormissement. C'est un stade de transition menant aux autres stades de sommeil ou à l'éveil, il constitue environ 50% de notre sommeil total. Le stade N2 se caractérise par un ralentissement de l'activité cérébrale ponctuée par l'apparition de fuseaux de sommeil (ondes de haute fréquence) ou de complexes K (ondes rapides de grande amplitude).

Le sommeil lent profond (stade N3) est le stade de sommeil pendant lequel il est le plus difficile de réveiller le dormeur. Il se caractérise par des ondes cérébrales très lentes et de grande amplitude (ondes delta). Ce stade de sommeil est très fréquent pendant la première moitié de la nuit et se fait de plus en plus rare à mesure que celle-ci se déroule.

Enfin, le sommeil paradoxal (SP) est le stade pendant lequel les rêves sont les plus fréquents. Ce stade de sommeil se caractérise, comme son nom l'indique, par un paradoxe avec d'un côté une atonie musculaire (immobilité totale du corps) et de l'autre, une activité cérébrale très rapide, proche de celle de l'éveil, caractérisée par des ondes « en dents de scie ». Cette phase de sommeil est appelé en anglais « REM sleep » (Rapid Eye Movements) car on y observe des mouvements oculaires très rapides. Le sommeil paradoxal est peu fréquent sur la première moitié de la nuit et devient de plus en plus fréquent à mesure que celle-ci avance.

Ces différents stades de sommeil se succèdent et constituent un cycle d'une durée approximative de 90 minutes, qui se répète 4 à 6 fois au cours de la nuit.

Les travaux de Michel Jouvet sur le chat en 1959 ont permis la découverte du sommeil paradoxal (SP) et ont apporté un nouvel éclairage sur la description du sommeil et le rôle de celui-ci. Si pendant le SP nous observons une activité cérébrale proche de celle de l'éveil, ne pourrait-on pas supposer une fonction cognitive du sommeil ? Le sommeil ne permettrait-il pas à l'homme de consolider les acquis de toute une vie ? Cela ne pourrait-il pas expliquer que les nouveau-nés et les bébés passent autant de temps à dormir ?

De nombreuses études se sont donc naturellement intéressées aux effets du sommeil sur les apprentissages et ont montré un effet bénéfique de celui-ci sur la mémoire. Selon le vieil adage « La nuit porte conseil ! », nous nous sommes particulièrement intéressés à l'émergence de nouvelles connaissances après une nuit de sommeil. Nous avons donc cherché à comprendre et à expliquer l'effet du sommeil sur la mémoire en nous basant sur un modèle

de mémoire original par rapport aux modèles classiques habituellement décrits dans la littérature.

Dans ce manuscrit, nous reviendrons dans un premier temps, dans le **chapitre 1**, sur les liens entre sommeil et mémoire. Les recherches dans ce domaine sont nombreuses et concernent différents aspects de la mémoire et du sommeil. Nous nous attacherons donc à reprendre les principaux résultats illustrant l'effet du sommeil sur la consolidation mnésique et nous décrirons les modèles de mémoire sur lesquels se basent ces résultats. Dans le **chapitre 2**, nous nous intéresserons particulièrement à la réorganisation de la mémoire pouvant être observée suite à une période de sommeil. Enfin, les modèles classiques habituellement décrits dans la littérature, ne nous semblant pas apporter de réponses satisfaisantes quant à la réorganisation des traces mnésiques au cours du sommeil, nous tenterons dans le **chapitre 3**, d'établir un cadre théorique original à travers le modèle Act-In. Ce modèle de mémoire, hérité des modèles à traces multiples et se plaçant dans une approche incarnée de la cognition nous permet d'apporter un angle théorique original quant aux problématiques de la consolidation mnésique. L'objectif de cette thèse était double : proposer un nouvel angle théorique aux recherches sur la consolidation mnésique au cours du sommeil et intégrer le sommeil dans le modèle Act-In. Pour cela, nous avons développé 4 axes de recherches présentés dans la partie expérimentale de la thèse. Nous avons tout d'abord cherché à comprendre si le sommeil permet aux informations implicites de devenir explicites de façon passive (**chapitre 4**). Nous avons par la suite cherché à préciser par quels processus mnésiques décrits dans le modèle Act-In, le sommeil permettrait d'explicitement une connaissance implicite. Nous nous sommes donc appuyés sur des paradigmes développés au sein de notre équipe afin d'étudier l'effet du sommeil sur le processus d'intégration multi-composants (**chapitre 5**) et sur le processus d'activation inter-traces (**chapitre 6**) décrits dans le modèle Act-In. Enfin, nous nous sommes intéressés aux conséquences que pourraient avoir une modification du sommeil liée à l'âge sur la consolidation mnésique nocturne (**chapitre 7**).

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1

Les liens entre sommeil et mémoire

Ce sont les premiers travaux d'Ebbinghaus (1885) sur la mémoire et l'oubli qui ont amené les chercheurs à s'interroger sur d'éventuels liens entre sommeil et mémoire. En effet, dans ses travaux, il a fait varier le délai entre l'encodage et la récupération de syllabes sans signification, d'un rappel immédiat à un rappel un mois après. Il a évidemment constaté une diminution du taux de rétention au fur et à mesure de l'augmentation du délai. Cependant, cette diminution était très importante pour les délais courts alors qu'elle était moins marquée à partir d'un délai de 24h. On s'attendrait intuitivement à observer un oubli massif du matériel encodé après de tels délais mais au bout de 30 jours, le taux de rétention était encore de 21%. Suite à ces observations, il devenait important de s'interroger sur un éventuel effet positif de l'introduction d'un délai entre l'apprentissage et la récupération. La communauté scientifique, en s'intéressant plus particulièrement à la composition de ce délai et au fait qu'une nuit (ou plus) de sommeil intervenait entre l'apprentissage et la récupération, s'est interrogée sur l'existence d'un possible lien entre sommeil et mémoire. Les travaux réalisés ont cherché à comprendre dans quelle mesure le sommeil pourrait être lié aux apprentissages et à la mémoire.

Les capacités mnésiques de l'être humain se fondent sur trois mécanismes fondamentaux : l'encodage, le stockage et la récupération. L'encodage représente la capacité de l'individu à apprendre de nouvelles informations. Le stockage représente la capacité à stocker ces informations apprises dans le système mnésique. Enfin, la récupération, décrit le mécanisme mis en jeu lors de la rétention des informations et donc la capacité de l'individu à avoir accès à l'information stockée. Ces trois mécanismes sont en jeu dans toute activité mnésique et naturellement, s'intéresser à un lien entre sommeil et mémoire conduit à s'intéresser aux liens entre le sommeil et ces mécanismes. Nous décrivons dans un premier temps, l'effet du sommeil sur l'encodage et la capacité à mieux assimiler de nouvelles connaissances. Nous verrons également quels sont les effets du sommeil post-apprentissage sur ces informations encodées. Par la suite, nous aborderons les différents effets des stades de

sommeil sur les différents types de mémoire ainsi que les hypothèses proposées quant aux implications de ces stades de sommeil. Nous exposerons plus précisément les aspects neurophysiologiques et le rôle des oscillations dans la consolidation mnésique. Enfin, nous présenterons les modèles classiques de la mémoire sur lesquels se sont basés les études décrites dans la littérature.

1.1. Sommeil et encodage

De nombreux travaux ont permis de mettre en évidence le rôle crucial du sommeil dans l'encodage de nouveaux souvenirs. Chez le rat par exemple, la privation de sommeil avant un apprentissage entraîne un déficit d'encodage (Guan, Peng, & Fang, 2004; pour une revue voir Walker & Stickgold, 2006). Les premiers travaux menés chez l'homme ont montré que les capacités à effectuer un apprentissage après une privation de sommeil sont détériorées (Morris, Williams, & Lubin, 1960). Plus récemment, des études ont révélé que le sommeil a un rôle important avant l'apprentissage afin de préparer l'hippocampe à l'encodage de nouvelles informations (pour une revue voir Saletin & Walker, 2012; Walker, 2008). Ainsi, une privation de sommeil avant un apprentissage entraîne une diminution des capacités à réaliser celui-ci. Harrison et Horne (2000) se sont intéressés à l'effet de la privation de sommeil sur les capacités d'encodage et de récupération de la mémoire temporelle (dire quand un événement a eu lieu). Pour cela, les participants étudiaient deux listes de photographies (listes A et B) successivement. Ils réalisaient ensuite une tâche de reconnaissance où ils devaient indiquer si oui ou non ils avaient vu la photographie (reconnaissance) et si oui dans quelle liste celle-ci avait été présentée (mémoire temporelle). Les résultats ont montré que bien que les participants privés de sommeil avaient des performances équivalentes aux participants ayant dormi pour la tâche de reconnaissance, ils avaient une réduction des performances pour la mémoire temporelle. De plus, les participants privés de sommeil avaient plus de difficultés à estimer leur capacité d'encodage (Harrison & Horne, 2000). D'autres études ont confirmé ces effets néfastes de la privation de sommeil sur l'apprentissage de listes de mots (Drummond et al., 2000), sur l'encodage d'associations entre des visages et des noms (Mander, Santhanam, Saletin, & Walker, 2011) et sur l'encodage de mots émotionnels (Walker & Stickgold, 2006). Cette diminution des capacités d'encodage

après une privation de sommeil, s'accompagne d'une réduction de l'activation au niveau de l'hippocampe. En effet, Yoo et al. (2007) ont montré qu'après une privation de sommeil, il y avait une réduction de l'activité hippocampique au moment de l'encodage d'une série d'images. Cette réduction serait responsable par la suite d'une diminution des performances lors de la tâche de reconnaissance (Yoo, Hu, Gujar, Jolesz, & Walker, 2007). La diminution de l'activité hippocampique causerait non seulement une diminution des capacités d'encodage mais nécessiterait également un recrutement du cortex préfrontal et des lobes pariétaux chez les participants privés de sommeil (Drummond & Brown, 2001; Drummond et al., 2000). De façon intéressante, les taux de rappel les plus importants chez les participants privés de sommeil étaient liés à une activation du lobe pariétal plus importante. Ces régions auraient un rôle de compensation de l'activité hippocampique quand celle-ci est diminuée à l'encodage suite à une privation de sommeil. La diminution des capacités d'encodage suite à une privation de sommeil serait surtout liée à l'absence de sommeil lent profond. Van Der Werf et al. (2009) ont mis en place un paradigme où un signal sonore était diffusé dès l'apparition des ondes lentes spécifiques au sommeil lent profond. Cette perturbation avait pour conséquence de maintenir le sommeil mais de diminuer spécifiquement la survenue du sommeil lent profond. On constatait alors que lors de l'encodage subséquent d'images, l'activité hippocampique était diminuée et les performances à la tâche de reconnaissance le jour suivant étaient elles-aussi diminuées (Van Der Werf et al., 2009). Inversement, d'autres travaux ont mis en évidence cette implication du sommeil lent dans l'encodage en augmentant la quantité de sommeil lent. Ainsi l'augmentation des ondes lentes par stimulation trans-crânienne lors d'une sieste entraînait une augmentation des capacités d'encodage au réveil pour un matériel verbal, que celui-ci soit des images, des paires de mots ou des listes de mots (Antonenko, Diekelmann, Olsen, Born, & Mölle, 2013).

Le sommeil a donc un rôle capital dans l'encodage de nouvelles informations en garantissant une activité suffisante de l'hippocampe à l'apprentissage et cette optimisation de l'hippocampe serait surtout liée au sommeil lent. Il existe également des mécanismes de compensation par le cortex préfrontal et les lobes pariétaux en cas d'activité hippocampique déficitaire. Le sommeil nous permet donc d'être plus efficace pendant l'encodage de nouvelles informations mais il joue également un rôle important après l'encodage et permet de consolider les souvenirs nouvellement acquis.

1.2. Sommeil et consolidation mnésique

La majorité des travaux menés sur les liens entre sommeil et mémoire ont cherché à comprendre dans quelle mesure une période de sommeil après l'apprentissage pourrait influencer les performances à la récupération. Les premiers travaux de Jenkins & Dallenbach (1924) se sont intéressés à l'influence sur la mémoire d'une période de sommeil comparée à une période d'éveil. Ils ont montré que la rétention de syllabes sans signification était plus importante après une période de sommeil par rapport à une période d'éveil. Ils ont alors proposé l'idée qu'une période de sommeil entre l'apprentissage et la restitution aurait un effet protecteur sur les informations encodées, en réduisant l'oubli de ces informations. Des études plus récentes ont confirmé cet effet protecteur du sommeil, par rapport à une période d'éveil, en suggérant que celui-ci protégerait les informations d'éventuelles interférences (Abel & Bäuml, 2013; Ellenbogen, Hulbert, Stickgold, Dinges, & Thompson-Schill, 2006). Ces études ont ainsi montré que les participants ayant une période de sommeil suite à l'apprentissage d'une liste de paires de mots étaient moins sensibles à l'interférence causée par l'apprentissage d'une nouvelle liste de mots juste avant la restitution. Le sommeil permettait de protéger les informations encodées qui deviendraient plus résistantes à l'interférence rétroactive (interférence causée par un apprentissage subséquent) (Ellenbogen et al., 2006). Une étude plus récente a montré que la restitution d'une liste apprise après la présentation d'une liste interférente était meilleure après une période de sommeil par rapport à une période d'éveil indiquant que le sommeil aurait également un effet bénéfique sur l'interférence proactive (interférence causée par un apprentissage précédent) (Abel & Bäuml, 2013).

De nombreuses études ont confirmé cet effet bénéfique du sommeil sur la mémoire et ce, quel que soit le type de matériel (voir les revues de Diekelmann & Born, 2010; Diekelmann, Wilhelm, & Born, 2009; Rasch & Born, 2013; Smith, 2001). Ces études ont décrit un effet bénéfique du sommeil sur la mémoire dite « déclarative » (mémoire dont le contenu est accessible de façon consciente) et sur la mémoire dite « non déclarative » (mémoire constituée des habiletés qui ne sont pas nécessairement accessibles de façon consciente). Concernant la mémoire déclarative, les études se sont souvent intéressées à des tâches de rappel de matériel verbal. Dans une expérience réalisée par Gais et al. (2006), les participants réalisaient un apprentissage de paires de mots et une première tâche de rappel pour évaluer les performances à l'encodage. Après l'apprentissage, ils pouvaient avoir soit une période d'éveil soit une période de sommeil et effectuaient une deuxième tâche dite

« test » de rappel après le délai. La différence entre les performances à l'apprentissage et au test permettait de calculer un taux d'oubli. Les participants ayant eu une période de sommeil entre l'apprentissage et le test avaient un taux d'oubli moins important que les participants ayant eu une période d'éveil. Cet effet bénéfique du sommeil était d'autant plus important que la période de sommeil intervenait tout de suite après l'apprentissage, par rapport à un délai de 12 heures. Le sommeil permettait donc de réduire l'oubli pour les informations nouvellement acquises à condition qu'il intervienne dans un intervalle court après l'apprentissage (Gais, Lucas, & Born, 2006). Cet effet protecteur du sommeil sur la survenue de l'oubli a par ailleurs été confirmé dans une expérience de Fenn et Hambrick (2013) utilisant un matériel similaire. Dans cette expérience, les performances au test ont été analysées de façon qualitative, selon le type de réponse. Les participants pouvaient rappeler un mot qui n'avait pas été rappelé avant le délai et cela était considéré comme un gain d'item ou les participants pouvaient oublier un mot qui pourtant avait été rappelé avant le délai et cela était considéré comme une perte d'item. Lorsque les participants avaient un intervalle de 12 heures principalement constitué d'une nuit de sommeil entre l'apprentissage et le test, ils avaient globalement moins de perte et plus de gain par rapport à un délai constitué d'une période d'éveil. Cependant la différence entre éveil et sommeil était plus importante pour la perte. Ces résultats illustrent que le sommeil serait particulièrement impliqué dans la réduction de l'oubli pour ce qui est de la mémoire déclarative (Fenn & Hambrick, 2013). Cet effet bénéfique du sommeil sur la mémoire déclarative est également observé sur des courtes périodes de sommeil. Ainsi le bénéfice du sommeil pour la mémoire a été observé suite à des siestes d'une heure (Tucker et al., 2006) ou de six minutes (Lahl, Wispel, Willigens, & Pietrowsky, 2008).

Par ailleurs des études ont montré des effets bénéfiques du sommeil sur la mémoire non déclarative. Les protocoles mis en place s'intéressaient particulièrement à la mémoire procédurale. Dans une expérience de Fischer et al. (2002), les participants effectuaient une tâche de tapping (une tâche d'opposition entre le pouce et les autres doigts de la main) selon des séquences qui se répétaient. Les performances étaient évaluées avant et après le délai, celui-ci pouvant être composé d'éveil ou de sommeil. Le groupe ayant dormi après l'entraînement augmentait en moyenne de 33,5% la vitesse de réalisation des séquences et réduisait de 30,1% son taux d'erreurs par rapport au groupe de sujets restés éveillés après l'entraînement. Les auteurs en ont conclu, que le sommeil ne participait pas uniquement au

stockage des habiletés motrices mais aussi à leur optimisation (Fischer, Hallschmid, Elsner, & Born, 2002). Cette amélioration des performances a également été observée pour des tâches de discrimination visuelle (Karni, Tanne, Rubenstein, & Askenasy, 1994; Stickgold, James, & Hobson, 2000). Dans l'expérience de Karni et al. (1994), les participants ont montré un gain de performance (temps de réponses plus rapides) plus important après une nuit de sommeil comparé à une privation de sommeil lent ou de sommeil paradoxal. De plus, la privation de sommeil paradoxal entraînait une absence de gain contrairement à la privation de sommeil lent. Les auteurs en ont conclu que le sommeil paradoxal serait particulièrement impliqué dans l'augmentation des performances pour la mémoire non déclarative. Dans l'expérience de Stickgold et al. (2000), les participants qui avaient une période de sommeil entre l'apprentissage et la récupération étaient plus rapides pour la réalisation de la tâche et cette amélioration persistait jusqu'à sept jours après l'apprentissage. A nouveau, ces effets bénéfiques pouvaient être observés après de courtes périodes de sommeil (60 à 90 minutes de sieste) pour une tâche de discrimination de texture (Mednick, Nakayama, & Stickgold, 2003) et qui plus est, après une nuit de sommeil, les sujets ayant réalisé une sieste après leur apprentissage étaient aussi performants que des sujets ayant dormi 2 nuits. Les auteurs conclurent qu'une sieste suivie d'une nuit de sommeil permettait autant de bénéfice sur les apprentissages que deux nuits de sommeil (Mednick, Nakayama, & Stickgold, 2003).

Nous avons donc constaté que le sommeil protège les informations nouvellement encodées des interférences précédentes ou subséquentes. Il permet de stabiliser les souvenirs déclaratifs en réduisant l'oubli et d'augmenter les performances de mémoire non déclarative.

Plusieurs auteurs ont cherché à comprendre si le sommeil avait un rôle passif ou actif dans ces gains de performances mnésiques (Ellenbogen, Payne, & Stickgold, 2006). Le rôle du sommeil pourrait être passif en protégeant simplement les informations contre les interférences. La période de sommeil constitue une période privilégiée pendant laquelle il y a peu de stimulations extérieures et donc peu d'interférences. Le sommeil offrirait simplement une opportunité idéale de consolider les informations alors même que le cerveau n'est pas sollicité par un nouvel encodage (Mednick, Cai, Shuman, Anagnostaras, & Wixted, 2011) Cependant, cela n'explique pas les améliorations observées après une période de sommeil, surtout dans le cas de la mémoire non déclarative. Il y aurait au cours du sommeil, une consolidation active des traces mnésiques et dans ce cas, il se pourrait que les caractéristiques du sommeil en elles-mêmes interviennent dans cette consolidation. Favorisant cette hypothèse, des études ont observé une modification de l'architecture du sommeil suite à un

apprentissage, notamment en termes de quantité de sommeil lent ou de sommeil paradoxal subséquent (Smith, 2001). De même, on observe une augmentation de la quantité de fuseaux de sommeil durant le stade 2 après un apprentissage déclaratif (Gais, Mölle, Helms, & Born, 2002). Ces modifications du sommeil suggèrent que suite à un apprentissage, les caractéristiques de sommeil interviennent activement dans la stabilisation et/ou l'amélioration des performances. Cela apporte des arguments en faveur d'une consolidation active et dépendante du sommeil. En effet, si le sommeil a bien un rôle actif sur la mémoire, alors on pourrait observer des liens entre les caractéristiques de sommeil et les performances. Des études se sont intéressées à identifier l'implication des stades de sommeil dans la consolidation des différents types de mémoire.

1.3. Dissociations des stades de sommeil

Comme nous l'avons décrit dans l'introduction générale, la nuit de sommeil chez l'homme consiste en une succession de cycles enchainant des périodes de sommeil lent léger (stades N1 et N2), de sommeil lent profond (stade N3) et de sommeil paradoxal. Chez l'homme, la première moitié de la nuit est riche en sommeil lent profond alors que la deuxième moitié de la nuit est riche en sommeil paradoxal (Figure 1) (Diekelmann & Born, 2010).

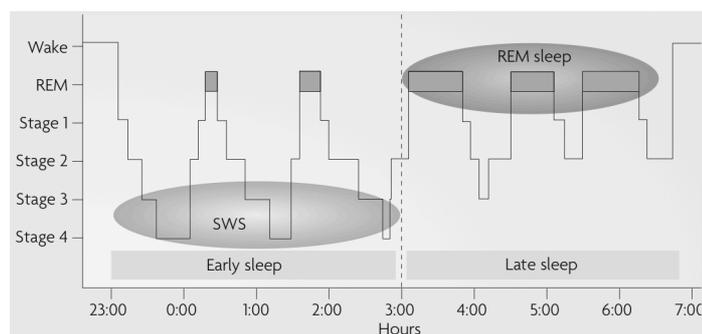


Figure 1. Représentation de l'architecture d'une nuit de sommeil. SWS= Sommeil lent profond ; REM sleep=Sommeil paradoxal Figure tirée de Diekelmann et Born, 2010

Etant donné les différences physiologiques entre les différentes phases de sommeil, certaines études ont cherché à préciser les effets de chaque stade de sommeil sur la

consolidation mnésique. Compte tenu de l'organisation particulière du sommeil au cours de la nuit, une privation de sommeil pendant la première ou la seconde moitié de la nuit permet d'étudier les effets d'un sommeil riche en sommeil lent profond ou d'un sommeil riche en sommeil paradoxal. C'est en utilisant ce type de paradigme que Plihal et al. (1997) ont montré une amélioration plus importante des performances pour une tâche de rappel de paires de mots (mémoire déclarative) chez les participants ayant eu un sommeil riche en sommeil lent profond par rapport aux participants privés de ce même type de sommeil. A l'inverse, ils ont observé que pour une tâche de dessin en miroir (mémoire non déclarative) l'amélioration était plus importante après une période de sommeil riche en sommeil paradoxal (Plihal & Born, 1997). Les auteurs en ont ainsi conclu que le sommeil lent profond et le sommeil paradoxal n'avaient pas les mêmes effets sur la mémoire en fonction du type de tâche effectuée. En utilisant le même type de paradigme, des études ont montré un effet bénéfique du sommeil lent profond sur les apprentissages déclaratifs tels que la reconnaissance de mots (Drosopoulos, Wagner, & Born, 2005) et la rotation mentale (Plihal & Born, 1999) et un effet du sommeil paradoxal sur les apprentissages non déclaratifs tels que le dessin en miroir (Plihal & Born, 1997), l'amorçage de mots (Plihal & Born, 1999) et l'amorçage de visages (Wagner, Hallschmid, Verleger, & Born, 2003). Une étude menée par Wagner et al (2001) a également mis en évidence une implication du sommeil paradoxal pour la mémoire émotionnelle avec une tâche de rappel de textes émotionnels (Wagner, Gais, & Born, 2001). Enfin, le sommeil paradoxal serait impliqué dans la consolidation des habiletés cognitives (Smith & Smith, 2003). Dans cette dernière étude, les deux expériences réalisées ont montré que l'ingestion de petites quantités d'éthanol avant le coucher (0.7g/kg ou 0.9 g/kg) modifient l'architecture du sommeil paradoxal subséquent en le diminuant (diminution du temps de SP, du nombre de périodes de SP...). Cette diminution du sommeil paradoxal était accompagnée d'une diminution des performances au retest, huit jours après l'apprentissage, pour les tâches procédurales (motrices et cognitives) mais pas pour les tâches déclaratives. L'effet délétère de l'éthanol sur le sommeil paradoxal était observé que l'ingestion ait lieu le soir même suivant l'apprentissage ou deux jours après (Smith & Smith, 2003).

Toutes ces études ont permis de mettre en évidence un effet du sommeil lent sur la mémoire déclarative et un effet du sommeil paradoxal sur la mémoire procédurale et émotionnelle. Cette double dissociation entre les stades de sommeil et les types de mémoire a été à l'origine de l'hypothèse du processus double ou « dual process » qui propose deux processus distincts de consolidation au cours du sommeil. Le processus de consolidation de la mémoire déclarative (ou mémoire dépendant de l'hippocampe) qui aurait lieu pendant le

sommeil lent profond et un processus de consolidation voir d'amélioration nocturne de la mémoire non déclarative qui aurait lieu pendant le sommeil paradoxal (Rauchs, Desgranges, Foret, & Eustache, 2005; Smith, 2001; Smith, 1995).

Cependant, cette hypothèse du processus double est aujourd'hui remise en question. En effet, le sommeil lent profond ne serait pas strictement impliqué dans la consolidation de la mémoire déclarative mais il pourrait également intervenir dans la consolidation de la mémoire non déclarative. Il a ainsi été observé une amélioration des performances pour une tâche de discrimination visuelle uniquement après un sommeil de début de nuit, riche en sommeil lent profond (Gais, Plihal, Wagner, & Born, 2000). De la même manière, une tâche de poursuite motrice entraînerait une augmentation des oscillations lentes lors du sommeil subséquent (Huber, Ghilardi, Massimini, & Tononi, 2004) et l'amélioration à une tâche d'habiletés motrices serait liée à la quantité de sommeil lent léger (stade 2) (Walker, Brakefield, Morgan, Hobson, & Stickgold, 2002). Ces résultats indiquent une implication du sommeil lent dans la consolidation de la mémoire procédurale.

Parallèlement, le sommeil paradoxal pourrait intervenir dans la consolidation de la mémoire déclarative. Après l'apprentissage d'une liste de paires de mots, Fogel et collaborateurs (2007) ont observé une augmentation de l'activité thêta durant le sommeil paradoxal, ainsi qu'une amélioration des performances au rappel (Fogel, Smith, & Cote, 2007). Rauchs et al. (2004) ont également réalisé une expérience dans laquelle les participants apprenaient des listes de mots. Chacun des mots (quoi) était associé à une localisation spatiale (où) et à une liste particulière (quand). Ils ont montré que les trois aspects de l'information (quoi, où et quand) étaient déficitaires après une privation de sommeil paradoxal (Rauchs et al., 2004). Enfin, plus récemment, Rasch et al. (2009) ont effectué une expérience dans laquelle les participants ingéraient des inhibiteurs de la recapture de la noradrénaline et de la sérotonine. Le sommeil paradoxal étant associé à une diminution de ces deux hormones, l'ingestion des inhibiteurs entraînaient une suppression du sommeil paradoxal. De façon surprenante, cette suppression du sommeil paradoxal n'entraînait aucune diminution des performances pour la rétention de paires de mots ni pour le dessin en miroir mais entraînait au contraire une amélioration des performances pour la tâche procédurale de tapping (taper une séquence avec les doigts sur un clavier) (Rasch, Pommer, Diekelmann, & Born, 2009).

L'implication d'un stade de sommeil en particulier pour un type de mémoire uniquement ne serait donc pas aussi exclusive. Le sommeil lent et le sommeil paradoxal

pourraient avoir des rôles complémentaires et intervenir dans la consolidation à la fois de la mémoire déclarative et de la mémoire non déclarative. Cela pourrait également relever de la définition même de ces deux types de mémoire qui reflètent des activités très variées. Il semblerait même que ce soit plutôt la succession des deux stades de sommeil qui serait importante pour la consolidation mnésique. En réalisant une tâche de conditionnement aversif chez le rat, Giuditta et al. (1995) ont établi une différence entre les rats qui avaient appris la tâche (rats L) et ceux qui n'avaient pas appris la tâche (rats NL). Ils ont alors observé que les rats L présentaient plus de réponses adaptatives (comportement d'aversion) après l'apprentissage alors que les rats NL avaient plus de réponses non adaptatives (comportement d'immobilité ou de fuite). Or, il y avait une différence d'architecture de sommeil chez ces deux types de rats : les rats NL présentaient un retard dans l'apparition des phases de sommeil paradoxal alors que les phases de sommeil lent étaient plus longues. Les auteurs en ont conclu que le sommeil lent profond induirait un affaiblissement des traces non-adaptatives alors que le sommeil paradoxal conduirait à une réorganisation des traces restantes permettant de les intégrer dans des traces mnésiques préexistantes. Il y aurait donc selon eux, deux étapes successives pour la consolidation mnésique, une étape se déroulant au cours du sommeil lent et l'autre, au cours du sommeil paradoxal. (Ambrosini & Giuditta, 2001; Giuditta et al., 1995).

Cette hypothèse séquentielle a également été étudiée chez l'homme en utilisant une tâche de discrimination visuelle. Dans cette expérience, l'amélioration des performances à la tâche de discrimination visuelle était proportionnelle à la quantité de sommeil lent profond pendant le premier quart de la nuit, mais également à la quantité de sommeil paradoxal pendant le dernier quart de la nuit. Ces résultats suggèrent que le sommeil lent profond et le sommeil paradoxal interviennent successivement dans la consolidation de la mémoire procédurale (Stickgold, Whidbee, Schirmer, Patel, & Hobson, 2000). Ficca et al. (2000) ont montré l'importance des cycles de sommeil, c'est-à-dire l'alternance complète d'une phase de sommeil lent profond et d'une phase de sommeil paradoxal dans la consolidation mnésique. Dans cette expérience, les participants mémorisaient une liste de mots et étaient répartis dans trois conditions. Il y avait une condition de sommeil normal, une condition de sommeil fragmenté mais sans perturbation des cycles : les participants étaient réveillés quelques minutes après l'apparition de chaque phase de sommeil paradoxal et une condition de sommeil fragmenté avec perturbation des cycles : les participants étaient réveillés avant l'apparition de chaque phase de sommeil paradoxal (soit 40 min après l'apparition du sommeil lent). Les participants présentaient un rappel moins important dans la condition où le

sommeil était fragmenté et les cycles perturbés. Les auteurs conclurent que ce serait l'organisation du sommeil et surtout la succession des stades sommeil lent/sommeil paradoxal qui serait importante pour la consolidation mnésique (Ficca, Lombardo, Rossi, & Salzarulo, 2000). De la même manière, l'amélioration à une tâche de discrimination visuelle était plus effective suite à une sieste contenant à la fois du sommeil lent profond et du sommeil paradoxal par rapport à une sieste composée uniquement de sommeil lent profond (Mednick et al., 2003). Ces études permettent donc de confirmer un rôle complémentaire des stades de sommeil dans la consolidation mnésique.

La consolidation mnésique au cours du sommeil serait donc fortement liée aux stades de sommeil et à leurs caractéristiques physiologiques. Ces observations apportent des arguments solides en faveur d'un rôle actif du sommeil. De plus, les améliorations de performances observées aussi bien pour la mémoire non déclarative que pour la mémoire déclarative indiquent que pendant le sommeil, la trace mnésique ne serait pas uniquement stabilisée et protégée de l'oubli mais qu'elle serait également renforcée, permettant de récupérer davantage d'informations au réveil. Il y aurait donc plusieurs processus mis en jeu au cours du sommeil et liés aux aspects physiologiques de celui-ci.

1.4. Bases neurophysiologiques des liens entre sommeil et mémoire

Afin de mieux comprendre le rôle actif du sommeil sur la consolidation mnésique, il est particulièrement intéressant d'étudier la modulation des traces mnésiques par les caractéristiques physiologiques du sommeil. De nombreuses études ont montré une réactivation des patterns neuronaux impliqués dans l'apprentissage lors du sommeil subséquent. Par exemple, chez le rat, les neurones de l'hippocampe activés à l'éveil lors d'un apprentissage spatial étaient à nouveau activés lors du sommeil lent profond subséquent (Ji & Wilson, 2007; Ribeiro & Nicolelis, 2004; Wilson & McNaughton, 1994). De plus, ces patterns neuronaux étaient réactivés dans le même ordre qu'à l'apprentissage (Ji & Wilson, 2007; Lee & Wilson, 2002; Skaggs & McNaughton, 1996). Chez les oiseaux également, Dave et Margoliash (2000) ont montré que les neurones du cortex moteur impliqués dans l'apprentissage de nouveaux chants à l'éveil étaient réactivés pendant le sommeil suivant

l'apprentissage, comme si le cerveau « rejouait » les activités mnésiques de la journée, donnant à ce phénomène de réactivation le nom de « replay » des informations (Dave & Margoliash, 2000).

Ce phénomène de « replay » a également été observé chez l'homme (pour une revue voir Oudiette & Paller, 2013; Paller & Voss, 2004). Peigneux et collaborateurs ont ainsi montré une réactivation au cours du sommeil lent profond des aires hippocampiques activées lors d'un apprentissage visuo-spatial d'un trajet dans une ville virtuelle (Peigneux et al., 2004). De façon plus intéressante, dans cette expérience, les auteurs ont obtenu une corrélation entre l'amplitude de la réactivation durant le sommeil et l'amélioration des performances lors de la tâche visuo-spatiale le lendemain. Cette réactivation neuronale au cours de la nuit, sous-tendrait la consolidation et l'amélioration des performances. Une étude récente, menée par Oudiette et al. (2011) a tenté d'étudier ce phénomène de « replay » au niveau comportemental chez des patients présentant des troubles du sommeil. Trois groupes de participants ont été inclus dans cette étude : des sujets contrôles sans trouble de sommeil, des patients somnambules présentant des comportements moteurs complexes au cours du sommeil lent profond et des patients souffrant de trouble comportemental en sommeil paradoxal, ces derniers présentant une absence d'atonie durant cette phase de sommeil. Les patients pouvaient donc avoir des mouvements involontaires au cours du sommeil lent profond pour les somnambules ou au cours du sommeil paradoxal pour les patients souffrant de trouble comportemental en sommeil paradoxal. Les trois groupes de participants effectuaient une tâche de temps de réaction sériel modifiée ; les réponses impliquant de grands gestes des bras. De façon intéressante, une patiente somnambule a présenté un comportement au cours du sommeil lent évoquant une réactivation de l'apprentissage. En effet, sur la vidéo enregistrant sa nuit de sommeil, les chercheurs ont pu constater que la patiente réalisait les mêmes mouvements qu'à l'apprentissage (Oudiette et al., 2011). Bien que présentant des résultats sur un sujet uniquement, cette étude fournit des pistes intéressantes quant à la manifestation comportementale de la réactivation neuronale.

Il serait également possible de majorer ce phénomène de « replay » en présentant pendant le sommeil une partie des informations mémorisées. Chez le rat, la présentation d'un indice, comme par exemple un choc électrique pendant l'apprentissage et pendant le sommeil paradoxal subséquent modifie l'architecture de celui-ci (Hennevin & Hars, 1987). Des

informations liées à l'apprentissage pourraient être traitées pendant la période off-line qu'est le sommeil en influençant l'architecture de ce-dernier (Hennevin, Huetz, & Edeline, 2007; Hennevin, Hars, Maho, & Bloch, 1995). Chez l'homme également, un bénéfice comportemental dû à la présentation d'un indice sensoriel lié à l'apprentissage a été mis en évidence. Dans une expérience menée par Rasch et al. (2007), les participants effectuaient un apprentissage dans lequel ils devaient mémoriser l'emplacement de paires de cartes dans une matrice visuo-spatiale (tâche inspirée du jeu « Memory »). Pendant l'apprentissage, une odeur de rose était diffusée à l'aide d'un masque. Cette odeur de rose pouvait être à nouveau diffusée à l'éveil, pendant le sommeil lent ou le sommeil paradoxal. Il y avait également un groupe contrôle qui n'avait aucune odeur diffusée pendant le sommeil. L'amélioration des performances à la tâche de rappel était plus importante pour les participants ayant eu une diffusion de l'odeur de rose pendant le sommeil lent profond. En revanche, il n'y avait pas de différence si cette odeur était diffusée à l'éveil ou pendant le sommeil paradoxal. De plus, la diffusion de l'odeur de rose pendant le sommeil lent profond était liée à une activation significative des régions de l'hippocampe (Rasch, Büchel, Gais, & Born, 2007). La réactivation cérébrale liée à un apprentissage déclaratif pourrait donc être renforcée par la présentation d'un indice lié à ce même apprentissage au cours du sommeil lent profond et permettrait d'améliorer les performances le lendemain. Rudoy et al. (2009) ont réalisé une expérience, au cours de laquelle les participants apprenaient des associations entre des images et des localisations sur une matrice visuo-spatiale similaire à celle utilisée par Rasch et al. (2007). Ces images étaient associées à un son congruent (par exemple une image de chat associée à un miaulement). Les participants effectuaient par la suite une sieste durant laquelle les indices (sons associés aux images) étaient présentés pour la moitié des images vues à l'apprentissage. Ces indices sonores étaient présentés pendant la phase de sommeil lent profond de la sieste. Au moment du rappel, les participants étaient plus précis dans la localisation des images indicées pendant le sommeil par rapport aux images non indicées. La diffusion d'un indice au cours du sommeil lent profond pourrait donc renforcer spécifiquement le souvenir associé à cet indice sans pour autant renforcer les autres souvenirs (Rudoy, Voss, Westerberg, & Paller, 2009). Les oscillations lentes (Fuentemilla et al., 2013) et les fuseaux de sommeil (Antony, Gobel, & O'Hare, 2012; Fuentemilla et al., 2013) générés pendant le sommeil lent pourraient être également impliqués dans ce phénomène.

Cependant, cette réactivation au cours du sommeil a été également observée pendant le sommeil paradoxal. Chez le rat, il a été montré que les neurones de l'hippocampe activés à l'éveil lors d'une tâche d'apprentissage spatial pouvaient être réactivés pendant le sommeil

paradoxal subséquent (Louie & Wilson, 2001; Poe, Nitz, McNaughton, & Barnes, 2000). Chez l'homme également, les régions cérébrales activées pendant la réalisation d'une tâche de temps de réaction sériel étaient significativement plus activées pendant le sommeil paradoxal post-apprentissage (Maquet et al., 2000; Peigneux et al., 2003). Ces résultats semblent indiquer une réactivation au cours du sommeil paradoxal induite par un apprentissage non déclaratif et une réactivation au cours du sommeil lent induite par un apprentissage déclaratif. Cependant, il se pourrait que le rôle de ces stades de sommeil soit plutôt complémentaire et que la réactivation se déroulerait à la fois pendant le sommeil lent et le sommeil paradoxal.

En addition à cette réactivation des traces au cours du sommeil, il y aurait également une réorganisation des patterns neuronaux. Walker et collègues ont ainsi soumis des participants à une tâche de tapping tout en évaluant leur activité cérébrale par IRMf. Douze heures plus tard, au moment du retest, les activations cérébrales étaient différentes entre le groupe ayant dormi et le groupe resté éveillé. En effet, après une période de sommeil, l'exécution de la tâche était associée à une augmentation de l'activation du cortex moteur primaire, du lobe préfrontal médial, de l'hippocampe et du cervelet. Ces modifications pouvaient expliquer l'amélioration motrice observée dans cette tâche. À l'inverse, une réduction du signal était observé dans le cortex pariétal, insulaire et temporal, ainsi que dans la région fronto-polaire, suggérant que cette tâche nécessitait moins de contrôle spatial et de charge émotionnelle (Walker, Stickgold, Alsop, Gaab, & Schlaug, 2005). Ces résultats suggèrent que les patterns neuronaux impliqués dans la réalisation de la tâche de tapping sont différents après une période de sommeil ou après une période d'éveil, impliquant une réorganisation des patterns neuronaux par le sommeil. De la même manière Payne et Kensinger ont montré un changement des activations neuronales suite à une tâche de reconnaissance de scènes émotionnelles (Payne & Kensinger, 2011).

La consolidation mnésique au cours du sommeil se manifesterait donc à deux niveaux : un niveau local et un niveau global. Ainsi, dans un premier temps, les patterns neuronaux correspondant à une nouvelle situation seraient réactivés au sein de l'hippocampe. Cette réactivation neuronale correspondant à une consolidation synaptique aurait lieu assez rapidement après l'apprentissage et permettrait de renforcer les connexions neuronales au sein de l'hippocampe afin de rendre la trace plus forte et plus résistante à l'interférence. Par la suite, ces nouvelles « représentations » seraient transférées au néocortex pour un stockage à long terme. Cette consolidation systémique prendrait plus de temps et permettrait une

réorganisation de la mémoire en intégrant les nouveaux souvenirs aux souvenirs existants (Dudai, 2004; Frankland & Bontempi, 2005; Rasch & Born, 2013). Les souvenirs nouvellement encodés seraient donc stockés temporairement dans l'hippocampe avant d'être transférés au néocortex, devenant au fil du temps de moins en moins dépendants de l'hippocampe et de plus en plus dépendants du néocortex et notamment du cortex frontal. Des études ont montré une augmentation de l'activité des aires frontales pour le rappel d'items trois mois après l'encodage (Takashima et al., 2006) et jusqu'à six mois après (Gais et al., 2007). Au fil du temps, la trace deviendrait donc indépendante de l'hippocampe car intégrée aux traces existantes et au moment de la récupération, elle nécessiterait l'activation du cortex frontal et du néocortex.

L'implication des oscillations générées au cours du sommeil lent dans la consolidation mnésique a été fortement décrite dans la littérature. Le sommeil lent se caractérise par plusieurs types d'oscillations: les oscillations lentes, les fuseaux de sommeil (ou spindles) et les ripples dans l'hippocampe. Toutes ces oscillations seraient impliquées dans la consolidation mnésique au cours du sommeil (Rasch & Born, 2013; Saletin & Walker, 2012). Tout d'abord les oscillations lentes représentent l'activité cérébrale principale au cours du sommeil lent et surtout au cours du sommeil lent profond. Cette activité est définie par des ondes d'une fréquence de 0.5 à 4Hz (Steriade, 2003) et serait impliquée dans la consolidation des apprentissages. Mölle et al (2004) ont ainsi observé, une augmentation des oscillations lentes après un apprentissage intensif de paires de mots (Möller, Marshall, Gais, & Born, 2004). Cette augmentation des oscillations lentes a également été observée suite à un apprentissage moteur (Huber et al., 2004). De plus, il y avait une corrélation entre la durée et l'amplitude des oscillations lentes et les performances à la tâche, que celle-ci soit déclarative (Heib et al., 2013) ou procédurale (Huber et al., 2004). L'augmentation des oscillations lentes par stimulation trans-crânienne augmente les capacités de rétention chez le rat (Binder, Rawohl, Born, & Marshall, 2014). Marshall et al. (2006) ont également effectué une stimulation trans-crânienne (0.75 Hz) via des électrodes placées au niveau des aires frontolatérales pendant le sommeil lent profond. Cette stimulation avait pour conséquence une augmentation des oscillations lentes et une amélioration des performances de rappel de paires de mots au retest (Marshall, Helgadóttir, Mölle, & Born, 2006). Ces études confirment donc un rôle prédominant des oscillations lentes et par extension du sommeil lent dans la consolidation des apprentissages.

Les fuseaux de sommeil sont des bouffées d'activité cérébrale entre 12 et 15Hz se répétant toutes les 2 à 5 secondes. Ces fuseaux seraient surtout fréquents durant le stade 2 de sommeil lent mais sont encore observés durant le stade 3 du sommeil lent profond. Les fuseaux sont générés par le thalamus mais seraient sous influence du néocortex reflétant une interaction entre les neurones du thalamus et les neurones corticaux (Steriade, 2003). De nombreuses études se sont intéressées à ce type d'ondes en particulier et à leur lien avec la mémoire (pour une revue voir Fogel & Smith, 2011). Ainsi l'apprentissage de paires de mots entraînerait une augmentation de la densité des fuseaux corrélée aux performances en rappel (Gais et al., 2002; Schabus et al., 2008). Cet effet serait d'autant plus important durant les premières quatre-vingt-dix minutes de sommeil (Gais et al., 2002). De la même manière, l'apprentissage visuo-spatial de figures complexes entraînerait une augmentation de nombre total de fuseaux avec à nouveau, une corrélation entre les performances et le nombre de fuseaux (Clemens, Fabó, & Halász, 2006). La consolidation reposerait donc sur ces oscillations particulières que sont les fuseaux.

Cependant on peut distinguer deux types de fuseaux selon leur fréquence : les fuseaux lents dont la fréquence est inférieure ou égale à 12 Hz et les fuseaux rapides dont la fréquence est d'environ 14 Hz. Schmidt et al. (2006) ont mis en évidence une implication des fuseaux qui serait liée à la difficulté de l'encodage. Les participants étaient confrontés à deux listes durant l'apprentissage : une liste contenant en majorité des mots concrets et une liste contenant en majorité des mots abstraits. La liste de mots abstraits était plus difficile à encoder que la liste de mots concrets. Cette manipulation de la difficulté à l'encodage a permis d'observer une augmentation des fuseaux lents dans le cortex frontal après un encodage difficile. De plus, cette augmentation des fuseaux lents était corrélée aux performances de rappel. Les fuseaux et plus précisément les fuseaux lents, seraient d'autant plus impliqués si l'apprentissage est difficile (Schmidt et al., 2006). Le rôle des fuseaux de sommeil dans la consolidation mnésique a également pu être confirmée par le biais de l'indigage sensoriel. Dans un paradigme similaire à celui de Rasch et al. (2007), la présentation d'une odeur lors d'un apprentissage visuo-spatial et la re-présentation de cette même odeur au cours du sommeil subséquent entraîne une augmentation des oscillations lentes et des fuseaux de sommeil (Rihm, Diekelmann, Born, & Rasch, 2014). De la même manière, l'augmentation des fuseaux au cours de la sieste par administration pharmacologique d'un hypnotique (zolpidem) entraîne non seulement une amélioration du rappel de paires de mots (Mednick et al., 2013) mais aussi une meilleure reconnaissance d'images émotionnelles (Kaestner, Wixted, & Mednick, 2013). L'étude du rôle des fuseaux, oscillations spécifiques

au cours du sommeil lent, semble donc particulièrement pertinente pour une meilleure compréhension de la consolidation mnésique au cours du sommeil. Cependant, les fuseaux ne sont pas les seules oscillations à être impliquées dans la consolidation des apprentissages.

Les chercheurs se sont également intéressés aux oscillations dites « ripples ». Ces oscillations sont des bouffées d'activité rapides générées dans l'hippocampe pendant le sommeil lent (Rasch & Born, 2013). Comme pour les autres types d'oscillations observées pendant le sommeil lent, les ripples seraient impliqués dans la mémorisation et la consolidation mnésique. Ainsi, chez le rat, la stimulation intra-crânienne des régions CA1 de l'hippocampe pendant le sommeil entraîne la perturbation de l'activité neuronale liée aux ripples. Cette perturbation entraînerait par la suite une difficulté dans l'apprentissage d'un labyrinthe. Les oscillations ripples seraient donc nécessaires afin de préparer l'hippocampe à l'encodage de nouvelles informations (Ego-Stengel & Wilson, 2010). Mais les ripples sont également impliqués dans la consolidation mnésique car on observe une augmentation de la densité des ripples suite à un apprentissage spatial (Csicsvari & Dupret, 2014; Ramadan, Eschenko, & Sara, 2009). A nouveau, il semblerait que cette augmentation soit d'autant plus importante durant la première heure de sommeil (Eschenko, Ramadan, Mölle, Born, & Sara, 2008). Parallèlement, la suppression des ripples pendant le sommeil suivant un apprentissage spatial entraîne une diminution des performances de rétention chez le rat (Girardeau, Benchenane, Wiener, Buzsáki, & Zugaro, 2009). Les ripples seraient donc impliqués également dans la consolidation mnésique au cours du sommeil.

Les études mentionnées précédemment ont mis en évidence un aspect temporel quant à l'efficacité optimum des ripples et des fuseaux. En effet, les ripples sont particulièrement impliqués dans la consolidation mnésique au cours de la première heure de sommeil (Eschenko et al., 2008) alors que les fuseaux seraient plus efficaces durant la première heure et demie (Gais et al., 2002) mais également durant le reste de la nuit de sommeil (Clemens et al., 2006). L'aspect temporel observé dans l'efficacité optimum des ripples et des fuseaux de sommeil suggère une implication différente des deux types d'oscillations dans la consolidation mnésique. Ainsi, les ripples seraient le reflet de la réactivation des informations nouvellement encodées et donc de la consolidation synaptique. Les fuseaux de sommeil permettraient la communication entre l'hippocampe et le néocortex pour une consolidation systémique à long terme (Rasch & Born, 2013). Buzsáki a par ailleurs décrit l'existence d'un dialogue entre l'hippocampe et le néocortex au cours du sommeil (Buzsáki, 1996; Sirota &

Buzsáki, 2005). Cette connectivité entre l'hippocampe et le néocortex a été mise en évidence par une corrélation entre les ripples dans l'hippocampe et les fuseaux de sommeil dans le néocortex (Andrade et al., 2011; Siapas & Wilson, 1998; Sirota, Csicsvari, Buhl, & Buzsáki, 2003). Les fuseaux de sommeil et les ripples présenteraient une activité couplée au sein « d'évènements fuseaux-ripples ». Ces deux types d'oscillations seraient parallèlement sous le contrôle des oscillations lentes pour la synchronisation des différentes régions cérébrales impliquées dans la consolidation mnésique (Born & Wilhelm, 2012; Rasch & Born, 2013) Le rôle des différentes oscillations au cours du sommeil lent est donc particulièrement important car reflétant la réactivation et la réorganisation neuronale.

Toutes les études évoquées précédemment se place dans un cadre théorique commun expliquant les phénomènes de consolidation mnésique à travers les modèles classiques de la mémoire. Revenons sur les différents modèles classiques proposés dans la littérature.

1.5. Les modèles classiques de la mémoire

Les modèles classiques de la mémoire ont constitué la base théorique de la majorité des recherches dans le champ de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie. Ces modèles classiques s'inscrivent dans une lignée modulariste de la cognition proposant l'idée selon laquelle l'esprit humain serait constitué de plusieurs modules indépendants possédant chacun une fonction (Fodor, 1986). A partir de ce principe, Tulving propose le modèle de mémoire SPI (Sériel, Parallèle et Indépendant) composé de plusieurs systèmes : la mémoire procédurale, le SRP (Système de Représentations perceptives), la mémoire sémantique, la mémoire de travail et la mémoire épisodique. Selon ce modèle, l'information est encodée de façon sérielle (S), il y a une hiérarchie entre les différents systèmes dont la mémoire procédurale constitue la base. L'information est stockée en parallèle dans les différents systèmes mnésiques (P). Enfin, les systèmes sont indépendants les uns des autres (I). Selon ce modèle, la mémoire procédurale constitue le système le plus ancien au niveau phylogénétique. Il prend en charge les savoirs relatifs aux actions et aux habiletés motrices ou cognitives et permet de répondre de manière adaptée aux stimuli présents dans l'environnement. Le SRP prend en charge les propriétés physiques et perceptives des objets. La mémoire sémantique constitue le système de mémoire qui rend possible l'acquisition de connaissances générales

sur le monde. La mémoire de travail permet de retenir et de manipuler des informations sur une courte période. Et enfin la mémoire épisodique permet à l'individu de rappeler les événements passés et de les mettre en relation avec les événements présents (Figure 2). Il y aurait également différents types de conscience permettant d'accéder à l'information selon le système dans lequel celle-ci est stockée. Ainsi l'accès aux informations de la mémoire procédurale serait associé à un niveau de conscience anoétique qui permettrait la réponse à une stimulation extérieure sans pour autant qu'il y ait une réelle conscience des informations "récupérées". L'accès aux informations de la mémoire sémantique permettrait un niveau de conscience noétique dans lequel l'individu a conscience du monde qui l'entoure, sans qu'il soit lui-même différencié de ce monde. Enfin, les informations contenues dans le système de mémoire épisodique pourraient être accessibles via un niveau de conscience auto-noétique, représentant la capacité de l'individu à avoir conscience de sa propre existence dans un cadre spatial et temporel précis (Tulving, 1985, 1995).

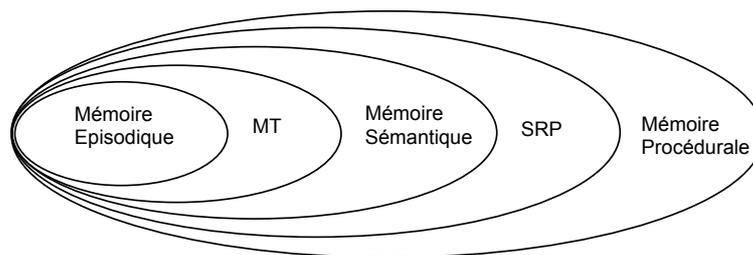


Figure 2. Représentation des systèmes de mémoire selon le modèle SPI (Tulving, 1995).

On retrouve cette dissociation selon le niveau de conscience des informations dans une autre organisation des systèmes mnésiques proposée notamment par Squire (e.g., 1992). En effet, l'étude des patients amnésiques a permis de mettre en évidence une amnésie rétrograde (perte de toutes les informations apprises avant la survenue du trouble) due à l'atteinte de certaines structures cérébrales et notamment du lobe médial temporal et de l'hippocampe. Or, malgré une amnésie massive entraînant de nombreuses difficultés, certaines habiletés étaient préservées chez ces patients. Ces habiletés, plutôt procédurales et non verbalisables, ne seraient donc pas soutenues par les mêmes structures cérébrales que les capacités de mémoire déclarative. On peut donc décrire d'un côté la mémoire déclarative dont les informations peuvent être récupérées verbalement et qui dépend de l'intégrité du lobe médial temporal et de l'hippocampe et d'un autre côté, la mémoire non déclarative qui regrouperait toutes les habiletés préservées chez les patients amnésiques et qui dépendrait d'autres structures

cérébrales. Ces informations non déclaratives ne sont accessibles que par la performance, les sujets ont donc accès à l'information en mémoire en engageant la ou les procédures dans lesquelles le savoir est intégré. Ces habiletés ont souvent été décrites comme des habiletés procédurales mais elles regroupent bien d'autres habiletés motrices et cognitives (Larry R Squire & Zola-Morgan, 1988). Le modèle proposé par Squire décrit donc la mémoire comme constituée de deux systèmes principaux, la mémoire déclarative et la mémoire non déclarative, constitués chacun de plusieurs sous-systèmes. La mémoire déclarative représenterait la recollection consciente des faits et des événements passés et la mémoire non déclarative représenterait l'ensemble des capacités d'apprentissage non conscientes (Larry R Squire & Zola, 1996). Au sein de la mémoire déclarative on retrouve les sous-systèmes de mémoire épisodique et sémantique. La mémoire non déclarative contient plusieurs sous-systèmes de mémoire selon les tâches réalisées par l'individu: la mémoire procédurale qui regroupe toutes les habiletés motrices et cognitives, l'amorçage qui décrit la facilitation du traitement d'une information cible par la présentation d'une information amorce qui lui est reliée (perceptivement ou sémantiquement), le conditionnement (classique ou opérant), et enfin l'apprentissage non associatif (habituation ou sensibilisation). Contrairement au modèle SPI, le modèle proposé par Squire ne présente pas une organisation hiérarchique des systèmes, bien ceux-ci restent indépendants (Figure 3).

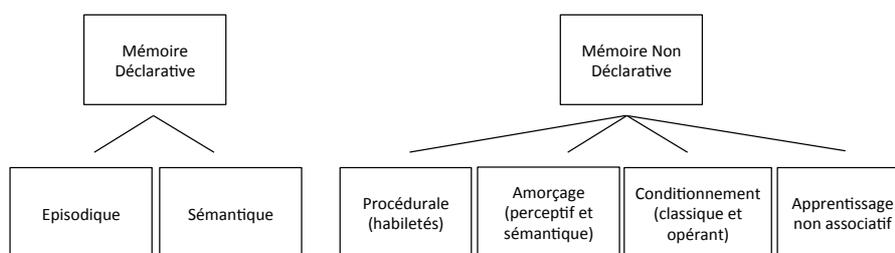


Figure 3. Représentation des systèmes de mémoire selon le modèle de Squire (1992)

La distinction entre la mémoire déclarative et la mémoire non déclarative, déjà évoquée par Tulving dans le modèle SPI, repose sur la notion de conscience et sur le contenu de chacun des systèmes de mémoire. Les informations stockées au sein de la mémoire déclarative peuvent être récupérées verbalement et donc consciemment alors que les informations stockées au sein de la mémoire non déclarative ne sont pas accessibles de façon verbale mais à travers l'action de l'individu. La distinction entre la mémoire déclarative et la mémoire non déclarative est souvent mise en parallèle avec la distinction entre mémoire

implicite et mémoire explicite. Toutefois, cette distinction est moins en lien avec le contenu de la mémoire qu'avec le mode de récupération. En effet, la mémoire implicite décrit les informations pour lesquelles il n'est pas nécessaire d'avoir une recollection consciente, contrairement à la mémoire explicite (Schacter, 1987). La distinction repose donc ici sur l'utilisation intentionnelle ou non de la mémoire pour réaliser les tâches. Le terme implicite se rapporte à une utilisation non intentionnelle de la mémoire, l'évaluation de celle-ci reposant sur la performance (par exemple la complétion de fragments de mots, le dessin en miroir, paradigme d'amorçage). Le terme explicite évoque plutôt l'utilisation intentionnelle de la mémoire pour réaliser des tâches telles que le rappel ou la reconnaissance. Il y aurait donc deux types de mesures de la mémoire, une mesure directe avec des tâches explicites et une mesure indirecte avec des tâches implicites. Ces processus de récupération implicites et explicites décrits dans les modèles classiques sont impliqués dans les phénomènes de réorganisation des traces mnésiques pendant le sommeil.

En Résumé

Le sommeil est impliqué dans tous les aspects de la mémorisation. Il a un effet bénéfique quand il intervient avant l'encodage en préparant le cerveau à l'apprentissage de nouvelles informations. Il a également un effet bénéfique après l'apprentissage en consolidant les informations nouvellement apprises. Il permet de stabiliser les apprentissages déclaratifs, de les protéger des interférences et de réduire l'oubli. Le sommeil intervient aussi dans le renforcement des apprentissages non déclaratifs en améliorant les performances. Toutes ces observations amènent à penser que le rôle du sommeil dans la consolidation des apprentissages est un rôle actif lié aux caractéristiques physiologiques particulières du sommeil. Plusieurs hypothèses ont été proposées afin de décrire le rôle du sommeil sur la mémoire. Tout d'abord, l'hypothèse du double processus proposant un effet du sommeil lent sur la mémoire déclarative et un effet du sommeil paradoxal sur la mémoire non déclarative. L'hypothèse séquentielle propose quant à elle, une consolidation mnésique en deux étapes impliquant successivement le sommeil lent et le sommeil paradoxal. Enfin, l'hypothèse d'une consolidation active à deux niveaux : une consolidation synaptique et une consolidation systémique. La consolidation synaptique permettrait de renforcer les traces mnésiques par leur réactivation dans l'hippocampe et serait liée à l'activité des ripples. La consolidation systémique permettrait une intégration des nouvelles informations dans la mémoire à long terme par un dialogue entre l'hippocampe et le néocortex sous-tendu par l'activité des oscillations lentes et des fuseaux de sommeil.

Le cadre théorique général de la majorité de ces études est basé sur les modèles classiques. Ces modèles proposent de distinguer un type de mémoire où les informations sont récupérées de manière explicite via des tâches de mémoire directes et un type de mémoire où les informations sont récupérées de manière implicite par des tâches de mémoire indirectes. Ces modèles ont servi de base à la description des processus mnésiques impliqués dans la réorganisation des traces.

Chapitre 2

Sommeil et réorganisation des traces mnésiques

Comme nous l'avons abordé dans le chapitre précédent, l'effet bénéfique du sommeil sur les performances mnésiques serait la conséquence de la réactivation et de la réorganisation neuronale. Cela expliquerait alors la réduction de l'oubli sur les souvenirs déclaratifs qui seraient stabilisés au cours de la nuit mais également l'amélioration des performances sur les souvenirs non déclaratifs qui seraient renforcés. Cette réorganisation des patterns neuronaux s'exprime par une réorganisation des traces mnésiques au niveau comportemental et pourrait expliquer que certaines solutions ou idées apparaîtraient le matin au réveil. En effet, de célèbres découvertes artistiques ou scientifiques ont été décrites comme émergeant après une période de sommeil. Par exemple, l'idée de la structure du Benzène (une suite d'atome formant une chaîne fermée) serait issue d'un épisode de sommeil au cours duquel Kékulé aurait rêvé d'un serpent se mordant la queue. De la même manière, Dmitri Mendeleïev essayait de trouver un moyen de classer les éléments chimiques et après avoir fait un rêve dans lequel tous les éléments étaient ordonnés sur une table, il eut l'idée du tableau de classification périodique des éléments (Mazzarello, 2000). Enfin, Robert Louis Stevenson aurait eu l'idée de plusieurs scènes clés de son roman « L'étrange cas du docteur Jekyll et de monsieur Hyde » après en avoir rêvé. Le sommeil favoriserait donc l'apparition de ces « bonnes idées » appelées également « insight » et développerait la créativité. Le sommeil permettrait de réorganiser notre mémoire, de faire des liens mais également de résoudre des problèmes. Dans ce chapitre nous évoquerons ces effets du sommeil sur la réorganisation des traces en présentant tout d'abord les travaux ayant mis en évidence une certaine sélectivité des informations consolidées par le sommeil. Nous décrirons également les effets du sommeil sur la créativité. Enfin nous évoquerons les études ayant mis en évidence un effet du sommeil sur l'incorporation des nouvelles informations aux informations existantes et l'extraction de règles implicites.

2.1. Sélectivité des informations consolidées

Nous sommes confrontés à de nombreuses informations au cours de notre vie et celles-ci ne sont pas toutes consolidées par le sommeil. En effet, il existe une certaine sélectivité des informations qui seront stockées à long terme. Cette sélectivité repose sur de nombreux critères (Rasch & Born, 2013). Dans un premier temps, nous avons évoqué le fait que le sommeil améliore d'autant plus les performances à une tâche de mémoire non déclarative de type tapping si les participants sont informés de l'existence de la séquence. L'effet du sommeil pourrait donc être renforcé par la manipulation de la consigne à l'encodage (Born & Wagner, 2004; E.M. Robertson, Pascual-Leone, & Miall, 2004). Il faudrait que l'apprentissage soit plus explicite et que les traces avant la période de sommeil soit fortes afin d'observer un effet de consolidation nocturne.

Cette idée de force de la trace a été confirmée par quelques études montrant que le sommeil renforce principalement les traces déjà robustes à l'encodage. Talamini et al. (2008) ont d'ailleurs montré que la consolidation du souvenir peut dépendre de la force de celui-ci au moment de l'encodage. Dans cette expérience, les participants devaient mémoriser des associations entre des visages et des localisations spatiales. Ils étaient répartis en quatre groupes selon la constitution du délai entre l'apprentissage et la récupération. Le délai pouvait être de 12 heures (d'éveil ou de sommeil) ou de 24 heures (d'éveil suivi de sommeil ou de sommeil suivi d'éveil). Les auteurs ont confirmé l'effet bénéfique du sommeil en observant de meilleures performances quand une période de sommeil intervenait entre l'apprentissage et la rétention. Ils ont également observé une diminution des performances moins importante quand le sommeil intervenait peu de temps après l'apprentissage. Les auteurs en ont conclu que peu de temps après l'apprentissage, le souvenir est encore fort et stable et sa consolidation au cours du sommeil devrait être plus importante (Talamini, Nieuwenhuis, Takashima, & Jensen, 2008). Dans la même idée, Schabus et al. (2006) ont mis en évidence une corrélation entre les fuseaux de sommeil de stade 2 et l'aptitude cognitive générale des participants (Test des matrices progressives de Raven) et des capacités mnésiques (Echelle de mémoire de Wechsler). Cette corrélation révèle une implication des fuseaux de sommeil de stade 2 avec les habiletés cognitives et mnésiques qu'il y ait eu un apprentissage avant le sommeil ou non. Les auteurs ont interprété ces résultats comme une implication plus générale des fuseaux de sommeil dont l'activité refléterait une certaine connectivité cérébrale à l'origine de meilleures

capacités cognitives et mnésiques des participants. (Schabus et al., 2006). Il faudrait d'une part que la trace soit suffisamment forte mais également que les participants aient de bonnes capacités cognitives et mnésiques afin d'optimiser l'effet du sommeil. Tucker et Fishbein ont également mis en évidence que les participants ayant obtenu les meilleures performances lors de l'apprentissage de tâches déclaratives (paires de mots, labyrinthe et figure de Rey) étaient les seuls à présenter un bénéfice de la sieste suivant l'apprentissage (Tucker & Fishbein, 2008). Le sommeil permettrait donc de renforcer des traces qui sont déjà particulièrement robustes à l'encodage.

Cependant, certaines études ont montré qu'au contraire, le sommeil aurait un effet sur les traces les plus faibles. En manipulant la force de l'encodage Drosopoulous et al. (2007) ont montré que l'amélioration après le sommeil était observée pour les items ayant bénéficié d'un encodage moins intensif (Drosopoulos, Schulze, Fischer, & Born, 2007). Ces résultats contradictoires laissent supposer que le sommeil permet également de renforcer des informations qui n'auraient pas été suffisamment bien encodées à l'apprentissage. De ce fait, le bénéfice du sommeil pourrait dépendre de la difficulté de la tâche. En utilisant une tâche de tapping dont la complexité et la longueur étaient manipulées, Kuriyama et collaborateurs ont observé un gain du sommeil plus important si la tâche était complexe et longue (Kuriyama, Stickgold, & Walker, 2004). Le sommeil pourrait alors dans certains cas avoir un effet positif sur les informations les plus robustes mais dans d'autres situations, il pourrait plutôt renforcer les informations les plus faibles. Il se pourrait alors que la plasticité cérébrale nécessaire à la consolidation de ces traces plus faibles soit particulièrement renforcée au cours du sommeil.

Le caractère émotionnel des informations pourrait constituer un autre critère important, mais à nouveau, il n'existe pas de consensus. Certaines études ont montré un renforcement des informations émotionnelles par rapport aux informations neutres après une période de sommeil comparé à une période d'éveil (Javadi, Walsh, & Lewis, 2011; Payne & Kensinger, 2011). Cependant, d'autres études ont montré qu'il n'y avait pas d'amélioration des informations émotionnelles après le sommeil (Baran, Pace-Schott, Ericson, & Spencer, 2012; Lewis, Cairney, Manning, & Critchley, 2011). Toutefois, dans la dernière expérience, les auteurs avaient manipulé le contexte émotionnel associé aux items en utilisant des images représentant des scènes émotionnelles ou neutres en arrière plan. On pourrait donc manipuler le contexte des informations à mémoriser afin de voir si celui-ci influence la consolidation nocturne.

Spencer et al. (2006) ont montré une influence du contexte sur la consolidation mnésique d'un apprentissage implicite. Dans cette expérience, les participants réalisaient une tâche de temps de réaction sériel dans laquelle les cibles étaient de couleurs différentes. Les participants étaient répartis dans trois groupes selon le type d'apprentissage qu'ils avaient à effectuer. L'apprentissage explicite consistait à répondre à la localisation de chacune des cibles, les participants étant informés de l'existence d'une séquence cachée. L'apprentissage implicite non contextuel consistait à répondre également à la localisation des cibles mais les participants n'étaient pas informés de la séquence cachée. Enfin, l'apprentissage implicite contextuel consistait à répondre à la couleur des cibles et non pas à la localisation. Cependant, la séquence cachée liée à la localisation était corrélée à la séquence liée aux couleurs. Dans cette dernière condition, si les participants avaient effectué un apprentissage implicite du lien entre les localisations et les couleurs alors une violation de la séquence d'apparition des localisations entraînait une augmentation des temps de réaction pour le traitement des couleurs. Les participants pouvaient avoir une période de sommeil ou d'éveil entre l'apprentissage et la récupération. En comparant les deux conditions implicites, les auteurs ont mis en évidence un apprentissage implicite après le sommeil uniquement pour la condition contextuelle. La consolidation mnésique serait donc plus efficace pour les informations présentées avec un contexte (R. M. C. Spencer, Sunm, & Ivry, 2006). Dans une autre expérience étudiant l'effet du sommeil sur la consolidation du contexte en lui même, un poster était affiché sur le mur faisant face aux participants pendant l'apprentissage de listes de mots. Les participants devaient mémoriser deux listes de mots, chacune étant présentée avec un poster différent. Les participants ayant eu une sieste après l'apprentissage avaient une meilleure récupération des informations contextuelles (dire quel poster était affiché) comparés aux participants n'ayant pas eu de sieste. Les auteurs ont interprété cet effet bénéfique du sommeil sur les informations contextuelles par le fait que la consolidation nocturne repose essentiellement sur la réactivation neuronale au sein de l'hippocampe qui a par ailleurs, un rôle intégratif permettant de lier les informations à leur contexte (Van der Helm, Gujar, Nishida, & Walker, 2011). Cependant, une étude récente, utilisant un paradigme d'induction émotionnelle a montré au contraire que le sommeil délierait les informations de leur contexte émotionnel. En effet, onze jours après l'induction, l'effet de celle-ci n'était plus observé chez les participants qui avaient eu une période de sommeil après l'apprentissage comparés aux participants privés de sommeil (Deliens, Gilson, Schmitz, & Peigneux, 2013). De ce fait, les liens entre le sommeil et le renforcement du contexte ne sont pas tout à fait clairs. Il est vrai que la définition du contexte regroupe de nombreux éléments. Le contexte manipulé peut être

directement lié aux stimuli encodés ou alors lié au participant comme dans le cas d'une induction émotionnelle. Dans ce cas, dans quelle mesure les aspects plus individuels tels que la motivation peuvent intervenir dans la consolidation mnésique ?

Certaines études ont montré que l'amélioration des performances était plus importante pour les informations dont la rétention était associée à une récompense (Fischer & Born, 2009). Dans cette expérience les participants apprenaient deux séquences de tapping. A l'apprentissage d'une des deux séquences, ils étaient informés qu'ils obtiendraient une récompense dépendant de leurs performances au retest. Le délai entre l'apprentissage et le retest était constitué d'éveil ou de sommeil. Le gain de performance dû au sommeil était plus important pour la séquence associée à la récompense par rapport à l'autre séquence. La promesse d'une récompense au moment de l'apprentissage module donc les informations consolidées au cours de la nuit, ce qui ajoute un aspect motivationnel à la sélectivité de la consolidation mnésique. Un autre aspect motivationnel influençant la consolidation serait la pertinence c'est à dire le fait que les informations à mémoriser vont avoir une certaine utilité dans le futur. Ainsi, Diekelmann et al., (2013) ont informé les participants au moment de l'apprentissage d'une tâche à réaliser deux jours après. La totalité des participants ayant eu une période de sommeil après l'apprentissage se sont rappelés la tâche à effectuer contre 60% ayant eu une privation de sommeil (Diekelmann, Wilhelm, Wagner, & Born, 2013). Le sommeil permettrait donc de consolider préférentiellement les informations qui sont importantes pour de futures actions (Scullin & McDaniel, 2010; Wilhelm et al., 2011). De la même manière on peut manipuler la pertinence en utilisant une consigne demandant de mémoriser certains items et d'en oublier d'autres. Le sommeil permet de renforcer les items à rappeler mais en revanche, il ne facilite pas la suppression des items à oublier (Abel & Bäuml, 2012; Fischer, Diekelmann, & Born, 2011). De plus cette différence au niveau comportemental s'accompagne d'une différence d'activation cérébrale dans l'hippocampe entre les items à mémoriser et les items à oublier au moment de l'encodage. Cette différence d'activation permettrait de marquer les souvenirs en induisant une réactivation qualitativement différente des items à mémoriser et des items à oublier pendant le sommeil subséquent (Rauchs et al., 2011).

Il existe donc plusieurs critères pouvant influencer les informations qui bénéficieront d'une consolidation nocturne de celles qui n'en bénéficieront pas (Tableau 1).

Tableau 1. Tableau récapitulatif des critères pouvant influencer la sélectivité des informations au cours du sommeil.

Consigne	Explicite	Born & Wagner, 2004 Robertson et al., 2004
Force de la trace	Forte	Talamini et al., 2008 Schabus et al., 2006 Tucker et Fishbein, 2008
	Faible	Drosopoulos et al., 2007 Kuriyama et al., 2004
Emotion	Matériel émotionnel	Javadi et al., 2011 Payne et Kensinger, 2011
Contexte	Couleur du matériel	Spencer et al., 2006
	Environnement	Van der Helm et al., 2011
Motivation	Récompense	Fischer et Born, 2009
	Pertinence	Diekelmann et al., 2013 Scullin et McDaniel, 2010 Wilhelm et al., 2011

Le sommeil ne permet donc pas de consolider toutes les informations de façon égale. Au delà de cette sélectivité, la réorganisation des traces mnésiques se manifeste par un effet bénéfique du sommeil sur la créativité.

2.2. Sommeil et créativité

La créativité a été définie comme la capacité à produire un travail qui soit à la fois original et approprié c'est-à-dire utile ou adapté à la tâche à réaliser (Dietrich, 2004). Cai et al., (2011) ont réalisé une expérience dans laquelle on présentait trois mots aux participants (par exemple : COOKIE, SIXTEEN, HEART). Leur tâche était de trouver un mot qui pourrait constituer un lien entre les trois mots présentés (par exemple ici la réponse correcte était SWEET : le cookie est sweet (sucré), on peut former l'association sweet sixteen pour parler du 16^{ème} anniversaire et on peut former le mot sweetheart en combinant les mots sweet et heart). La réponse à cette question était considérée comme une réponse créative car nécessitant une certaine réflexion, les premières réponses venant à l'esprit étant souvent incorrectes. Les participants ayant une sieste composée principalement de sommeil paradoxal entre les deux sessions présentaient un pourcentage d'amélioration plus important pour la tâche (Cai, Mednick, Harrison, Kanady, & Mednick, 2009). Cette implication du sommeil

dans le développement de solutions créatives a été confirmée dans une expérience utilisant un paradigme d'indigage sensoriel. La diffusion d'une odeur lors de la présentation d'un problème nécessitant une solution créative, et la re-présentation de cette même odeur durant le sommeil subséquent, favorise la génération de réponses créatives (Ritter, Strick, Bos, van Baaren, & Dijksterhuis, 2012). Le sommeil permet donc l'apparition de réponses dites créatives en favorisant les liens entre les traces mnésiques et permettant l'émergence des solutions. Cet effet pourrait être dû au sommeil paradoxal qui renforcerait l'association entre les traces encodées mais également au sommeil lent qui permettrait le lien avec les traces déjà présentes en mémoire.

Dans la lignée des travaux sur le sommeil et la créativité, des études ont montré un effet bénéfique du sommeil sur la mémoire associative. Dans l'étude de Lau et collaborateurs, les participants devaient apprendre deux ensembles de stimuli constitués d'associations entre des visages et des objets. Dans les deux ensembles les objets étaient les mêmes de sorte que chaque objet était associé à deux visages différents à l'apprentissage. Après l'apprentissage, les participants pouvaient ou non avoir une sieste d'une heure et demie. La tâche réalisée au réveil consistait à lier les visages qui avaient été présentés aux mêmes objets à l'apprentissage. Les participants qui avaient dormi avaient de meilleures performances que les participants restés éveillés sur la même période. De plus, on pouvait observer une corrélation entre les performances et la quantité de sommeil lent. Le sommeil lent avait permis de lier des items qui n'avaient jamais été présentés ensemble en favorisant la généralisation de l'élément commun entre les deux items et donc la transitivité (Lau, Tucker, & Fishbein, 2010). Selon le même principe, Stickgold et al (1999) ont étudié l'effet du sommeil sur les associations sémantiques. Les participants apprenaient des associations entre des mots qui pouvaient être fortement reliés sémantiquement, faiblement reliés ou non reliés. Il voyaient d'abord le premier mot de l'association puis le second et devait effectuer une tâche de décision lexicale sur le second mot. Durant le délai, les participants pouvaient être réveillés pendant le sommeil lent et le sommeil paradoxal ou pendant le sommeil paradoxal uniquement. L'hypothèse était que si le sommeil paradoxal favorise la mémoire associative via les rêves alors une perturbation du sommeil paradoxal devrait entraîner une réduction des performances sur les paires fortement liées sémantiquement. De façon surprenante, les auteurs ont observé une facilitation pour les paires de mots faiblement liés quand le sommeil paradoxal était perturbé. Ils en ont donc conclu que le sommeil paradoxal, du fait de son caractère hyper-associatif favoriserait les associations « bizarres ». Ces expériences apportent quelques arguments quant à l'effet du sommeil sur l'émergence de réponses créatives.

2.3. Sommeil et incorporation lexicale

L'incorporation d'un nouveau vocabulaire a été principalement mis en évidence à l'aide d'un paradigme d'intégration lexicale (Gaskell & Dumay, 2003). Dans ce paradigme, les participants devaient apprendre des mots nouveaux dérivés de mots de « base » existant dans le vocabulaire. Les mots nouveaux et les mots de base possédaient donc des phonèmes communs (par exemple, le mot de base CATHEDRAL et le mot nouveau CATHEDRUKÉ). L'hypothèse sous-jacente était que si le mot nouveau est incorporé au lexique mental des participants alors il devrait entrer en compétition avec les mots existant déjà dans le lexique et notamment le mot de base. Afin d'évaluer la compétition lexicale, les auteurs ont utilisé une tâche de lexicalisation dans laquelle les mots de base étaient présentés à l'oral et les participants devaient indiquer si une pause était présente ou non dans le mot. L'hypothèse était que si le mot nouveau avait été incorporé au lexique mental, les participants devraient être plus lents à répondre. Les résultats de cette étude ont montré que les participants présentaient un effet de compétition après un délai de 12 heures constitué de sommeil comparé à un délai équivalent constitué d'éveil. La période sommeil avait donc permis aux participants d'incorporer le nouveau vocabulaire de telle sorte qu'il était confronté au vocabulaire déjà présent en mémoire. (Dumay & Gaskell, 2007).

Dans une autre étude de Lindsay & Gaskell (2009), la compétition lexicale entre les mots nouveaux et les mots de base a été évaluée à l'aide d'une tâche de décision lexicale. Les auteurs présentaient oralement aux participants des mots de base, des mots contrôles (mots de base sans mot nouveau associé), des mots distracteurs et des non mots et ils devaient indiquer si le mot entendu était un mot ou non. Les participants réalisaient 5 sessions de test après l'apprentissage, les sessions 2, 3 et 4 avaient lieu le même jour que l'apprentissage et la session 5 se déroulait 24 heures après la session 4. Les participants présentaient un effet de compétition lexicale, se traduisant par un ralentissement pour les mots de base par rapport aux mots contrôles. Ce ralentissement apparaissait dès la session 3 mais était plus important à la session 5. Les auteurs en ont conclu que ces résultats étaient cohérents avec une incorporation des items au cours du sommeil. Cependant, le simple passage du temps pourrait également expliquer les performances puisque dans cette étude il n'y avait pas de comparaison directe entre une période de sommeil et une période d'éveil. Cette étude apporte tout de même quelques précisions quant au rôle du sommeil pour l'incorporation de nouvelles connaissances aux traces existantes. Le sommeil pourrait constituer une étape importante mais

non nécessaire à ce processus (Lindsay & Gaskell, 2009). Tamminen et al. (2010) ont mis en évidence un lien entre l'incorporation lexicale d'un nouveau vocabulaire et le sommeil lent et plus précisément le nombre de fuseaux de sommeil. En effet les auteurs ont observé une corrélation positive entre l'apparition de la compétition lexicale et le nombre de fuseaux de sommeil. Ces résultats indiquent que les fuseaux de sommeil pourraient être impliqués dans l'incorporation lexicale (Tamminen, Payne, Stickgold, Wamsley, & Gaskell, 2010).

Plus récemment l'incorporation des items nouvellement encodés au sein des traces plus anciennes a été mise en évidence pour les concepts sémantiques. Ainsi les participants étaient confrontés à des mots fictifs (non mots) associés à de nouveaux concepts sémantiques (par exemple « une abeille dont la pique ne fait pas mal »). Ces nouveaux concepts pouvaient être associés à de nombreux concepts présents en mémoire, par exemple le concept « abeille » (densité sémantique forte). Ces concepts pouvant également être associés à peu de concepts en mémoire comme par exemple le concept « selle » (densité sémantique faible). Ce type de paradigme permettait de vérifier l'hypothèse selon laquelle si les nouveaux concepts sont incorporés en mémoire alors dans la condition de densité sémantique forte, ils devraient être en compétition avec davantage de mots. Les participants avaient trois sessions de test pour chaque condition de densité. Une session d'apprentissage le soir (session 1), une session test le lendemain après une période de sommeil (session 2) et une session test une semaine après (session 3), ces trois sessions étant réalisées pour la condition de densité forte puis pour la condition de densité faible. Durant chacune des sessions, ils réalisaient plusieurs tâches sur les mots nouveaux permettant de mesurer la compétition lexicale : une tâche de catégorisation vivant/non vivant ; une tâche de jugement de synonyme où ils devaient choisir parmi trois propositions le mot associé sémantiquement au mot nouveau présenté ; une tâche de lecture à haute voix et une tâche d'identification suite à un démasquage progressif (le mot était présenté après un masque et ils devaient indiquer le moment où le mot devenait identifiable). Les résultats ont montré une diminution globale des temps de réponse au fur et à mesure des sessions. Cette diminution était cependant moins rapide pour les mots à densité forte. Ainsi, les temps de réponse étaient globalement plus longs pour les mots à densité forte par rapport aux mots à densité faible pour les tâches de lecture à voix haute et de jugement de synonyme. De façon intéressante, les temps de réponse étaient plus longs pour les mots à densité forte par rapport aux mots à densité faible pour la tâche de catégorisation vivant/non vivant à partir de la session 3 qui avait lieu une semaine après. Ces résultats révélaient que la compétition lexicale entre les nouveaux concepts et les concepts déjà présents en mémoire apparaissait selon un délai variable pouvant aller jusqu'à une semaine. L'intégration de ces nouveaux

concepts aux concepts existants serait liée à l'activité des oscillations de fuseaux de sommeil au cours du sommeil lent. En effet, la densité des fuseaux de sommeil était plus importante pour les mots à densité faible (Tamminen, Lambon Ralph, & Lewis, 2013). Il se pourrait alors que la mise en place de l'incorporation soit liée à une consolidation plus systémique dépendant d'un dialogue entre l'hippocampe et le néocortex, représenté par l'activité des fuseaux de sommeil. Les processus mis en jeu au cours du sommeil permettraient donc de réorganiser la mémoire en incorporant les traces nouvellement encodées aux traces déjà présentes mais ces processus pourraient également permettre l'émergence de règles probabilistes.

2.4. Sommeil et extraction de règles

De nombreux travaux ont montré que les processus de réorganisation des traces mnésiques pendant le sommeil permettaient d'extraire des règles probabilistes des informations encodées. Dans une expérience de Durrant et al (2011), les participants devaient apprendre des sons constitués de plusieurs tonalités organisées selon une séquence probabiliste. Par la suite, ils devaient réaliser une tâche de reconnaissance durant laquelle on leur présentait de nouvelles séquences et ils devaient indiquer si oui ou non ces nouvelles séquences étaient familières. Les performances à la tâche de reconnaissance étaient meilleures s'il y avait une période de sommeil après l'apprentissage par rapport à une période d'éveil (Durrant, Taylor, Cairney, & Lewis, 2011). Dans une expérience plus récente menée par Nieuwenhuis et al. (2013), les participants réalisaient une phase d'étude au cours de laquelle ils étaient confrontés à des séquences de consonnes suivant une règle grammaticale. Après un délai de 15 minutes, 12 heures ou 24 heures, les participants devaient indiquer si de nouvelles séquences étaient grammaticales ou non. Les auteurs ont manipulé la grammaticalité des nouvelles séquences (grammaticales vs non grammaticales) et la fréquence d'apparition de certaines parties (chunk) constituant ces séquences (forte vs faible). Les performances au test étaient meilleures après un délai contenant une période de sommeil par rapport à une période d'éveil. Ces résultats étaient dus à la discrimination de la grammaticalité entre les séquences et pas à l'identification de parties similaires. Les auteurs en ont conclu que les performances s'expliquaient par l'extraction de la règle et la généralisation de celle-ci à de nouvelles

séquences (Nieuwenhuis, Folia, Forkstam, Jensen, & Petersson, 2013). A nouveau, il semblerait que cette généralisation de règles à un nouveau matériel soit principalement liée au sommeil lent (Durrant et al., 2011).

La capacité des participants à extraire des règles communes à plusieurs éléments présentées leur permet de faire des inférences. Ainsi, Ellenbogen et al. (2007) ont réalisé une expérience dans laquelle ils ont cherché à comprendre l'effet du sommeil sur une mémoire qu'ils décrivent comme « relationnelle ». Ils ont présenté aux participants des textures abstraites. Ces textures étaient présentées deux à deux et les participants devaient en choisir une. Après la sélection, il y avait un feedback indiquant aux participants si oui ou non ils avaient effectué le bon choix. Les règles guidant les choix d'une texture par rapport à une autre étaient implicites mais correspondaient à des relations de grandeur. Par exemple, la texture A devait toujours être choisie quand elle était présentée avec la texture B ($A > B$) et ainsi de suite $B > C$ et $C > D$. Après une période d'éveil ou de sommeil, les participants réalisaient à nouveau la tâche avec des éléments qui n'avaient jamais été présentés ensemble, avec des relations à un degré de différence (B et D par exemple) ou des relations à deux degrés de différence (A et D par exemple). Les relations à un degré de différence étaient réalisables peu importe la constitution du délai mais seul le sommeil permettait la mise en place de relations à deux degrés de différence. Le sommeil permettrait l'émergence de règles de relations et leur application à de nouveaux éléments en favorisant la transitivité (Ellenbogen, Hu, Payne, Titone, & Walker, 2007). Cet effet serait encore plus important s'il y avait renforcement à l'apprentissage avec des feedback plus saillants, comme par exemple des smiley colorés indiquant les bonnes et mauvaises réponses (Werchan & Gómez, 2013).

L'émergence de règles cachées grâce à une période de sommeil a également pu être mise en évidence en utilisant des tâches dites de temps de réaction sériel (Nissen & Bullemer, 1987; Willingham, Nissen, & Bullemer, 1989). Dans une tâche de temps de réaction sériel, les participants doivent répondre à l'apparition d'une cible en appuyant sur le bouton correspondant. L'apparition de la cible se fait selon plusieurs séquences répondant à des règles de probabilité. Dans ce type de tâche, les participants ont des temps de réaction de plus en plus courts révélant un apprentissage implicite des séquences. Deux types de savoirs ont été décrits comme émergeant de ce type de tâche. Tout d'abord un savoir implicite se manifestant par une brusque augmentation des temps de réaction suite à la présentation d'une séquence répondant à une nouvelle règle. Les participants peuvent également développer un savoir explicite quand on leur demande, dans une tâche de génération, de produire eux-mêmes

des séquences et qu'ils obtiennent des performances supérieures au hasard (Cleeremans & McClelland, 1991; Jiménez, Méndez, & Cleeremans, 1996). Fischer et al. (2006) ont cherché à comprendre quel pouvait être l'effet du sommeil sur cette tâche de temps de réaction sériel. Ils ont constaté que seuls les participants qui avaient dormi entre l'apprentissage et le test avaient des performances supérieures au hasard pour la tâche de génération par rapport aux participants restés éveillés (Fischer, Drosopoulos, Tsen, & Born, 2006). En utilisant le même type de tâche, Drosopoulos et al. (2011) ont manipulé les consignes en informant les participants avant l'apprentissage de l'existence de règles de probabilité et ont comparé les performances entre un groupe éveil et un groupe sommeil. Ils ont montré que le simple fait d'informer les participants leur permettait d'avoir accès à un savoir explicite sans que cela soit dû au sommeil puisqu'il n'y avait pas de différence entre les deux groupes pour la tâche de génération quand ils avaient eu la consigne explicite. Ils en ont conclu qu'on pourrait observer l'émergence d'une connaissance explicite à l'éveil en informant simplement les participants de l'existence des règles. En revanche, pour observer l'émergence d'un savoir explicite à partir de la seule confrontation avec le matériel, une période de sommeil est nécessaire. Il est important tout de même de noter que les participants qui développaient un savoir explicite leur permettant de réaliser la tâche de génération n'étaient pas capables de donner verbalement les règles grammaticales (Drosopoulos, Harrer, & Born, 2011). La connaissance émergeant après le sommeil ne serait donc pas tout à fait une connaissance explicite car elle ne peut pas être « verbalisée » par les participants. Ces études semblent donc montrer qu'il y a une modification de la trace au cours du sommeil permettant d'extraire une connaissance qui n'est plus implicite mais qui n'est pas tout à fait explicite, sur la base de règles acquises implicitement.

Dans la continuité de cette extraction de règles implicites après une période de sommeil, des études se sont intéressées à la résolution de problèmes en utilisant une tâche de réduction de nombres (Wagner, Gais, Haider, Verleger, & Born, 2004). Pour ce type de tâche, les participants doivent transformer une séquence de chiffres en une nouvelle séquence en suivant un certain nombre de règles. L'objectif de la tâche était d'indiquer la solution finale correspondant au dernier chiffre de la séquence à compléter. Cependant, il existe une règle cachée qui permet d'aboutir à la solution beaucoup plus rapidement. En effet, le dernier chiffre de la séquence à compléter est identique au second chiffre de la série. Ainsi, le sujet pourrait compléter la solution dès le deuxième chiffre (voir Figure 4). Lorsqu'une période de sommeil sépare l'apprentissage et le test on constate que le pourcentage de participants

développant un insight, c'est-à-dire le pourcentage de participants découvrant la règle cachée est deux fois plus important qu'après une période d'éveil (Wagner et al., 2004).

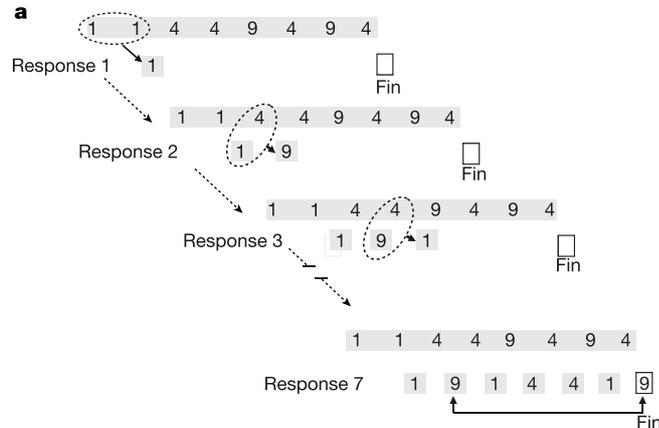


Figure 4. Représentation de la tâche de réduction de nombres (NRT : Number Reduction Task) tirée de Wagner et al., 2004. Dans cette tâche la première séquence permet de créer une deuxième séquence de nombre selon une succession de règles. Le deuxième chiffre de la séquence à compléter représente la solution du problème (réponse 7 présentée sur la figure).

Ce type de tâche permet donc de mettre en évidence un effet du sommeil sur la résolution de problème en favorisant l'apparition d'insight. De plus, ce gain d'insight pour la tâche de réduction de nombres serait lié au sommeil lent. En effet le pourcentage de participants développant un insight après le sommeil est significativement plus important pour la groupe ayant dormi la première moitié de la nuit, riche en sommeil lent profond (Yordanova et al., 2008). Les auteurs ont par ailleurs confirmé dans une autre étude que l'apparition d'insight serait surtout liée l'activité alpha du sommeil lent profond (activité cérébrale entre 8 et 12 Hz). L'activité alpha était plus importante chez les participants ayant présenté un insight après le sommeil que chez les autres participants (Yordanova, Kolev, Wagner, Born, & Verleger, 2012; Yordanova, Kolev, Wagner, & Verleger, 2010). D'autres auteurs ont mis en évidence l'implication du sommeil paradoxal dans la réalisation d'une tâche d'anagrammes de mots. Les participants réalisaient une tâche de résolution d'anagrammes de mots avant le coucher. Au cours de la nuit, ils pouvaient être réveillés pendant le sommeil paradoxal (seconde phase de sommeil paradoxal) ou pendant le sommeil lent (quatrième phase de sommeil lent) afin de réaliser à nouveau la tâche. Puis les participants étaient retestés à nouveau le matin. Les participants ayant été réveillés pendant le sommeil paradoxal avaient résolu 32% d'anagrammes en plus par rapport aux participants

réveillés pendant le sommeil lent. Les auteurs en ont conclu que les réveils pendant le sommeil paradoxal pour réaliser à nouveau la tâche permettaient de renforcer les performances par la suite suggérant que le sommeil paradoxal pourrait intervenir dans la résolution des anagrammes. (Walker, Liston, Hobson, & Stickgold, 2002). Le sommeil fournirait donc des conditions optimales permettant l'extraction de règles implicites et la résolution de problèmes.

Tous les phénomènes de sélectivité des traces consolidées par le sommeil, d'émergence de solutions créatives, d'incorporation lexicale, d'extraction de règles et d'apparition d'insight mettent en exergue un rôle spécifique du sommeil dans la réorganisation des traces mnésique. Cette réorganisation a été décrite comme résultant de deux types de processus : un processus d'incorporation et un processus d'extraction de règles. L'incorporation des nouvelles informations aux informations existantes permet d'expliquer les processus d'incorporation lexicale. L'extraction de règles communes à plusieurs informations permet de rendre compte de phénomènes tels que les faux souvenirs, l'extraction de « l'idée générale » (ou de la « gist ») et l'application des règles extraites à de futures informations (Stickgold & Walker, 2013; Stickgold, 2013) pouvant expliquer les effets du sommeil sur la créativité, l'insight et la résolution de problèmes (Figure 5).

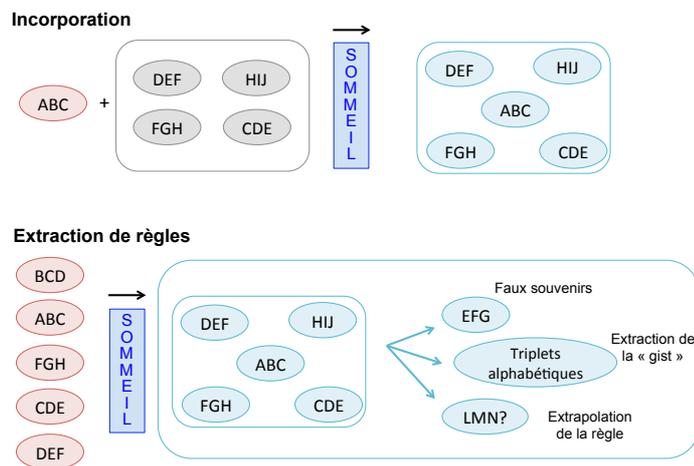


Figure 5. Représentation de l'incorporation et de l'extraction de règles après une période de sommeil.

Illustration de Stickgold & Walker 2013.

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, la littérature s'intéressant aux liens entre sommeil et mémoire se base en grande majorité sur les modèles classiques de la mémoire. Cependant, ces modèles sont limités quant à la description de l'ensemble des

processus de réorganisation des traces mnésiques décrits ci-dessus. Dans le cadre des modèles classiques, si le sommeil permet d'extraire une règle implicite de façon à ce qu'elle devienne explicite, cela sous-tendrait un transfert du souvenir d'un système de mémoire implicite à un système explicite. Or les systèmes sont décrits comme étant indépendants les uns des autres, ce qui ne permet pas un tel transfert. Supposons tout de même qu'un tel transfert soit possible, les auteurs précisent que la règle extraite après une période de sommeil n'est pas suffisamment explicite pour être verbalisable par les participants (Drosopoulos et al., 2011; Fischer et al., 2006). Dans ce cas, dans quel système serait stockée cette connaissance « intermédiaire » ? Les modèles classiques sont également limités dans la compréhension même des processus mnésiques qui sous-tendent la réorganisation des traces. Il est en effet, difficile d'expliquer les processus d'incorporation et d'extraction de règles évoqués ci-dessus à la lumière de ces modèles. Les modèles fonctionnels de la mémoire constituent une alternative intéressante afin d'expliquer les phénomènes de consolidation et de réorganisation des traces mnésiques. Dans le chapitre suivant, nous présenterons ces modèles fonctionnels et tenterons d'expliquer les phénomènes observés au cours du sommeil par un modèle fonctionnel original : le modèle Act-In.

En Résumé

La réactivation et la réorganisation des patterns neuronaux observées au cours du sommeil se manifestent au niveau comportemental par une réorganisation des traces mnésiques. Dans un premier temps, de nombreuses expériences ont mis en évidence une sélectivité des informations encodées. En effet, toutes les informations auxquelles nous sommes confrontés ne sont pas consolidées de la même manière. La sélectivité des informations consolidées au cours du sommeil peut dépendre par exemple de la force de la trace à l'encodage, du caractère émotionnel des informations, du contexte ou de la motivation des individus. Le sommeil renforcerait particulièrement les informations pertinentes pour le sujet. Le sommeil a donc un rôle fortement adaptatif permettant de répondre à des besoins futurs mais il permet également de favoriser la créativité. La réorganisation des traces mnésiques serait sous-tendue par une incorporation des nouvelles informations aux informations déjà présentes en mémoire mais également par une extraction de règles communes. La trace encodée serait donc modifiée, confrontée aux traces existantes afin d'en extraire des similitudes et de les appliquer à de nouvelles informations ce qui permettrait les apprentissages probabilistes, les inférences et la résolution de problèmes.

La majorité des expériences s'intéressant aux processus de consolidation mnésique est inscrite dans le cadre des modèles classiques de la mémoire. Cependant ces modèles nous semblent limités pour décrire les processus en jeu dans la réorganisation des traces mnésiques. Selon ces modèles, l'émergence à la conscience d'une règle implicite observée après une période de sommeil s'expliquerait par un transfert d'un système à un autre. Or la définition des systèmes de mémoire dans les modèles classiques sous-tend une indépendance qui ne permettrait pas un tel transfert. Les modèles fonctionnels de mémoire, et notamment le modèle Act-In nous semblent constituer une alternative intéressante aux modèles classiques.

Chapitre 3

Un cadre théorique original : le modèle Act-In

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, les modèles classiques ne nous semblent pas suffisants pour décrire l'organisation de la mémoire. En effet, ces modèles structuraux proposent une mémoire organisée sous forme de sous-systèmes au sein desquels des représentations amodales sont stockées. Or, comme nous l'avons abordé, ces modèles conduisent à une multiplication des systèmes en fonction du type de connaissances et présentent quelques limites. La description de la mémoire dans le domaine de la psychologie cognitive a beaucoup évolué en proposant une description plus fonctionnelle. Ainsi la récupération implicite ou explicite d'une information a été décrite comme reposant sur deux processus : la recollection et la familiarité. La recollection impliquerait la récupération consciente de l'information en mémoire, l'individu se souvenant explicitement de l'information (réponse « remember »). La familiarité évoquerait une récupération plus implicite des informations basée sur le sentiment de familiarité, l'individu sait qu'il a vu l'information mais ne peut en fournir les détails (réponse « know ») (Jacoby, 1991). Ces notions de recollection et de familiarité amènent une représentation plus fonctionnelle de la mémoire où sont décrits les processus impliqués dans les activités mnésiques et non plus les systèmes. Cowan propose notamment un modèle de mémoire unique au sein duquel la différence entre les connaissances s'exprime par un état d'activation différent. Il décrit la mémoire à court terme comme étant un état actif de la mémoire à long terme (Cowan, 1993; Cowan, 1988). Ces modèles « systèmes uniques » se focalisent sur le rôle de la mémoire et les processus impliqués dans les activités mentales plutôt que la structure et le contenu de la mémoire comme le font les modèles structuraux. Les modèles fonctionnels dits à « traces multiples » (e.g., Hintzman, 1986; Logan, 1988; Whittlesea, 1987) proposent par ailleurs, une description de la mémoire composée d'un système unique de mémoire à long terme contenant des traces pour tous les événements de la vie d'un individu. Les connaissances ne sont plus définies par leur contenu mais vont émerger en fonction de la situation dans laquelle se trouve l'individu. Ces modèles à traces multiples proposent un point de vue original par rapport aux

modèles classiques pour aborder la mémoire. Nous allons dans un premier temps décrire les différents modèles à traces multiples. Ces modèles proposent une vision de la mémoire qui a permis l'émergence d'une approche incarnée de la cognition basée sur plusieurs principes que nous évoquerons. Enfin, nous présenterons un modèle à traces multiples particulier, le modèle Act-In et tenterons de le mettre en lien avec les résultats observés dans la littérature sur les liens entre mémoire et sommeil en décrivant plus précisément les processus mnésiques impliqués dans la consolidation mnésique nocturne.

3.1. Les modèles à traces multiples

Comme nous l'avons évoqué, les modèles à traces multiples postulent l'existence d'un seul système de mémoire à long terme conservant une trace de tous les événements de la vie d'un individu. Dans ces modèles, les traces sont par définition épisodiques, car elles contiennent toutes les caractéristiques de l'événement encodé et sont ancrées dans un cadre spatio-temporel précis. Les traces sont également multidimensionnelles car elles contiennent toutes les dimensions sensori-motrices des souvenirs. Les connaissances sont donc issues (émergent) de l'activation de multiples traces d'expériences passées à partir de la situation présente. Selon ces modèles pour chaque événement de la vie d'un individu, une trace est construite et le contenu de cette trace varie en fonction du degré d'intégration entre les différentes dimensions qui la constituent (Whittlesea, 1987). Un traitement sera de plus en plus automatique si le nombre de traces qui lui est associé est important. Dès lors deux notions importantes se dégagent de ces modèles. D'une part, l'encodage est automatique car toutes les situations donnent lieu à la création d'une trace. D'autre part, la récupération est également automatique car une situation donnée donne lieu à la réactivation de toutes les traces associées (Logan, 1988).

Le modèle Minerva 2 de Hintzman (1986) propose une modélisation d'un modèle à traces multiples et des processus impliqués lors de la récupération des informations. Tout comme les autres modèles, ce modèle propose la création d'une trace pour chaque événement. Quand l'individu se trouve dans une situation donnée appelée « sonde » un certain nombre de traces sera activé en fonction de leur similarité avec la sonde. Ces traces activées vont représenter « l'écho » dont le contenu dépend des traces activées par la sonde (Figure 6). La

connaissance (écho) émerge donc en fonction de la situation dans laquelle se trouve l'individu (sonde). La nature des connaissances dépend de la constitution de l'écho, les connaissances épisodiques émergent si l'écho est constitué d'un nombre restreint de traces alors que les connaissances sémantiques émergent si l'écho est constitué d'un grand nombre de traces. Par exemple, se rappeler de ses dernières vacances entraîne la réactivation d'un nombre restreint de traces liées à cet événement en particulier. En revanche la capacité à dire qu'un chat est animal découle de la réactivation de tous les événements où l'on a pu être confronté à un chat.

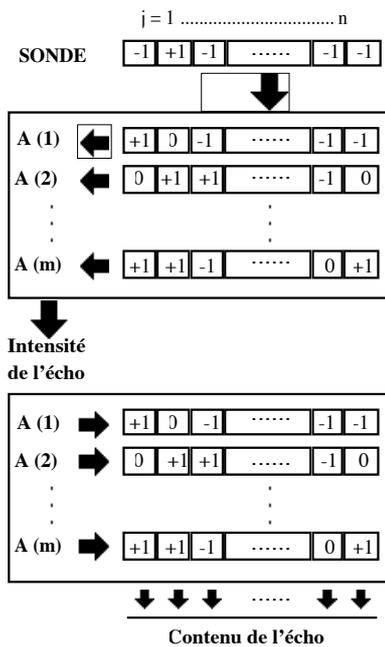


Figure 6. Représentation du modèle Minerva 2 de Hintzman. Figure tirée de Versace & al., 2002.

Ces modèles à traces multiples proposent une organisation de la mémoire basée sur les processus impliqués dans l'émergence des connaissances. Ces modèles ont plusieurs conséquences sur une vision plus générale de la cognition. Plusieurs principes découlant des modèles à traces multiples ont d'ailleurs été décrits dans l'approche incarnée de la cognition.

3.2. Quelques principes de la cognition incarnée (ou située)

La cognition incarnée est une approche de la cognition décrite depuis plusieurs années qui propose l'idée selon laquelle l'activité cognitive ne peut être pensée en dehors du corps et de son interaction avec l'environnement (cognition incarnée). Elle va donc dépendre de la situation dans laquelle se trouve l'individu et va être ancrée dans les processus sensori-moteurs correspondant à des situations et à des contextes précis (cognition située) (Borghi & Pecher, 2011; Wilson, 2002). Cette approche de la cognition se base sur plusieurs principes s'appuyant sur des études comportementales ainsi que sur des études en imagerie.

Les représentations ne sont pas amodales.

Les théories classiques de la cognition proposaient un système cognitif au sein duquel seraient stockées des représentations, des concepts ou des connaissances amodales. Cependant de nombreuses études ont montré que les connaissances sont stockées dans des réseaux cérébraux distribués dans les cortex sensoriels et moteurs. Ainsi, Martin et al. (1996) ont mis en évidence dans une étude de tomographie par émission de positons que la dénomination d'images d'animaux activait des régions du lobe occipital alors que la dénomination d'images d'outils activait les aires pré-motrices (Martin, Wiggs, Ungerleider, & Haxby, 1996). D'autres études ont plus récemment confirmé cette idée que les informations sont stockées de façon multimodales et que les propriétés sensorielles ou motrices de ces informations sont automatiquement activées lors du traitement. Ainsi, il a été observé une réactivation des propriétés visuelles comme par exemple la couleur (Martin, Haxby, Lalonde, Wiggs, & Ungerleider, 1995), des propriétés auditives (Brunel, Labeye, Lesourd, & Versace, 2009; Brunel, Lesourd, Labeye, & Versace, 2010), motrices (Martin et al., 1995; Tyler et al., 2003), olfactives (Gottfried, Smith, Rugg, & Dolan, 2004) ou gustatives (Rey, Riou, Cherdieu, & Versace, 2014; Simmons, Martin, & Barsalou, 2005) (pour une revue voir Martin & Chao, 2001).

La cognition est située.

Dans une approche incarnée de la cognition, l'environnement joue un rôle capital dans les activités cognitives. Les processus cognitifs mis en jeu au cours de toute activité cognitive dépendent fortement de la situation dans laquelle se trouve l'individu afin que ses actions

soient pertinentes par rapport à cette situation. La cognition représente alors l'interaction entre l'esprit, le corps et l'environnement de l'individu. Le système cognitif va fournir des réponses adaptées à l'environnement et à la situation présente. Cette idée d'une cognition situation-dépendante implique que la perception de l'environnement dépend des actions réalisables dans cet environnement (Wilson, 2002). Par exemple, une chaise qui sert habituellement à s'asseoir peut également servir d'escabeau, si l'individu souhaite changer une ampoule.

La perception et la mémoire reposent sur des processus communs

De la même manière que la perception et l'action sont étroitement liées, la perception et la mémoire sont également en interaction. En effet, les activités perceptives de l'individu constituent la mémoire celui-ci mais parallèlement les connaissances en mémoire influencent la perception. Des études ont par exemple montré que la perception peut être influencée par l'appartenance catégorielle des objets (Goldstone, 1995). Dans cette expérience les participants étaient confrontés à des lettres et des chiffres colorés selon un continuum allant du rouge au violet. Les lettres étaient majoritairement sur le côté rouge du continuum et les chiffres majoritairement sur le côté violet du continuum. Cependant un chiffre (L) et une lettre (8) était de la même couleur, une couleur intermédiaire entre le rouge et le violet (Figure 7). Quand on demandait aux participants de redonner la couleur initiale des chiffres et des lettres, on constatait une distorsion de la couleur perçue par rapport à la couleur de la catégorie apprise. Ils percevaient ainsi le L plus rouge qu'il ne l'était réellement et le 8 plus violet qu'il ne l'était réellement. Il y avait donc une influence des connaissances catégorielles sur la perception des couleurs.

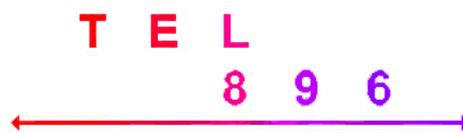


Figure 7. Représentation du protocole tirée de Goldstone et al., 1995

Selon le même principe, Hansen et al., (2006) ont montré une distorsion perceptive de la couleur des fruits (influence de la couleur jaune de la banane par exemple) (Hansen, Olkkonen, Walter, & Gegenfurtner, 2006). Dans ce cas, la connaissance que l'on a du fruit et de sa couleur habituelle, influence la perception réelle de la couleur de celui-ci. A nouveau, on constate avec ces expériences que la connaissance catégorielle de la couleur influence la

perception. De façon encore plus intéressante, certaines études ont montré des activations cérébrales communes à la perception et à la mémoire (Wheeler, Petersen, & Buckner, 2000). Dans cette expérience, les participants encodaient des mots présentés avec des images ou des sons. Par la suite, ils effectuaient une tâche de rappel au cours de laquelle ils devaient rappeler uniquement les mots présentés. Les régions activées pour le rappel des mots présentés avec des images étaient similaires à celles activées à l'encodage. De la même manière, le rappel des mots présentés avec les sons activait des zones cérébrales du cortex auditif similaires à celles activées pendant l'encodage (pour une revue voir Buckner & Wheeler, 2001). Les activités perceptives et mnésiques reposeraient donc sur des activations sensori-motrices similaires. Ainsi lors d'une activité perceptive les autres composants sensori-moteurs de la trace qui ne sont pas perceptivement présents sont réactivés. Parallèlement, lors d'une activité mnésique la réactivation des composants sensori-moteurs dépend du contenu perceptif de la situation présente (Versace et al., in press).

La cognition incarnée propose donc une manière originale de décrire les interactions de l'individu avec son environnement. Cette approche mise en relation avec les modèles à traces multiples permet d'avoir un point de vue original quant à l'organisation de la mémoire. Le contenu de la mémoire évolue en fonction de toutes les activités perceptives de l'individu au cours de sa vie. Les connaissances ne sont plus des représentations stockées en mémoire mais émergent en fonction de la situation présente. La mémoire sémantique correspond donc à l'extraction de similarités suite à la répétition des différents événements liés à un même concept modal. Par exemple, toutes les situations dans lesquelles l'individu a été confronté à un chat permettent de moduler les traces correspondant à ces situations. Dès lors, si l'individu est à nouveau confronté à un chat, les éléments communs à toutes ces traces émergeront et les propriétés associées seront réactivées (le chat a une queue, des pattes, il miaule...). La mémoire épisodique correspond à la simulation multimodale d'épisodes passés. La récupération d'une connaissance spécifique repose sur l'émergence d'une trace multimodale correspondant à des épisodes précis. Les aspects implicites et explicites de la connaissance reposent quant à eux sur la simulation. La mémoire implicite représente l'influence de la situation présente par la simulation des éléments présents en mémoire. Plus un individu est confronté à un événement, plus la simulation de cet événement sera efficace et plus il lui sera aisé de traiter cet événement par la suite. Cela expliquerait alors la réduction du temps de

traitement observée dans le cas de l'amorçage ou des tâches procédurales. La mémoire explicite correspondrait à la simulation multimodale des épisodes passés (Barsalou, 2008).

Dans une vision fonctionnelle de la mémoire basée sur les modèles à traces multiples et selon ces différents principes de la cognition incarnée, un modèle a été décrit au sein de notre équipe : le modèle Act-In.

3.3. Le modèle Act-In

Le modèle Act-In est un modèle fonctionnel de la mémoire qui décrit un système unique au sein duquel sont stockées des traces (Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009; Versace et al., in press; Versace, Nevers, & Padovan, 2002). Ces traces reflètent toutes les propriétés sensori-motrices des expériences passées de l'individu. Selon le principe décrit dans les modèles à traces multiples, les connaissances ne sont pas amodales mais multimodales. Elles sont distribuées au sein des systèmes neuronaux codant chacune des propriétés de la trace. Les connaissances émergent de l'interaction entre l'individu, son environnement et le contenu de sa mémoire dans la situation présente autrement dit elles émergent de l'interaction entre les expériences passées et présentes. Les traces en mémoire sont sans cesse modifiées par les expériences de l'individu et le contenu des traces lors d'une situation donnée influence le traitement de cette situation. (Figure 8).

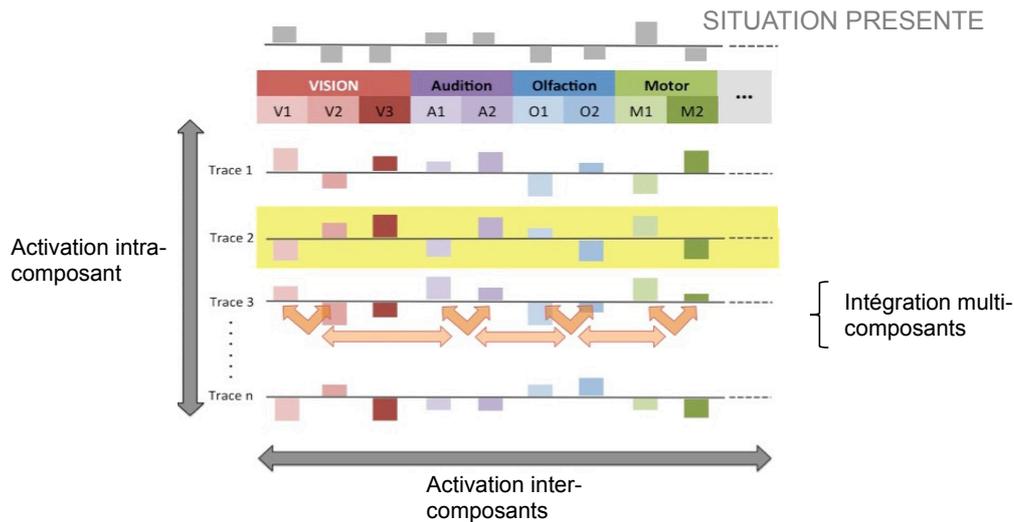


Figure 8. Représentation du modèle Act-In tirée de Versace et al., in press. Le modèle repose sur le processus d'intégration multi-composants et sur le processus d'activation (inter-composants ou intra-composant).

Ce modèle permettrait de comprendre les effets du sommeil sur les traces mnésiques en décrivant les processus impliqués dans la réorganisation de ces traces. Selon le modèle Act-In, l'efficacité de l'émergence des connaissances repose sur deux mécanismes : l'intégration multi-composants et l'activation inter-traces (Versace et al., in press). L'intégration multi-composants est le processus par lequel les différents composants de la traces sont liés entre eux afin de créer une trace unitaire dont les composants sont difficilement dissociables. L'activation inter-traces fait référence à la diffusion d'activation entre les traces au moment de la récupération. Cette activation inter-traces repose à la fois sur l'activation au sein d'un composant commun entre différentes traces, comme par exemple le fait que tous les chats miaulent (activation intra-composant) mais également sur l'activation entre différents composants d'une même trace (activation inter-composants), comme par exemple la vue d'un chat (composant visuel) active le miaulement (composant sonore), la sensation tactile liée au fait de le caresser (composant tactile), etc....

L'intégration multi-composants est un processus qui prend du temps avant de se mettre en place et qui permet de lier les composants de la trace alors que l'activation inter-traces se fait de manière plutôt rapide et permet l'émergence de connaissances conceptuelles (Labeye, Oker, Badard, & Versace, 2008). Dans cette expérience, les participants devaient réaliser une tâche de catégorisation sur des photographies représentant des objets en indiquant si l'objet présenté était un outil ou un ustensile. Avant chaque image cible à catégoriser, une amorce était présentée. Cette amorce pouvait être de la même catégorie ou d'une catégorie différente et pouvait impliquer un geste similaire ou un geste différent. Le temps entre l'apparition de

l'amorce et l'apparition de la cible (SOA) pouvait être de 100 ou de 300 millisecondes. Quand le SOA était de 100 millisecondes, il y avait une facilitation si l'amorce impliquait un geste similaire, peu importe sa catégorie, mais également si l'amorce appartenait à la même catégorie, peu importe le geste. En revanche, quand le SOA était de 300 millisecondes, il y avait une facilitation uniquement si l'amorce impliquait un geste similaire et appartenait à la même catégorie. Cette étude a permis de mettre en évidence le processus d'activation qui se met en place de manière très rapide, dès l'apparition de l'image, et permet d'activer toutes les propriétés associées à l'amorce, dont le geste et la catégorie associés, et le processus d'intégration qui se met en place seulement à partir de 300 ms. Cette intégration se manifeste par une trace unitaire dont les composants sont difficilement dissociables. Ainsi, le geste ne peut plus être dissocié de l'image, et ne permet plus la facilitation du traitement pour un objet d'une autre catégorie.

Ces processus d'activation et d'intégration sont à la base de l'émergence des connaissances et permettent de rendre compte de leur caractère épisodique ou sémantique. La réactivation d'un nombre limité de traces permet l'émergence d'une connaissance épisodique, spécifique, inscrite dans un cadre précis. Dans une tâche de rappel ou de reconnaissance par exemple, il s'agit de récupérer une trace précise dont les composants ont été suffisamment intégrés pour qu'elle soit distincte d'autres traces similaires. Cette trace distincte devrait alors être mieux récupérée en mémoire. Des études ont notamment confirmé qu'une trace plus distincte est mieux récupérée en manipulant la distinctivité spatiale des stimuli (Oker, Versace, & Ortiz, 2009). Dans cette expérience, les images pouvaient être présentés dans une configuration distinctive (les images n'étaient pas à la même distance les unes des autres) ou dans une configuration non distinctive (les images étaient à la même distance les unes des autres). Les résultats ont mis en évidence une catégorisation plus rapide des images encodées dans la configuration distinctive par rapport aux images encodées dans la configuration non distinctive. D'autres études ont montré que la distinctivité pouvait être manipulée au niveau contextuel en faisant varier les couleurs entourant les mots à encoder, la couleur pouvant être fréquente ou rare. La distinctivité du contexte influençait le traitement des mots (Oker & Versace, 2010). Enfin la distinctivité pouvait également manipulée de façon multimodale en reposant sur un seul composant ou plusieurs composants de la trace (Brunel, Oker, Riou, & Versace, 2010). La distinctivité permet donc l'émergence de traces spécifiques. En revanche, la réactivation d'un grand nombre de traces permet l'émergence d'une connaissance sémantique. Dans un paradigme d'amorçage ou une tâche de catégorisation, il s'agit plutôt de fournir une réponse basée sur l'activation des éléments communs à plusieurs traces.

L'émergence des connaissances repose donc simultanément sur l'activation inter-traces et l'intégration multi-composants. Ces deux processus nous semblent essentiels afin de comprendre les liens entre mémoire et sommeil à la lumière du modèle Act-In.

3.4. Sommeil, mémoire et modèle Act-In

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous souhaitons apporter un éclairage théorique original sur les phénomènes de réorganisation des traces mnésiques permettant de faire émerger des règles, des insights ou de faire des liens entre les traces. Le modèle Act-In, proposant une description plus fonctionnelle de la mémoire, intégrant les notions de modification des traces par les situations vécues et reflétant une organisation active de la mémoire, parviendrait à expliquer les résultats décrits dans la littérature pour ce qui est de la consolidation mnésique et de la réorganisation des traces au cours du sommeil. En effet, les effets de protection et de renforcement des traces ainsi que l'incorporation et l'extraction de règles après une période de sommeil pourrait être expliqués par le modèle Act-In.

Le sommeil renforcerait l'intégration multi-composants.

Selon les résultats observés, le sommeil permettrait de renforcer l'intégration des différents composants de la trace. Ainsi, après une période de sommeil, la trace mnésique deviendrait plus intégrée, plus forte et plus distincte des autres. Cette trace plus forte aurait un niveau d'activation plus important, serait mieux récupérée en mémoire et de ce fait, moins sensible à l'oubli et aux interférences (Abel & Bäuml, 2013; Ellenbogen, Hulbert, et al., 2006; Gais et al., 2006). Le renforcement de l'intégration des composants permet également de rendre compte de l'amélioration des performances dans des tâches explicites. En effet, le renforcement des traces au cours du sommeil permet la récupération d'éléments qui n'avaient pas forcément été rappelés avant la période de sommeil, car n'ayant pas un niveau d'activation suffisant. Cependant, la période de sommeil et le renforcement de l'intégration conduirait à l'augmentation du niveau d'activation de ces éléments et entraînerait l'amélioration des performances après le délai pour la mémoire explicite (Gais et al., 2006). De la même manière, le renforcement de l'intégration multi-composants au cours du sommeil permet de rendre compte de l'amélioration des performances pour la mémoire implicite. Lors

d'un apprentissage implicite, de multiples traces correspondant à cet apprentissage se créent au sein de la mémoire. Pendant le sommeil, le renforcement de l'intégration multi-composants de ces traces, conduit à une meilleure récupération de celles-ci et une facilitation de la simulation. Cela s'exprime au niveau comportemental par une augmentation de la vitesse et de la précision dans la réalisation de la tâche. Cela expliquerait donc l'effet bénéfique du sommeil sur les apprentissages procéduraux comme par exemple les habiletés motrices (Fischer et al., 2002) ou la discrimination visuelle (Walker, Brakefield, et al., 2002).

Au niveau physiologique, le renforcement de l'intégration multi-composants reposerait sur le phénomène de réactivation neuronale décrit dans les chapitres précédents (Paller & Voss, 2004; Peigneux et al., 2004; Rasch et al., 2007). Cette réactivation neuronale permettrait de moduler la trace, de renforcer les connexions synaptiques entre les régions codant pour cette trace et donc de la rendre plus forte. Le sommeil permettrait donc de renforcer les traces en renforçant l'intégration multi-composants (Figure 9) ce qui expliquerait les meilleures performances après une période de sommeil par rapport à une période d'éveil mais également dans certains cas, une amélioration des performances après une période de sommeil.

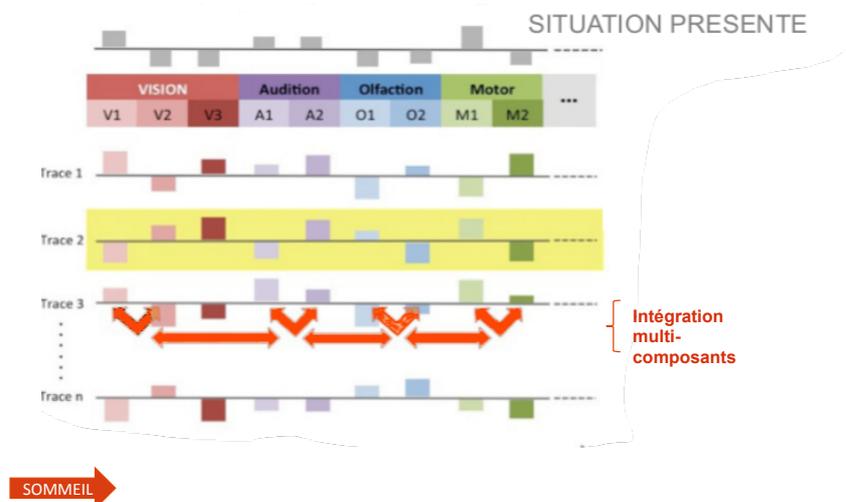


Figure 9. Représentation du renforcement de l'intégration multi-composants par une période de sommeil.

Le sommeil favoriserait l'activation inter-traces à la récupération.

Parallèlement à un renforcement de l'intégration multi-composants, les données de la littérature mettent en évidence une confrontation des différentes traces. A la lumière du modèle Act-In cela pourrait refléter une activation inter-traces au moment de la récupération favorisée par une période de sommeil. L'activation inter-traces à la récupération permet de rendre compte des phénomènes de réorganisation des traces au niveau comportemental. Ainsi,

l'émergence d'une règle cachée suite à une période de sommeil (Fischer et al., 2006; Wagner et al., 2004) reposerait sur l'activation inter-traces à la récupération. Prenons l'exemple d'une tâche de tapping dont les séquences suivent une règle particulière. Les différentes traces qui correspondent à ces séquences auront un élément commun, la règle cachée. Cette règle implicite pourra émerger au réveil et à la récupération grâce à l'activation inter-traces. Ainsi, en favorisant la mise en place de ce processus, le sommeil permet l'émergence de l'élément commun et donc de la règle cachée. Selon ce principe d'émergence d'une règle cachée, des études ont également montré qu'après une période de sommeil, cette règle implicite pouvait être appliquée à de nouveaux éléments (Durrant et al., 2011; Nieuwenhuis et al., 2013). L'activation inter-traces décrite dans le modèle Act-In pourrait expliquer ces observations. Cette activation permet de répondre à une situation donnée en fonction de la réponse apportée à des situations similaires. L'individu peut alors appliquer la règle émergente à une situation qui possède des composants communs avec d'autres situations ayant permis l'émergence même de la règle. Cette activation inter-traces à la récupération permettrait non seulement l'émergence d'éléments communs mais favoriserait également la création de liens entre les traces. Cela expliquerait alors l'effet bénéfique du sommeil sur la mémoire relationnelle, la mémoire associative ou la transitivité (Ellenbogen, Hulbert, et al., 2006; Lau et al., 2010) ; sur l'émergence de solutions créatives par la mise en lien de plusieurs éléments (Cai et al., 2009) et sur l'intégration des nouvelles traces à des traces similaires déjà présentes en mémoire (Dumay & Gaskell, 2007). Au niveau physiologique, cette favorisation de l'activation inter-traces à la récupération reposerait sur le phénomène de consolidation systémique basé sur un dialogue entre l'hippocampe et le néocortex conduisant peu à peu à un transfert des nouveaux souvenirs de l'hippocampe vers le néocortex (Buzsáki, 1996; Frankland & Bontempi, 2005; Gais et al., 2007; Rasch & Born, 2013). Le sommeil permettrait donc de favoriser l'activation inter-traces à la récupération permettant l'émergence d'éléments communs et la création de nouveaux liens.

L'objectif de ce travail de thèse était double, nous souhaitons dans un premier temps fournir un cadre théorique original et plus adapté pour décrire la consolidation mnésique au cours du sommeil. Nous souhaitons également apporter un éclairage supplémentaire à la compréhension du modèle Act-In en y intégrant les problématiques liées au sommeil.

La partie expérimentale de cette thèse sera développée autour de quatre axes. Dans un premier temps, nous tenterons de comprendre si le sommeil permet de transformer passivement une

connaissance non consciente en connaissance consciente (chapitre 4). Puis nous étudierons l'effet du sommeil sur l'intégration multi-composants (chapitre 5) et sur l'émergence de nouvelles connaissances via l'activation inter-traces (chapitre 6). Enfin, dans le dernier axe de la partie expérimentale, nous nous sommes intéressées à la consolidation mnésique au cours du vieillissement (chapitre 7). En effet, avec l'âge de nombreuses modifications de l'architecture du sommeil apparaissent et parallèlement des troubles mnésiques sont également observés. Il nous semblait intéressant de comprendre les conséquences de ces modifications nocturnes sur la consolidation mnésique et notamment sur les processus mnésiques décrits dans le modèle Act-In.

En Résumé

Les modèles classiques habituellement utilisés dans la littérature ne nous semblent pas suffisants pour décrire les phénomènes de consolidation des connaissances au cours du sommeil. A ce jour, aucune recherche ne s'est intéressée à la description de la consolidation mnésique dans le cadre des modèles à traces multiples. Les modèles à traces multiples fournissent une description plus fonctionnelle de la mémoire qui permet de répondre aux limitations des modèles classiques. Ces modèles à traces multiples proposent une description de la mémoire comme un système unique au sein duquel sont stockées des traces correspondant aux différents événements de la vie d'un individu. Ces modèles ont pour conséquences plusieurs principes quant à l'organisation de la mémoire et des liens entre mémoire et perception. Ces principes ont été repris dans une approche incarnée de la cognition décrivant les processus cognitifs comme ancrés dans le corps, l'environnement et la situation dans laquelle se trouve l'individu à un instant donné. Le modèle Act-In s'inscrit dans la lignée des modèles à traces multiples en intégrant les principes de la cognition incarnée. Selon ce modèle, l'émergence des connaissances repose sur l'intégration multi-composants et l'activation inter-traces. L'intégration-multi-composants décrit le processus par lequel les différents composants de la trace sont intégrés les uns aux autres afin de créer une trace unifiée et l'activation inter-traces représente le processus par lequel les éléments communs à différentes traces peuvent être activés. Selon nous, ce modèle pourrait expliquer les effets du sommeil sur les processus de renforcement et de réorganisation des traces mnésiques. Le sommeil permettrait de renforcer l'intégration multi-composants, de renforcer les traces et de les protéger contre l'oubli et les interférences ; mais le sommeil permettrait également de favoriser l'activation inter-traces à la récupération conduisant à l'explicitation des connaissances, l'émergence d'éléments communs et l'intégration des nouvelles connaissances aux traces déjà présentes en mémoire.

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 4

Sommeil et explicitation d'un apprentissage implicite.

Comme nous l'avons abordé dans le chapitre 2, des auteurs suggèrent que le sommeil permettrait d'extraire une connaissance explicite à partir d'un souvenir implicite (Fischer et al., 2006; Wagner et al., 2004; Yordanova et al., 2008). Cette émergence d'une connaissance explicite a été décrite dans la littérature comme résultant de l'interaction entre les processus de récupération implicite et explicite (Fischer et al., 2006; Yordanova et al., 2008). Selon les modèles classiques sur lesquels se basent la majorité des études, l'explicitation des connaissances sous-tendrait un transfert du souvenir d'un système de mémoire implicite à un système explicite. Cependant, ce transfert semble contradictoire avec l'indépendance des systèmes postulée dans ces modèles (Squire & Zola-Morgan, 1988; Tulving, 1985, 1995). Dans le présent chapitre, nous avons cherché à comprendre si le sommeil permet effectivement de transformer passivement une information non consciente (implicite) en information explicite ce qui pourrait fournir un argument en faveur d'une interaction entre les processus implicites et explicites comme il est suggéré dans la littérature (Fischer et al., 2006; Yordanova et al., 2008). Dehaene et al. (2006) décrivent deux types de processus non conscients : le processus subliminal et le processus préconscient. Le processus subliminal est un processus dont l'activation est en dessous d'un certain seuil et ne permet pas d'avoir un accès conscient au stimulus présenté. Le processus préconscient définit un processus qui peut potentiellement diffuser suffisamment d'activation pour un accès conscient au stimulus présenté. (Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur, & Sergent, 2006).

Afin de manipuler le degré de conscience des participants sur les stimuli, nous avons utilisé un masque proactif (ou forward, placé avant le stimulus) et un masque rétroactif (ou backward, placé après le stimulus). Le masque proactif empêche le traitement du stimulus par un clignement attentionnel et le masque rétroactif entraîne un effacement attentionnel du stimulus. Ces deux types masques permettent de limiter le traitement du stimulus à un niveau préconscient. Une expérience réalisée au sein de notre équipe (Tricon, Michael & Mazza, non

publié) a permis de construire un masque à partir de plusieurs parties des images utilisées et de même dimension que celles-ci. Les images étaient issues de la base de données de Alario et Ferrand (Alario & Ferrand, 1999). Les images sélectionnées ont été aléatoirement attribuées aux catégories « Non masqué », « Masqué » et « Nouveau » mais ne différaient pas en termes de complexité visuelle ou de familiarité. Le temps de présentation des images a été pré-testé afin de s'assurer que les images restent suffisamment longtemps à l'écran pour qu'elles soient détectées, mais pas assez longtemps pour être traitées consciemment. Le temps de présentation optimal a été estimé à 40 millisecondes : les participants avaient identifiées les images mais de façon implicite uniquement. En effet, les images masquées étaient catégorisées plus rapidement que les images nouvelles mais elles n'étaient pas reconnues au dessus du seuil du hasard.

L'expérience se composait de quatre phases. Tout d'abord, une phase d'encodage durant laquelle les participants devaient observer passivement les 120 images (masquées et non masquées) sélectionnées. Une phase de catégorisation pré-délai durant laquelle les participants devaient catégoriser les images en indiquant si elles représentaient un élément vivant ou non vivant. Les images présentées pouvaient être masquées ou non masquées à l'encodage ou nouvelles. Après un délai de douze heures constitué d'éveil ou majoritairement de sommeil, les participants réalisaient à nouveau une tâche de catégorisation sur des images présentées à l'encodage mais différentes de celles présentées à la catégorisation pré-délai. Enfin, les participants réalisaient une tâche de reconnaissance sur des images qui à nouveau étaient différentes de celles présentées aux deux autres phases (catégorisation pré et post-délai). Les résultats de cette expérience ont permis de mettre en évidence un effet d'amorçage pré-délai pour les images masquées et non masquées par rapport aux nouvelles se traduisant par des temps de réponses plus courts pour les images masquées et non masquées. En revanche, après le délai cet effet d'amorçage disparaissait. Enfin, à la tâche de reconnaissance, les résultats ont montré une meilleure reconnaissance pour les images non masquées par rapport aux images masquées et nouvelles. Cette expérience a permis de mettre en évidence un amorçage à court terme pour les images non conscientes mais pas d'amorçage à long terme. De plus, la récupération explicite des images conscientes était possible quel que soit la constitution du délai alors qu'il n'y avait pas de récupération explicite des images non conscientes. Cependant, certaines études ont montré que l'effet bénéfique du sommeil sur les performances était plus important si l'encodage était intentionnel (Robertson, Pas cual-Leone, & Press, 2004 ; pour une revue voir (Drosopoulos et al., 2011; Fischer et al., 2006; Wagner et al., 2004; Yordanova et al., 2008). L'absence de différence entre la situation éveil et sommeil

pourrait provenir du fait que dans cette pré-étude les sujets n'étaient pas informés du fait qu'ils devaient mémoriser les items. Nous avons donc repris exactement le même protocole que celui utilisé dans l'expérience décrite ci-dessus en modifiant la consigne à l'encodage et en demandant explicitement aux participants de mémoriser les images présentées.

Nous avons donc cherché à voir dans un premier temps si la modification de la consigne permettait d'observer un amorçage à long terme. L'hypothèse sous-jacente étant que la consigne explicite renforcerait l'attention portée aux différentes images et par conséquent renforcerait la mémorisation de ces dernières. Dans ce cas, nous nous attendions à observer une récupération implicite des images conscientes (non masquées) et non conscientes (masquées) après une période de sommeil se manifestant par des temps de catégorisation plus courts pour les images non masquées et masquées par rapport aux images nouvelles pour le groupe sommeil par rapport au groupe éveil. De plus, nous nous sommes intéressés à l'explicitation des connaissances encodées de façon implicite. Si le sommeil permet de transformer un souvenir implicite en connaissance explicite alors les images non masquées et masquées devraient être mieux reconnues que les images nouvelles après une période de sommeil.

4.1 Expérience 1

Méthode Expérience 1

Participants : 48 participants âgés de 18 à 33 ans ont pris part à cette expérience ($M = 22.3 \pm 4.5$). Les participants étaient tous de langue maternelle française ou parlaient couramment la langue française. Leur vue et leur ouïe étaient normales ou corrigées à la normale et étaient jugées de satisfaisante à excellente. Nous avons également évalué la somnolence diurne à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) et la qualité du sommeil à l'aide de l'index de qualité de sommeil de Pittsburgh (Buysse et al., 1989) que les participants devaient remplir avant l'expérience. Les participants avaient un score de qualité de sommeil de 5.7 ± 2.5 et un score de somnolence diurne de 9.4 ± 4.3 . Les participants étaient pour la majorité recrutés à l'université Lumière Lyon 2 et étaient tous volontaires pour participer à l'expérience. Aucune rémunération ne leur a été donnée en échange de leur participation.

Matériel: Nous avons utilisé exactement le même matériel que l'étude de Tricon & al. (non publié). Les 120 images étaient des dessins au trait, sur fond blanc (annexe 1) standardisés sur la base de différents critères pour le français. Les images ont été sélectionnées de façon à ce qu'elles soient facilement identifiables, sans ambiguïté, après un temps de présentation très court de 40 millisecondes. Les images ont été attribuées aux catégories « masquées », « non masquées » et « nouveau » de façon aléatoire.

Chaque catégorie possédait un nombre équivalent d'images représentant des éléments « vivants » et « non vivants ». Les images ayant été attribuées aux conditions « non masqué », « masqué » et « nouveau » de façon aléatoire, nous avons effectué un post-test afin de vérifier qu'il n'y avait aucune différence pour les temps de catégorisation entre les différentes conditions. Nous avons demandé à un autre groupe de 10 participants de catégoriser les 120 images. Les images étaient présentées sans masque et les participants devaient indiquer si elles représentaient un élément « vivant » ou « non vivant ». Nous n'avons observé aucune différence entre les conditions ($F(2,22) < 1$), il n'y avait donc aucune différence entre les images des trois conditions.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure suit quatre phases : une phase d'encodage, une phase de catégorisation pré-délai, une phase de catégorisation post-délai et une phase de reconnaissance. La moitié des participants réalisait les deux premières phases le matin (à huit heures) et les deux dernières le soir (à vingt heures) et avait donc un délai de douze heures constitué d'éveil. L'autre groupe réalisait les deux premières phases le soir et les deux dernières le matin et avait un délai constitué principalement de sommeil. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons au préalable collé des gommettes. Pour toutes les phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreur possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation, isolée du bruit.

Phase d'encodage. Les participants voyaient apparaître à l'écran les différentes images pendant 40 ms. Celles-ci pouvaient être masquées ou non masquées. Les images non masquées étaient précédées et suivies d'un blanc. Les images masquées étaient précédées et suivies d'un masque visuel. La moitié des essais masqués contenait des images et l'autre moitié contenait des leurres (une croix), afin que la présence d'une image pour les essais masqués ne soit pas systématique. Les participants avaient pour consigne de rester concentrés, de bien observer les images et de les mémoriser pour les rappeler par la suite. Nous avons effectué un prétest avant l'expérience afin de vérifier que la consigne n'entraînait pas une diminution des effets du masque en facilitant la détection de celles-ci. Les participants ne reconnaissaient pas les images masquées au dessus du seuil du hasard (taux de bonnes reconnaissances à 31%).

La phase d'encodage contenait 120 essais parmi lesquels 60 images étaient non masquées et 60 masquées (30 contenant des images et 30 contenant des leurres). La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 10 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran pour l'encodage.

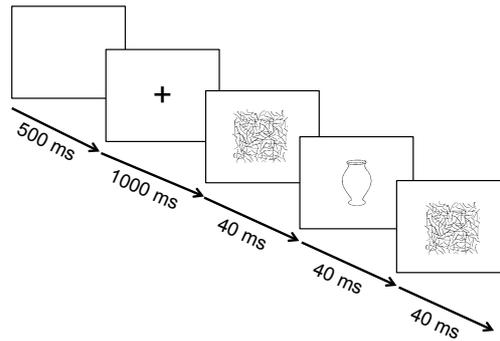


Figure 10. Déroulement d'un essai masqué au cours de la phase d'encodage.

Phase de catégorisation pré-délai. Après la phase d'encodage les participants réalisaient la phase de catégorisation pré-délai. Une croix de fixation apparaissait à l'écran pendant 1000 ms et était suivie d'une image. Pour chaque image, les participants devaient indiquer le plus rapidement possible et en faisant le moins d'erreurs possible, si l'image présentée représentait un élément vivant ou non vivant. Il était précisé que les animaux et végétaux devaient être considérés comme « vivant » et les objets comme « non vivant ». L'image restait affichée à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Pour répondre, les participants utilisaient les touches du clavier sur lesquelles nous avons collé une gommette noire et une gommette blanche. Les participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre vivant (gommette était collée sur la touche « F » du clavier) et sur la touche blanche pour répondre non vivant (gommette collée sur la touche « J » du clavier). Les touches de réponse étaient contrebalancées pour la moitié des participants.

La phase de catégorisation pré-délai contenait 60 essais parmi lesquels 20 essais pour se familiariser avec la tâche, 20 essais non masqués, 10 essais masqués et 10 essais nouveaux. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. Seuls un tiers des images masquées et non masquées présentées à l'encodage ont été utilisées pour cette tâche de catégorisation, ce qui nous a permis d'utiliser des images différentes pour les phases suivantes. Les images utilisées pour les différentes phases ont été contrebalancées entre les participants.

Après cette phase de catégorisation pré-délai, il y avait un délai d'environ 12h. Pour la moitié des participants l'apprentissage et la catégorisation pré-délai avaient lieu le matin et la catégorisation post-délai et la reconnaissance avaient lieu le soir. Le délai était donc composé d'éveil, les participants étaient autorisés à réaliser leurs activités habituelles. On leur précisait tout de même qu'ils ne pouvaient pas faire de sieste au cours de la journée (groupe éveil).

Pour l'autre moitié des participants l'apprentissage et la catégorisation pré-délai avaient lieu le soir et la catégorisation post-délai et la reconnaissance avaient lieu le lendemain matin. Le délai était composé de sommeil et un enregistrement avec actimétrie (Actiwatch 7, CamNtech, Cambridge, UK) était réalisé à domicile (groupe sommeil) (voir Figure 11).

Pour le groupe sommeil, la catégorisation post-délai et la reconnaissance avait lieu au moins 2h après le réveil pour éviter l'inertie du sommeil. La nuit de sommeil se déroulait à domicile pour qu'elle soit le plus possible similaire aux conditions habituelles de chaque participant¹.

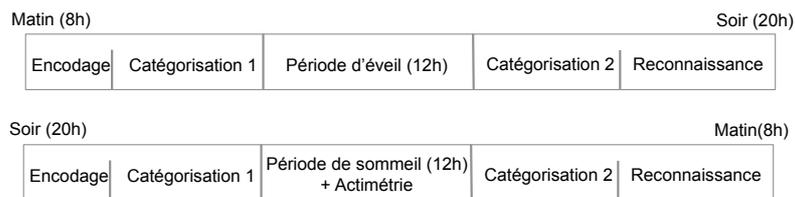


Figure 11. Déroulement des différentes phases de l'expérience.

Phase de catégorisation post-délai. Après le délai les participants réalisaient à nouveau une tâche de catégorisation. Cette tâche était identique à celle réalisée avant le délai, les images utilisées avaient été vues pendant la phase d'encodage mais étaient différentes de celles utilisées pour la phase de catégorisation pré-délai. Les participants devaient indiquer si les images représentaient un objet vivant ou non vivant en appuyant sur les touches correspondantes.

La phase de catégorisation post-délai contenait 40 essais parmi lesquels 20 essais non masqués, 10 essais masqués et 10 essais nouveaux. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire.

Phase de reconnaissance Après la phase de catégorisation post-délai, les participants réalisaient la phase de reconnaissance. Une croix de fixation apparaissait à l'écran pendant 1000 ms suivie par une image. Les images utilisées avaient été vues pendant la phase d'encodage mais étaient différentes de celles utilisées pour les phases de catégorisation pré et post-délai. Pour chaque image, les participants devaient indiquer s'ils l'avaient vue ou non lors de la phase d'encodage. L'image restait affichée jusqu'à la réponse du participant. Pour répondre, les participants utilisaient les mêmes touches du clavier que pour les phases précédentes. La moitié des participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre

¹ Les mêmes conditions ont été appliquées pour toutes les expériences présentées dans ce manuscrit impliquant un délai de sommeil ou d'éveil.

« oui » et sur la touche blanche pour répondre « non ». Les touches de réponse étaient contrebalancées pour l'autre moitié des participants.

La phase de reconnaissance contenait 40 essais parmi lesquels 20 essais non masqués, 10 essais masqués et 10 essais nouveaux. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire.

Résultats Expérience 1

Nous avons appliqué un filtre sur les données individuelles pour éliminer les temps de réponse aberrants inférieurs à 200 ms et supérieurs à 1000 ms pour les deux tâches de catégorisation. Nous avons également appliqué un filtre pour éliminer les temps de réponse s'éloignant de plus de 3 écarts-types de la moyenne par condition. Seuls les temps de réponses correspondant aux bonnes réponses ont été conservés pour l'analyse. Pour les tâches de catégorisation, si les taux de bonnes réponses étaient supérieurs à 90%, les performances étaient considérées comme plafond et aucune analyse statistique n'était effectuée.

Phase de catégorisation pré-délai

Les taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation pré-délai étaient de 91.5%, nous n'avons pas effectué d'analyses statistiques.

Les temps de réponse moyens par condition sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Temps de réponse moyens et écart-types (en ms) par condition pour la phase de catégorisation pré-délai.

	EVEIL			SOMMEIL		
	Non Masqué	Masqué	Nouveau	Non Masqué	Masqué	Nouveau
	617 ± 111	645 ± 110	615 ± 121	598 ± 98	593 ± 89	591 ± 102

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteur intra-sujets la PRESENTATION (Non Masqué vs Masqué vs Nouveau) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

L'analyse a révélé uniquement un effet du facteur PRESENTATION, $F(2,92)=10.88$; $p<.001$; $\eta_p^2=.19$. Les comparaisons planifiées ont révélé que les participants étaient plus lents

à catégoriser les images masquées par rapport aux images non masquées ($F(1,46)=15.14$; $p<.01$) et nouvelles ($F(1,46)=19.16$; $p<.01$). En revanche il n'y avait pas de différence entre les images non masquées et nouvelles ($F(1,46)<1$) (Figure 12).

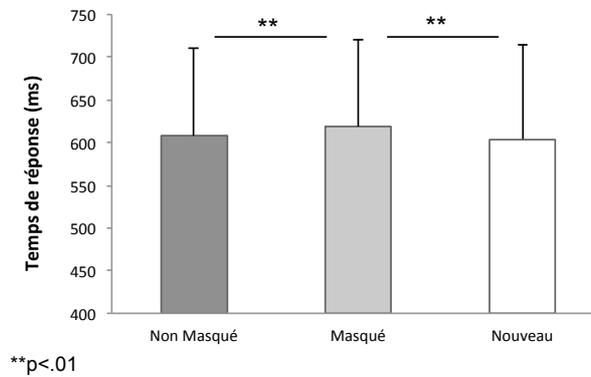


Figure 12. Temps de réponse moyens pour la catégorisation pré-délai des images en fonction du type de présentation.

Phase de catégorisation post-délai

Les taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation post-délai étaient de 92.6%.

Les temps de réponse moyens par condition sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Temps de réponse moyens et écart-types (en ms) par condition pour la phase de catégorisation post-délai.

EVEIL			SOMMEIL		
Non Masqué	Masqué	Nouveau	Non Masqué	Masqué	Nouveau
607 ± 87	613 ± 105	635 ± 86	575 ± 64	577 ± 73	595 ± 81

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteur intra-sujets la PRESENTATION (Non Masqué vs Masqué vs Nouveau) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

L'analyse a révélé un effet du facteur PRESENTATION, $F(2,92)=8.33$; $p<.001$; $\eta_p^2=.15$. Les comparaisons planifiées ont révélé un effet d'amorçage pour les images non masquées ($F(1,46)=18.33$; $p<.001$) et masquées ($F(1,46)=9.08$; $p<.01$) par rapport aux images nouvelles. En revanche il n'y avait pas de différences entre les images non masquées et masquées ($F(1,46) <1$) Figure 13).

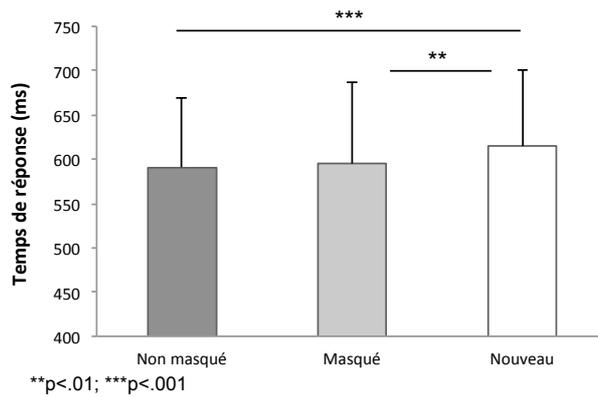


Figure 13. Temps de réponse moyens pour la catégorisation post-délai des images en fonction du type de présentation.

Par ailleurs, nous avons cherché à savoir si l'effet d'amorçage observé pouvait être différent selon la quantité de sommeil effectuée. Nous avons donc répartis les 24 participants du groupe sommeil dans deux groupes selon le temps de sommeil réel. Le groupe «Sommeil Plus » avait un temps de sommeil supérieur à la médiane (333 minutes) avec en moyenne 382 min \pm 29 et le groupe « Sommeil Moins » avait un temps de sommeil inférieur à la médiane avec en moyenne 305 min \pm 24.

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteur intra-sujets la PRESENTATION (Non Masqué vs Masqué vs Nouveau) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Sommeil Moins vs Sommeil Plus).

L'analyse a uniquement révélé un effet de la PRESENTATION $F(2,44)=3.89$; $p<.05$; $\eta_p^2=.15$ similaire à celui obtenu précédemment. Il n'y avait pas de différence entre les groupes Sommeil Plus et Sommeil Moins.

Phase de reconnaissance (post-délai)

Les taux de réponses « oui » par condition sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Taux de réponses « oui » et écart-types (en %) par condition pour la phase de reconnaissance (post-délai).

EVEIL			SOMMEIL		
Non Masqué	Masqué	Nouveau	Non Masqué	Masqué	Nouveau
68.8 \pm 14.5	19.6 \pm 8.3	71.0 \pm 8.1	60.2 \pm 16.1	34.2 \pm 19.5	68.8 \pm 8.9

Nous avons effectué une analyse de variance sur les taux de réponses « oui » avec comme facteur intra-sujets la PRESENTATION (Non Masqué vs Masqué vs Nouveau) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

L'analyse a révélé un effet du facteur PRESENTATION $F(2,92)=328.24$; $p<.001$; $\eta_p^2=.88$. Les comparaisons planifiées ont révélé des taux de réponses « oui » plus importants pour les images non masquées par rapport aux images masquées ($F(1,46)=397.57$; $p<.001$) ainsi que pour les images masquées par rapport aux nouvelles ($F(1,46)=891.74$; $p<.001$). En revanche il n'y avait pas de différence entre les images non masquées et nouvelles ($F(1,46)=2.05$; $p=.16$) (Figure 14).

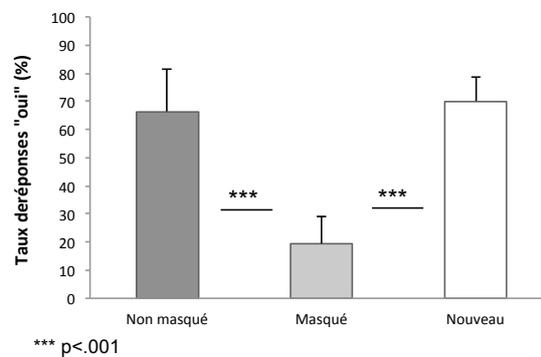


Figure 14. Taux de réponses « oui » en fonction du type de présentation.

Nous avons à nouveau effectué une analyse de variance sur les taux de réponses « oui » en fonction du temps de sommeil avec comme facteur intra-sujets la PRESENTATION (Non Masqué vs Masqué vs Nouveau) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Sommeil Moins vs Sommeil Plus).

L'analyse de variance a uniquement révélé un effet de la PRESENTATION $F(2,44)=162.99$; $p<.001$; $\eta_p^2=.88$ similaire à celui obtenu précédemment. Il n'y avait pas de différence entre les groupes Sommeil Plus et Sommeil Moins.

Données de sommeil

Nous avons enregistré la nuit de sommeil des participants à l'aide d'un actimètre. Nous avons mesuré le temps passé au lit qui correspond au temps entre l'extinction des lumières le soir et leur allumage le matin. Le temps de sommeil qui a été calculé par la différence entre l'heure de fin de sommeil et le début de sommeil. Le temps d'éveil qui correspond au temps passé éveillé après le début du sommeil. Enfin, l'efficacité de sommeil qui représente le ratio du

temps de sommeil sur le temps passé au lit. Les données recueillies sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Données de sommeil recueillies par actimétrie.

Temps passé au lit (min)	393.4 ± 53.0
Temps sommeil (min)	343.3 ± 47.0
Temps éveil (min)	34.5 ± 16.5
Efficacité sommeil (%)	87.3 ± 4.8

Discussion Expérience 1

Le but de cette expérience était de comprendre si le sommeil permettait de modifier le traitement d'images encodées de façon non consciente (masquées) et s'il permettait de récupérer explicitement ces images. En effet, comme nous l'avons évoqué dans la partie théorique, certaines études ont décrit un certain processus d'explicitation des connaissances après une période de sommeil (Drosopoulos et al., 2011; Fischer et al., 2006; Wagner et al., 2004; Yordanova et al., 2008). Nous avons donc utilisé deux types de tâches, une tâche implicite de catégorisation et une tâche explicite de reconnaissance.

Concernant la tâche de catégorisation pré-délai, les participants étaient plus rapides à catégoriser les images non masquées et nouvelles par rapport aux images masquées. Autrement dit avant le délai, les participants ne catégorisaient pas différemment les images non masquées et les images nouvelles alors que les images masquées étaient catégorisées plus lentement.

Pour la tâche de catégorisation post-délai, conformément à nos hypothèses, nous avons observé que les participants étaient plus rapides à catégoriser les images non masquées et masquées par rapport aux images nouvelles. L'introduction du délai a donc permis d'observer un effet d'amorçage à la fois pour les images masquées et non masquées. En d'autres termes, le délai a permis une récupération implicite des images encodées de façon consciente mais également des images encodées de façon non consciente. Cependant, contrairement à nos hypothèses, nous n'avons observé aucune différence entre les deux groupes. Il semblerait donc que quel que soit la nature du délai entre les deux phases de catégorisation, celui-ci permette de faire apparaître un effet d'amorçage et que ceci ne soit pas spécifique à une

période de sommeil. Nos résultats nous ont permis de mettre en évidence l'apparition d'un effet d'amorçage après un délai de 12 heures. Peu d'études à ce jour ont montré des effets d'amorçage sur des délais aussi longs. Il se pourrait que la modification de la consigne ait renforcé l'encodage des informations entraînant l'apparition de l'effet d'amorçage. L'apparition de l'effet d'amorçage après 12 heures ne serait donc pas spécifique à l'introduction d'une période de sommeil mais plutôt à la manipulation de la consigne à l'encodage.

Concernant la tâche de reconnaissance, nous avons observé que les taux de réponses « oui » étaient plus importants pour les images non masquées et nouvelles par rapport aux images masquées. Les participants récupéraient explicitement uniquement les images encodées de façon consciente. L'introduction du délai n'a donc pas permis d'observer une explicitation des images non conscientes, contrairement à ce qui a pu être décrit dans la littérature. Cependant comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 3, le phénomène d'explicitation des connaissances impliquait un transfert de l'information d'un système à un autre ce qui semble peu plausible étant donné l'indépendance systémique décrite dans les modèles classiques (Larry R Squire & Zola-Morgan, 1988; Tulving, 1985, 1995). Nous aurions pu supposer qu'une information encodée non consciemment, puisse bénéficier au cours du sommeil d'une augmentation de son seuil d'activation résultant de la réactivation hippocampique au cours du sommeil. Ainsi l'information implicite atteindrait le seuil d'activation nécessaire afin d'accéder à la conscience. Cependant, la mémoire implicite ne fait pas appel à l'hippocampe mais dépend d'autres structures cérébrales (Schacter, 1987; Squire & Zola-Morgan, 1991; Squire, 1998). Il semble alors peu probable que la seule réactivation hippocampique permette l'accès à la conscience des informations implicites.

Nos résultats ne permettant pas de valider l'hypothèse d'un transfert de l'implicite à l'explicite, suggèrent que les phénomènes d'explicitation des connaissances tels que décrits par Yordanova et al., (2008) ou Wagner et al., (2004) soient plutôt dus à une réorganisation des traces mnésiques dont les processus pourraient être décrits dans le cadre du modèle Act-In. En effet, le modèle Act-In parvient à expliquer les phénomènes de réorganisation des traces mnésiques conduisant à l'extraction de règles implicites, à l'apparition d'insight et à la créativité.

Comme nous l'avons évoqué dans les chapitres précédents cette réorganisation des traces prend du temps à se mettre en place et apparaîtrait après plusieurs jours (Lindsay & Gaskell, 2009; Tamminen et al., 2013, 2010). Il se pourrait également que l'explicitation des

connaissances apparaisse avec des délais plus longs entre apprentissage et récupération. Dans ce cas, de prochaines études pourraient insérer des délais variables, jusqu'à une semaine afin de voir si une récupération explicite des informations encodées de façon non consciente serait possible.

Il nous semble important de noter que les participants ont un taux de réponses «oui» (dire que l'image présentée avait été vue à l'encodage) très important pour les images nouvelles. En effet, le pourcentage de réponses «oui» était quasiment équivalent pour les images non masquées et nouvelles. Il se pourrait que la consigne à l'encodage entraîne également un biais de réponse consistant à dire «oui» à toutes les images par défaut, augmentant le taux de réponses «oui» et donc de réponses correctes pour les images non masquées en augmentant parallèlement le taux de réponses «oui» et donc de fausses alarmes pour les images nouvelles. De plus nous avons constaté que la répartition du nombre d'images par condition n'était pas équivalente, il y avait 20 essais non masqués, 10 essais masqués et 10 essais nouveaux à la reconnaissance. Cela pouvait alors entraîner un biais de réponse des participants car le nombre de réponses «oui» était plus important que le nombre de réponses «non». Etant donné que nous souhaitons observer l'effet du changement de consigne par rapport à l'étude de Tricon et al. nous n'avons pas modifié le nombre d'essais de chaque condition mais une future expérience pourrait s'intéresser à cet aspect et aux conséquences sur les taux de réponses «oui» à la reconnaissance.

Par ailleurs, nous avons observé que les participants de notre étude ont peu dormi (environ 6 heures). Cela pourrait également expliquer l'absence d'explicitation des images non conscientes.

Plusieurs observations semblent tout de même importantes concernant nos résultats. D'une part, l'absence d'amorçage pour les images non conscientes dès la phase de catégorisation pré-délai. En effet, les images non masquées ne sont pas traitées différemment des images nouvelles. Il se pourrait que la consigne explicite qui a été donnée aux participants de mémoriser les images présentées entraîne une perturbation dans la tâche de catégorisation subséquente expliquant l'absence d'effet d'amorçage pour les images non masquées et ce, d'autant plus que cet effet d'amorçage apparaît après le délai.

Au vu de nos résultats, un délai entre encodage et récupération permettrait la récupération implicite des images non conscientes et conscientes mais ne permettrait pas une récupération explicite des images non conscientes et ce, quelle que soit la nature de ce délai. Nos résultats nous poussent donc à nous interroger sur les processus mnésiques impliqués dans l'explicitation des connaissances décrite dans la littérature. Il semblerait que l'effet du

sommeil ne soit pas simplement de renforcer les traces implicites et de les transformer (par transfert d'un système à un autre) en traces explicites. Les modèles classiques et leur description de ces phénomènes ne permettent donc pas d'expliquer ces phénomènes. Il nous semble que l'explicitation des connaissances reposerait davantage sur un processus de réorganisation des traces qui pourrait s'expliquer dans le cadre des modèles à traces multiples et notamment dans le cadre du modèle Act-In. Selon les hypothèses évoquées dans le chapitre précédent, nous tenterons dans les chapitres suivants d'étudier l'effet du sommeil sur les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces.

Chapitre 5

Sommeil et intégration multi-composants.

Le modèle Act-in décrit un système unique de mémoire au sein duquel sont stockées les traces multimodales. Ce modèle, quelque peu différent des modèles classiques de la mémoire permettrait de mieux comprendre les processus mnésiques impliqués dans la modification de la trace au cours du sommeil. En effet, nous avons évoqué l'idée que le sommeil modifierait la trace en renforçant l'intégration multi-composants et l'activation inter-traces. Dans le présent chapitre, nous cherchons plus particulièrement à comprendre dans quelle mesure le sommeil influence l'intégration des composants sensoriels de la trace.

Pour cela, nous nous sommes basés sur un paradigme développé au sein de notre équipe (Brunel, Vallet, Riou, & Versace, 2009). Ce paradigme permettait de mettre en évidence des effets de généralisation et de discrimination résultant de l'intégration des composants sensoriels de la trace mnésique.

L'effet de généralisation a été décrit comme le processus selon lequel un stimulus qui ne possède pas une propriété qui est partagée par les autres stimuli de sa catégorie peut être néanmoins généralisé à ces derniers. Il va donc acquérir la propriété possédée par les autres stimuli. Par exemple un chat sans queue parmi d'autres chats sera généralisé aux autres et sera toujours considéré comme un chat. La propriété perceptuelle « queue » est présente au sein de la majorité des traces, ce qui entraîne la généralisation de cette propriété aux autres exemplaires de la catégorie et donc au chat sans queue.

L'effet de discrimination a été décrit comme le processus selon lequel un stimulus qui possède une propriété supplémentaire par rapport aux autres stimuli, devrait être plus facilement discriminé. Par exemple, un chat « ailé » parmi des chats normaux sera plus facilement distingué. Dans ce cas, la propriété perceptuelle « aile » est présente au sein d'une seule trace ce qui la rend plus discriminable par rapport aux autres.

Les expériences présentées dans ce chapitre s'intéressent aux effets du sommeil sur l'intégration multi-composants et par extension sur les effets de généralisation et de discrimination. En effet, si le sommeil permet de favoriser l'intégration multi-composants, il

devrait permettre de renforcer le mécanisme de discrimination. Reprenons l'exemple du chat ailé ; le sommeil devrait renforcer l'intégration de la propriété « aile » et de l'item chat, les rendant indissociables. Après une période de sommeil la trace mnésique correspondant au chat ailé devrait être plus forte et donc mieux récupérée en mémoire. Ceci expliquerait les meilleures performances observées après une période de sommeil par rapport à une période d'éveil par exemple (Gais et al., 2006). Pour ce qui est de la généralisation, si le sommeil renforce l'intégration multi-composants il devrait renforcer l'intégration de tous les composants sensoriels associé au chat. Le chat sans queue sera toujours généralisé aux autres car ils possèdent la majorité des composants sensoriels permettant de dire qu'il est un chat même s'il ne possède pas de queue. Nous nous attendons donc à ce que le sommeil favorise les processus de discrimination et de généralisation. Afin de vérifier ces hypothèses, nous avons utilisé un paradigme développé au sein de notre équipe avec un matériel construit et constitué de formes géométriques et de sons. Ce matériel permettait de créer des catégories qui ne feraient pas référence à des catégories existantes et dont les réactivations en mémoire pourraient être contrôlées. Dans l'expérience de Brunel et al. (2009), les participants étaient confrontés en phase d'apprentissage à des associations entre des formes (carrés ou cercles) de quatre niveaux de gris différents et un son (bruit blanc). La catégorie « Basse Fréquence d'Association » représentait la condition où $\frac{1}{4}$ des formes était présenté avec le bruit blanc. La catégorie « Haute Fréquence d'Association » représentait la condition où $\frac{3}{4}$ des formes étaient présentées avec un bruit blanc. Les auteurs ont montré que lors de la phase d'amorçage, l'unique forme présentée avec un bruit blanc parmi les autres formes (présentées sans son) était la seule à réactiver la propriété sonore, car elle était plus discriminable des autres (processus de discrimination). De la même manière ils ont montré que l'unique forme présentée sans bruit blanc parmi les autres formes (présentées avec son) était généralisée aux autres et réactivait elle aussi la propriété sonore qui pourtant ne lui était pas associée (processus de généralisation). Nous avons cherché à comprendre l'effet du sommeil sur ces processus en réalisant la même étude avec trois groupes : un groupe sans délai entre l'apprentissage et l'amorçage, un groupe avec un délai composé d'une période d'éveil et un groupe avec délai composé d'une période de sommeil.

Tout d'abord nous nous attendions à répliquer les effets de généralisation et de discrimination pour le groupe sans délai. D'autre part, si le sommeil renforce l'intégration du son et de la forme, alors il devrait renforcer la spécificité du carré isolé sonore et renforcer également la généralisation du cercle isolé non sonore aux autres cercles. Nous nous attendions à observer les effets de discrimination et de généralisation après un délai de douze

heures uniquement pour le groupe sommeil. Les participants du groupe sommeil devraient être plus rapides pour catégoriser un objet cible sonore après l’amorce sonore isolée de la catégorie Basse Fréquence d’Association par rapport aux autres amorces de la catégorie (processus de discrimination). En revanche, ils devraient être aussi rapides pour le traitement de l’objet cible sonore après les amorces sonores et non sonores de la catégorie Haute Fréquence d’Association (processus de généralisation).

5.1 Expérience 1

Méthode Expérience 1

Participants : 48 participants âgés de 18 à 28 ans ont participé à cette expérience ($M=21.2$ ans ± 2.1). Les participants étaient tous de langue maternelle française ou parlaient couramment le français. Leur vue et leur ouïe étaient normales ou corrigées à la normale et étaient jugées de satisfaisantes à excellentes. Nous avons également évalué la somnolence diurne à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) et la qualité du sommeil à l'aide de l'index de qualité de sommeil de Pittsburgh (Buysse, Reynolds, Monk, Berman, & Kupfer, 1989) avant la passation de l'expérience. Les participants avaient un score de qualité de sommeil de 6.9 ± 2.6 pour le groupe éveil et de $M= 5.1 \pm 2.1$ pour le groupe sommeil ; et un score de somnolence diurne de 7.7 ± 4.1 pour le groupe éveil et de 9.8 ± 4.4 pour le groupe sommeil. Les participants étaient pour la majorité recrutés à l'université Lumière Lyon 2 et étaient tous volontaires pour participer à l'expérience. Aucune rémunération ne leur a été donnée en échange de leur participation.

Matériel: Nous avons repris le matériel de Brunel et al (2009), composé de 4 cercles de 7,4 cm de diamètre et de 4 carrés de 7 cm de côté. Ces 4 cercles et 4 carrés étaient de 4 niveaux de gris différents (15%, 30%, 50% et 75% de gris) (annexe 2). Nous avons également créé 3 sons à l'aide du logiciel Audacity (logiciel libre) : un bruit blanc (contenant toutes les fréquences de sons), un son aigu (312 Hz) et un son grave (256 Hz). Ce matériel nous a permis de créer des associations entre les formes et les sons. Une forme donnée (carré ou cercle) était présentée sans son dans $\frac{1}{4}$ des essais (stimulus isolé) et présentée avec un bruit blanc dans $\frac{3}{4}$ des essais (stimuli non isolés) et inversement pour l'autre forme. Pour un sujet donné, il y avait donc une catégorie (carré ou cercle) qui était majoritairement associée au bruit blanc (Haute Fréquence d'Association, HFA : $\frac{3}{4}$ des formes présentées avec un son) et une catégorie majoritairement non sonore (Basse fréquence d'association, BFA : $\frac{1}{4}$ des formes présentées avec un son) (Figure 15). Les formes isolées ont été contrebalancées entre les participants de telle sorte que tous les niveaux de gris soient dans la condition isolée au moins une fois.

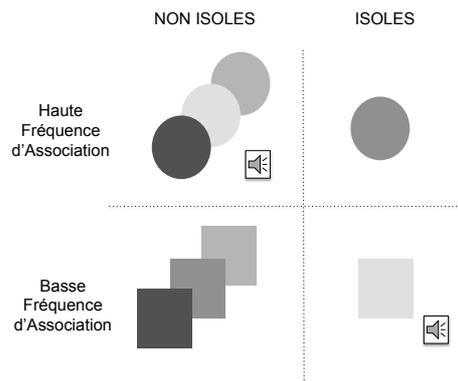


Figure 15. Exemples de stimuli isolés et non isolés présentés à l'apprentissage.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase d'amorçage. Trois groupes ont été constitués, 16 participants avaient un délai composé d'éveil entre les deux phases, 16 participants avaient un délai majoritairement composé de sommeil et 16 participants n'avaient aucun délai entre les deux phases. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases, on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Les participants voyaient apparaître à l'écran les formes présentées ou non avec un bruit blanc. Pour chaque forme ils devaient indiquer si la forme affichée était un carré ou un cercle. Pour répondre ils devaient appuyer sur la touche « □ » pour carré (gommette collée sur la touche « A » du clavier) et « ○ » pour cercle (gommette collée sur la touche « P » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants. La phase d'apprentissage était constituée de 80 essais, les 4 carrés et les 4 cercles étant présentés 10 fois chacun. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 16 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran pour l'apprentissage.

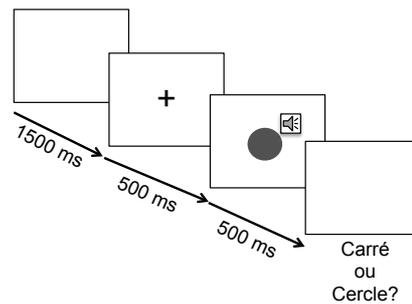


Figure 16. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'apprentissage.

Après cette phase d'apprentissage il pouvait y avoir ou non un délai d'environ 12 heures. Un groupe de participants avait un délai composé d'une période d'éveil, l'apprentissage avait lieu le matin (à huit heures) et l'amorçage le soir (à vingt heures). Un groupe avait un délai composé d'une période de sommeil, l'apprentissage avait lieu le soir et l'amorçage le matin (groupe « sommeil »). Le dernier groupe n'avait aucun délai entre la phase d'apprentissage et la phase d'amorçage (groupe « sans délai »), ils réalisaient les deux phases dans la journée (Voir Figure 17).

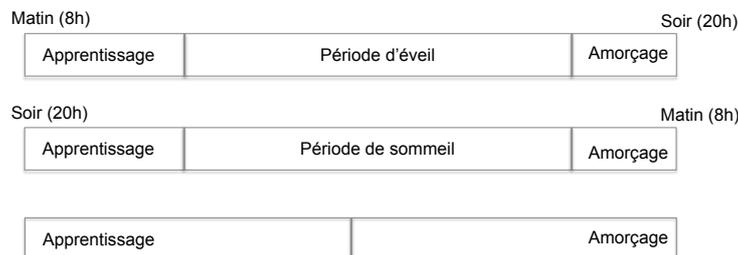


Figure 17. Déroulement des différentes phases de l'expérience pour les groupes « éveil », « sommeil » et « sans délai ».

Phase d'amorçage. Après le délai (pour les groupes « éveil » et « sommeil ») ou après la phase d'apprentissage (pour le groupe « sans délai »), les participants réalisaient la phase d'amorçage. Ils voyaient apparaître à l'écran une amorce (carré ou cercle sans son) puis la cible, un son. La tâche était de catégoriser le son cible en indiquant si celui-ci était aigu ou grave. Pour répondre les participants devaient appuyer sur la touche rouge pour répondre aigu (gommette collée sur la touche « Q » du clavier) et sur la touche jaune pour répondre grave (gommette collée sur la touche « M » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

La phase d’amorçage était constituée de 80 essais, les 8 amorces étant présentées 10 fois chacune. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 18 présente le déroulement d’un essai et les temps de présentation pour la phase d’amorçage.

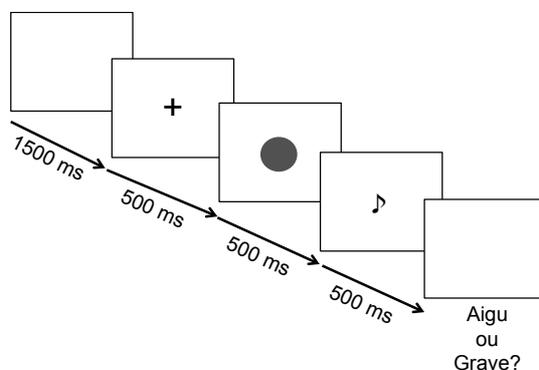


Figure 18. Déroulement d’un essai au cours de la phase d’amorçage.

Résultats Expérience 1

Les temps de réponse inférieurs à 250 ms et supérieurs à 1250 ms ainsi que les temps de réponse s’éloignant de plus de 3 écarts-types de la moyenne par condition n’ont pas été pris en compte, seuls les temps de réponses correspondant aux bonnes réponses ont été conservés pour l’analyse. Pour les tâches de catégorisation, si les taux de bonnes réponses étaient supérieurs à 90%, les performances étaient considérées comme plafond et aucune analyse statistique n’était effectuée.

SANS DELAI

Phase d’apprentissage

Le taux de bonnes réponses moyen pour la phase d’apprentissage était de 95.1%, nous n’avons pas effectué d’analyses statistiques.

Les temps de réponse par condition expérimentale sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6. Moyennes temps de réponses (TR) à l'apprentissage pour le groupe sans délai. HFA : Haute Fréquence d'Association, BFA : Basse Fréquence d'Association. M= Moyenne ; E.T=Ecart-Type

	HFA		BFA	
	Sonore (Non Isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
M ± E.T	407 ± 43	425 ± 53	393 ± 39	424 ± 36

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets, la FREQUENCE (Haute Fréquence d'Association (HFA) vs Basse Fréquence d'association (BFA)) et la SONORITE des amorces (Sonore vs Non sonore).

L'analyse a révélé uniquement un effet de la SONORITE de la forme présentée. Les participants étaient plus rapides pour traiter une forme présentée avec un bruit blanc (sonore) (400 ms ± 41) par rapport à une forme présentée sans son (non sonore) (424 ms ± 45), $F(1,15)=30.20$; $p<.001$; $\eta_p^2=.67$.

Les participants étaient donc sensibles à la sonorité de la forme mais pas à la fréquence d'association.

Phase d'amorçage

Le taux de bonnes réponses moyen pour la phase d'amorçage était de 94.8%.

Les temps de réponse par condition sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7. Moyennes temps de réponses (TR) à l'amorçage pour le groupe sans délai. HFA : Haute Fréquence d'Association, BFA : Basse Fréquence d'Association. M= Moyenne ; E.T=Ecart-Type.

	HFA		BFA	
	Sonore (Non Isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
M ± E.T	513 ± 132	515 ± 144	518 ± 139	515 ± 121

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs, la FREQUENCE (Haute Fréquence d'Association (HFA) vs Basse Fréquence d'association (BFA)) et la SONORITE des amorces (Sonore vs Non sonore).

Cette analyse n'a révélé aucun effet significatif.

*EVEIL/SOMMEIL*Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses moyen pour la phase d'amorçage était de 93.9% pour le groupe éveil et de 88.7% pour le groupe sommeil.

Les temps de réponse par condition expérimentale sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8. Moyennes des temps de réponse (TR) à l'apprentissage pour les groupes éveil et sommeil. HFA : Haute Fréquence d'Association, BFA : Basse Fréquence d'Association. M= Moyenne ; E.T=Ecart-Type

	HFA		BFA	
	Sonore (Non Isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
Eveil (M ± E.T)	428 ± 32	450 ± 47	433 ± 58	444 ± 40
Sommeil (M ± E.T)	398 ± 29	433 ± 42	405 ± 50	422 ± 46

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse à l'apprentissage avec comme facteur intra-sujets, la FREQUENCE (Haute Fréquence d'Association (HFA) vs Basse Fréquence d'association (BFA)), la SONORITE des amorces (Sonore vs Non sonore) et comme facteur inter-sujets, le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

Nous avons observé un effet de la SONORITE, $F(1,30)=27.49$; $p<.001$; $\eta_p^2=.48$. Les participants étaient plus rapides pour traiter une forme présentée avec un bruit blanc (416 ms ± 46) par rapport à une forme non sonore (437 ms ± 44).

Comme dans le groupe sans délai, les participants étaient sensibles à la sonorité de la forme mais pas à la fréquence d'association. Aucune différence n'est apparue, à l'apprentissage, entre les groupes « éveil » et « sommeil ».

Phase d'amorçage

Le taux de bonnes réponses moyen pour la phase d'amorçage était de 92.9% pour le groupe éveil et 93.4% pour le groupe sommeil.

Les temps de réponse par condition expérimentale pour les deux groupes sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9. Moyennes des temps de réponses (TR) et des pourcentages de bonnes réponses (BR) à l’amorçage pour les groupes éveil et sommeil. HFA : Haute Fréquence d’Association et BFA : Basse Fréquence d’Association. M= Moyenne ; E.T=Ecart-Type.

	HFA		BFA	
	Sonore (Non Isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
Eveil (M ± E.T)	540 ± 89	542 ± 99	568 ± 114	558 ± 88
Sommeil (M ± E.T)	548 ± 123	548 ± 122	530 ± 115	520 ± 112

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets, la FREQUENCE (Haute Fréquence d’Association (HFA) vs Basse Fréquence d’association (BFA)), la SONORITE des amorces (Sonore vs Non sonore) et comme facteur inter-sujets, le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

L’analyse de variance a seulement révélé une interaction FREQUENCE*GROUPE, $F(1,30)=10.57$; $p<.01$; $\eta_p^2=.26$. Le groupe éveil était plus rapide pour traiter le son après une amorce appartenant à la catégorie majoritairement sonore (HFA) alors que groupe sommeil était plus rapide pour traiter le son après une amorce appartenant à la catégorie majoritairement non sonore (BFA) (Figure 19).

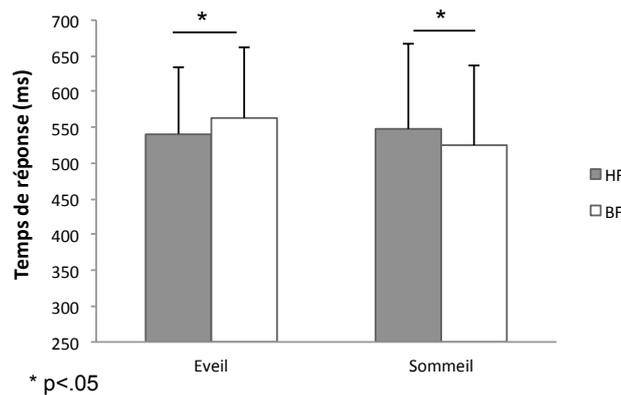


Figure 19. Temps de réponse moyens pour le traitement du son cible en fonction de la fréquence d’association et du groupe. Les barres d’erreur représentent les écarts-types.

Discussion Expérience 1

Le but de cette expérience était d'étudier si le sommeil en comparaison à une période d'éveil majorait l'intégration des composants et permettait ainsi renforcer les processus de discrimination et de généralisation.

Tout d'abord, concernant l'expérience sans délai nous observons qu'à l'apprentissage les participants étaient plus rapides à traiter les stimuli bi-modaux (présentés avec un bruit blanc) que les stimuli uni-modaux. Cependant ils n'étaient pas sensibles à la manipulation de la fréquence d'association entre les formes et le son, contrairement aux participants de l'étude de Brunel et al. (2009). Cela pourrait expliquer l'absence des effets de généralisation et de discrimination à la tâche d'amorçage. Il se pourrait que ces effets ne soient observés que dans la mesure où les participants développent une sensibilité implicite à l'association entre la propriété visuelle et les formes présentées. Cette sensibilité constituerait alors une condition favorisant l'émergence des processus de généralisation et de discrimination.

L'introduction d'un délai entre l'apprentissage et l'amorçage permet d'observer une différence entre les groupes éveil et sommeil. En effet, le groupe éveil était plus rapide pour la condition Haute Fréquence d'Association alors que le groupe sommeil était plus rapide pour la condition Basse Fréquence d'Association. Ainsi quand la majorité des items de la catégorie était sonore, les sujets du groupe éveil avaient tendance à être plus rapides pour traiter le son cible peu importe la sonorité de l'amorce. En d'autres termes les formes de la catégorie HFA réactivaient du son, permettant de traiter le son cible plus rapidement, ce qui correspond à l'effet de généralisation décrit auparavant. L'introduction du délai renforcerait donc la généralisation uniquement pour le groupe éveil. En revanche, pour le groupe sommeil on observe que les participants sont plus rapides à catégoriser le son quand l'amorce appartenait à la catégorie majoritairement non sonore. Il n'y avait donc pas d'effet d'amorçage quand le délai était constitué de sommeil. Un délai composé d'éveil ou de sommeil n'aurait pas le même effet sur le processus de généralisation. Le processus de généralisation pourrait être favorisé par une période d'éveil ou alors perturbé par une période de sommeil.

La différence entre les deux groupes pourrait également s'expliquer par la différence des rythmes circadiens, la phase d'amorçage n'ayant pas lieu au même moment pour le groupe éveil et pour le groupe sommeil, les niveaux d'attention des participants pourraient être différents s'ils ont effectué l'amorçage le matin ou le soir. Une limite de cette étude pourrait être l'absence de questionnaire de typologie circadienne. Cependant, les temps de réalisation des tests étaient ceux utilisés dans les autres paradigmes publiés dans la littérature.

L'absence d'effet d'amorçage pourrait également s'expliquer par le fait qu'à la phase d'amorçage, les sons utilisés n'étaient pas suffisamment sensibles à la réactivation mnésique. La tâche de catégorisation des sons cibles pourrait être moins influencée par la présentation des amorces après un délai de douze heures. Nous avons donc modifié le matériel dans l'expérience 2, en remplaçant les sons cibles dans la tâche d'amorçage par des images. Ces images pouvaient représenter des objets associés à du son en mémoire (un piano par exemple) ou des objets non associés à du son en mémoire (une armoire). Ces images avaient été utilisées dans une précédente expérience de notre équipe (Brunel, Lesourd, et al., 2010). Dans cette expérience, les amorces sonores permettaient de catégoriser plus rapidement les images d'objets fortement associés à du son en mémoire bien que la tâche de catégorisation ne portait pas sur la sonorité mais sur la taille de l'objet. Il nous semblait donc que ce matériel pourrait être plus sensible à la réactivation mnésique de la propriété sonore.

Nous devrions alors observer les processus de généralisation et de discrimination pour le traitement de l'objet cible. Les participants devraient être plus rapides pour catégoriser un objet cible sonore après l'amorce sonore isolée de la catégorie Basse Fréquence d'Association par rapport aux autres amorces de la catégorie (processus de discrimination). En revanche, les participants devraient être aussi rapides pour le traitement de l'objet cible sonore après les amorces sonores et non sonores de la catégorie Haute Fréquence d'Association (processus de généralisation).

5.2 Expérience 2

Méthode Expérience 2

Participants : 48 participants âgés de 18 à 40 ans ont participé à cette expérience ($M=21.2$ ans ± 3.37). Les participants étaient tous de langue maternelle française ou parlaient couramment le français. Leur vue et leur ouïe étaient normales ou corrigées à la normale et étaient jugées de satisfaisantes à excellentes. Les participants étaient pour la majorité recrutés à l'université Lumière Lyon 2 et étaient tous volontaires pour participer à l'expérience. Aucune rémunération ne leur a été donnée en échange de leur participation.

Matériel: Nous avons repris le même matériel que pour l'expérience précédente, 4 cercles et 4 carrés de niveaux de gris différents ainsi qu'un bruit blanc.

Nous avons également sélectionné 64 images d'objets. Ces 64 images ont été pré-testées afin de sélectionner des images « sonores » et « non sonores ». La propriété sonore de l'image est une propriété mnésique car elle est réactivée par la présentation de l'image. Par exemple, l'image d'un rasoir électrique devrait réactiver la propriété sonore car il est fortement associé à du son en mémoire contrairement à une table. Nous avons donc Dans un premier temps, nous avons demandé à un échantillon de 14 participants de noter sur une échelle de 1 (pas du tout) à 9 (fortement) si l'objet présenté leur semblait fortement associé ou non à du son.

Dans un second temps, nous avons demandé aux participants de juger la taille des objets : ils devaient indiquer si les objets étaient des objets de grande taille ou de petite taille. Nous leur avons demandé de juger la taille des objets tels qu'ils sont dans la vie réelle (taille typique), tous les objets ayant la même taille à l'écran. Un objet devait être jugé de grande taille si sa taille était de plus de 50 cm et inversement de petite taille s'il était de moins de 50 cm.

Nous avons ainsi sélectionné les 32 objets fortement associés à un son en mémoire (objets typiquement sonores) et les 32 objets faiblement associés à un son en mémoire (objets typiquement non sonores). Parmi les objets sonores et non sonores, la moitié était constituée d'objets typiquement grands (taille supérieure à 50 cm) et l'autre moitié était constituée d'objets typiquement petits (taille inférieure à 50 cm) (annexe 3).

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en deux phases : une phase

d'apprentissage et une phase test d'amorçage. Nous n'avons pas introduit de délai entre les deux phases. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. La phase d'apprentissage était la même que pour l'expérience 1. Les participants voyaient apparaître à l'écran les formes présentées ou non avec un bruit blanc et devaient indiquer pour chaque forme s'il s'agissait d'un carré ou d'un cercle (Figure 16).

Phase d'amorçage. Après la phase d'apprentissage, les participants réalisaient la phase d'amorçage. Ils voyaient apparaître à l'écran une amorce constituée d'un carré ou d'un cercle) puis la cible, une image d'objet. La tâche était de catégoriser l'objet représenté en indiquant s'il était typiquement grand ou petit. Pour répondre les participants utilisaient les touches du clavier sur lesquelles nous avons collé une gommette « G » pour grand (sur la touche « Q » du clavier) et « P » pour petit (sur la touche « M » du clavier). Les touches de réponse étaient contrebalancées entre les participants.

Les amorces présentées lors de la phase d'amorçage étaient les mêmes que pour l'expérience 1 et pouvaient être de la catégorie Basse Fréquence d'Association ou Haute Fréquence d'Association, sonores ou non sonores à l'apprentissage. Ici nous avons remplacé les sons cibles par des images d'objets. La tâche du participant est donc de catégoriser la cible sur la propriété de taille et pas sur la propriété sonore.

La phase d'amorçage était constituée de 64 essais, les 8 amorces étant présentées 1 fois chacune (avec les 64 images). La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 20 présente le déroulement d'un essai et les temps de présentation pour la phase d'amorçage.

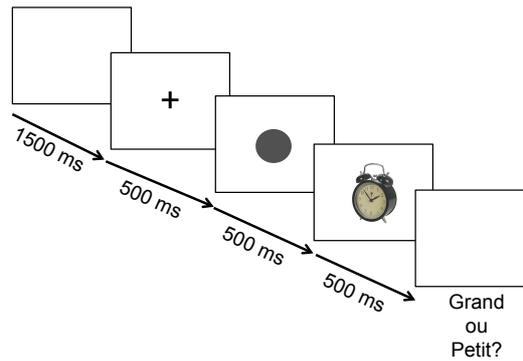


Figure 20. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'amorçage.

Résultats Expérience 2

Les temps de réponses ont été triés selon des critères identiques à ceux de l'expérience 1.

Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses moyen était de 93.4%, nous n'avons pas effectué d'analyses statistiques.

Les temps de réponse par condition expérimentale sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Moyennes des temps de réponses (TR) à l'apprentissage. HFA : Haute Fréquence d'Association, BFA : Basse Fréquence d'Association. M= Moyenne ; E.T= Ecart-Type.

	HFA		BFA	
	Sonore (Non Isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
M ± E.T	396 ± 28	429 ± 51	405 ± 39	419 ± 38

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets, la FREQUENCE (Haute Fréquence d'Association (HFA) vs Basse Fréquence d'Association (BFA)) et la SONORITE des amorces (sonore vs non sonore).

L'analyse de variance a révélé un effet de la SONORITE, $F(1,47)=44.26$; $p<.001$; $\eta_p^2=.49$.

Les participants étaient plus rapides à traiter une forme sonore présentée avec un bruit blanc (400 ms ± 34.0) par rapport à une forme non sonore (424 ms ± 44.8).

Contrairement à l'expérience 1, l'analyse a également révélé une interaction FREQUENCE*SONORITE, $F(1,47)=10.47$; $p<.01$; $\eta_p^2=.18$. Les participants étaient toujours plus rapides à traiter les formes accompagnées d'un son, mais cette différence était plus importante pour la catégorie majoritairement sonore (Figure 21).

Les participants étaient à la fois sensibles à la présence d'un son à l'apprentissage et à la fréquence d'association entre les formes et le son.

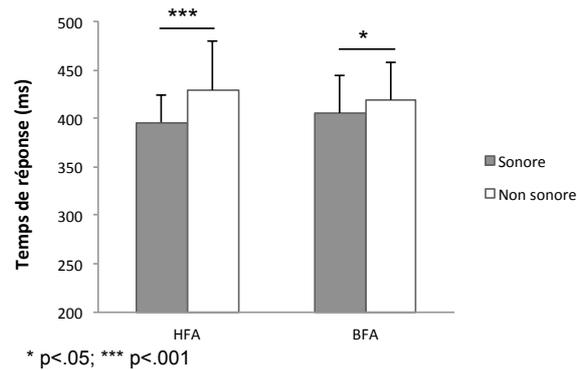


Figure 21. Temps de réponse moyens pour le traitement des stimuli à l'apprentissage en fonction de la fréquence d'association et de la sonorité. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Phase d'amorçage

Les temps de réponse par condition expérimentale sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11. Temps de réponse moyens (en ms) à l'amorçage. HFA : Haute Fréquence d'Association et BFA : Basse Fréquence d'Association.

TR(ms)	HFA		BFA	
	Sonore (Non isolé)	Non sonore (Isolé)	Sonore (Isolé)	Non sonore (Non isolé)
Cible sonore	698 ± 101	737 ± 124	732 ± 114	736 ± 109
Cible non sonore	699 ± 111	671 ± 107	673 ± 109	686 ± 96

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets, la FREQUENCE (Haute Fréquence d'Association (HFA) vs Basse Fréquence d'Association (BFA)), la SONORITE des amorces (sonore vs non sonore) et la SONORITE des cibles (cible sonore vs cible non sonore).

L'analyse de variance a révélé un effet du facteur SONORITE CIBLE, $F(1,47)=26.75$; $p<.001$; $\eta_p^2=.36$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand les cibles étaient non sonores (682 ms \pm 106) par rapport aux cibles sonores (726 ms \pm 112).

Nous avons observé une interaction SONORITE AMORCE*SONORITE CIBLE, $F(1,47)=6.11$; $p<.05$; $\eta_p^2=.12$. Les comparaisons planifiées ont révélé que la présentation d'une amorce sonore (présentée avec un son à l'apprentissage) facilite le traitement des objets cibles sonores mais pas des objets cibles non sonores (voir Figure 22).

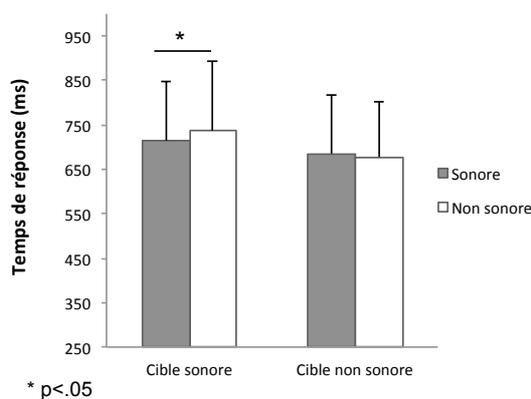


Figure 22. Temps de réponse moyens pour le traitement des objets cibles en fonction de la sonorité de l'amorce et de la sonorité de la cible. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Nous avons observé une double interaction FREQUENCE*SONORITE AMORCE*SONORITE CIBLE, $F(1,47)=6.74$; $p=.01$; $\eta_p^2=.13$. Nous avons effectué une analyse de variance pour chaque condition de FREQUENCE avec comme facteurs intra-sujets la SONORITE de l'AMORCE et la SONORITE de la CIBLE.

Pour la Haute Fréquence d'Association nous avons observé un effet de la SONORITE de la CIBLE $F(1,47)=7.30$; $p<.01$; $\eta_p^2=.13$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand les cibles étaient non sonores (685 ms \pm 109) par rapport aux cibles sonores (717 ms \pm 114).

Nous avons également observé une interaction SONORITE AMORCE*SONORITE CIBLE, $F(1,47)=10.13$; $p<.01$; $\eta_p^2=.18$. Il y avait un effet d'amorçage, les participants étaient plus rapides pour traiter la cible sonore si l'amorce était sonore (Figure 23).

Pour la Basse Fréquence d'Association nous avons observé uniquement un effet de la SONORITE de la CIBLE, $F(1,47)=29.58$; $p<.001$; $\eta_p^2=.39$. Les temps de réponse étaient

plus rapides quand les cibles étaient non sonores (679 ms ± 102) par rapport aux cibles sonores (734 ms ± 111).

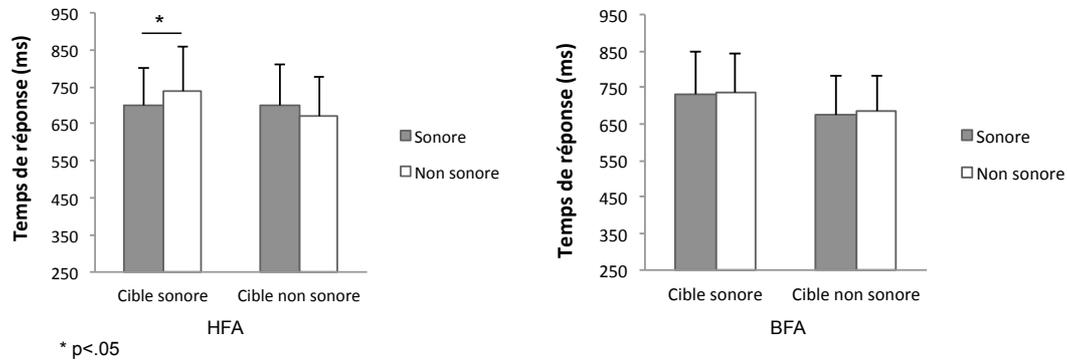


Figure 23. Temps de réponse moyens pour le traitement de la cible en fonction de la sonorité de l'amorce et de la sonorité de la cible. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Discussion Expérience 2

Le but de cette deuxième expérience était d'étudier les effets de généralisation et de discrimination en utilisant un matériel plus écologique. Cette expérience a été réalisée sans délai entre les phases d'apprentissage et d'amorçage afin de valider tout d'abord la modification du matériel. L'expérience 2 s'intéressait à ces effets dans le cadre de traitement d'images d'objets. Nous avons utilisé des images car ce matériel nous semblait plus conforme aux expériences de la vie courante d'un individu. Il nous semblait que les images d'objets faciliteraient également la réactivation des composants sensoriels qui leur sont associés. L'expérience 2 consistait donc à reprendre l'expérience 1, en modifiant les cibles à l'amorçage, sans introduire de délai entre les deux phases dans un premier temps afin de valider ce nouveau paradigme.

Nous avons constaté qu'à l'apprentissage, les participants étaient plus rapides à traiter les stimuli bi-modaux (présentés avec un bruit blanc) par rapport aux stimuli uni-modaux. Cette différence était d'autant plus importante que la forme présentée appartenait à la catégorie majoritairement sonore. Les participants étaient donc sensibles à la fréquence d'association entre les formes et le son à l'apprentissage. Nous nous attendions donc à ce que cette sensibilité à l'apprentissage facilite l'émergence des effets de généralisation et de discrimination.

Concernant la phase d'amorçage, nous avons constaté que les amorces qui étaient associées à du son lors de l'apprentissage facilitaient le traitement des images d'objets

sonores mais uniquement si l'amorce appartenait à une catégorie majoritairement sonore. Autrement dit, quand la propriété sonore était portée à la fois par l'amorce elle-même et par la catégorie de celle-ci, la réactivation de la propriété sonore facilitait le traitement des images sonores. Ces résultats étaient surprenants car ils suggéraient un effet de discrimination uniquement pour la catégorie Haute Fréquence d'Association, ce qui était contraire à nos hypothèses de départ. Il nous semblait que le protocole utilisé dans cette expérience serait difficilement applicable à l'introduction d'un délai entre l'apprentissage et l'amorçage.

Nous nous sommes interrogés sur la pertinence du matériel utilisé. En effet, le matériel présenté à l'apprentissage était un matériel sans signification. Dans ce cas, ces associations arbitraires entre des formes et un son auraient pu être considérées comme des interférences. Or, comme nous l'avons évoqué précédemment, le sommeil interviendrait notamment dans la protection contre les interférences (Diekelmann & Born, 2010; Ellenbogen, Hulbert, et al., 2006; Rasch & Born, 2013). Cela pourrait en partie expliquer les résultats de notre première expérience.

D'autre part, la mesure des effets de généralisation et de discrimination reposait ici sur des effets d'amorçage et donc principalement sur les temps de réaction. Les effets sur les temps de réaction pourraient être très faibles et disparaître après un délai de douze heures. Il nous semblait intéressant d'utiliser des tâches plus similaires à celles utilisées dans les études sur la consolidation mnésique au cours du sommeil. En effet, la plupart des études s'intéressant aux liens entre sommeil et mémoire ont utilisé des tâches verbales ou des tâches visuo-spatiales. Dans ce travail de thèse nous souhaitons de prime abord utiliser un matériel constitué de formes et de tonalités afin de contrôler au maximum les réactivations en mémoire. Mais il semblerait qu'un matériel plus pertinent et plus écologique serait mieux consolidé au cours du sommeil. Dans l'expérience suivante, nous avons utilisé une tâche de reconnaissance de phrases inspirée de l'expérience 2 réalisée par Reinitz et al. (Reinitz, Lammers, & Cochran, 1992). Dans cette expérience ils ont présenté aux participants des phrases composées de deux éléments de type « X voit Y » (par exemple « le chat voit la mère »). Ils ont montré qu'au rappel les participants faisaient 4 types d'erreurs : des erreurs de « conjonction » où ils combinaient deux éléments provenant de deux phrases vues, des erreurs « feature » où ils combinaient un élément vu avec un élément nouveau, des erreurs « inversion » où ils inversaient les éléments d'une phrase vue et enfin des erreurs « incomplètes » où ils n'avaient qu'un seul élément sur les deux. Les auteurs ont observé que les participants faisaient significativement plus d'erreurs de conjonction que d'autres types d'erreurs. Si le sommeil favorise l'intégration au sein de la trace, nous devrions observer de

meilleures performances dans la condition « ancien » pour le groupe sommeil par rapport au groupe éveil. De plus, nous nous attendions à ce que le sommeil réduise particulièrement les erreurs de type « conjonction ».

5.3 Expérience 3

Méthode Expérience 3

Participants : 16 participants âgés de 20 à 29 ans ont participé à cette expérience ($M = 23.6 \text{ ans} \pm 2.8$). Les participants étaient tous de langue maternelle française ou parlaient couramment le français. Leur vue et leur ouïe étaient normales ou corrigées à la normale et étaient jugées de satisfaisantes à excellentes. Nous avons également évalué la somnolence diurne à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) et la qualité du sommeil à l'aide de l'index de qualité de sommeil de Pittsburgh (Buysse et al., 1989) avant la passation de l'expérience. Les scores de qualité de sommeil étaient de 7.1 ± 2.4 pour le groupe éveil et de 4.9 ± 3.0 pour le groupe sommeil. Les scores de somnolence diurne étaient de 6.7 ± 2.8 pour le groupe éveil et de 6.3 ± 3.9 pour le groupe sommeil. Les participants étaient pour la majorité recrutés à l'université Lumière Lyon 2 et étaient tous volontaires pour participer à l'expérience. Aucune rémunération ne leur a été donnée en échange de leur participation.

Matériel: Pour le matériel nous nous sommes inspirés de l'expérience 2 de Reinitz et al. (Reinitz et al., 1992). Nous avons construit 54 phrases de type « X voit Y ». X et Y pouvant être des animaux ou des personnes. Dans la moitié des phrases X était une personne et Y un animal (« le castor voit le savant »). Dans l'autre moitié X était un animal et Y une personne (« la tante voit le sanglier ») (annexe 4).

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel SuperLab 4 (Cedrus Corporation, San Pedro, CA, USA). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en trois phases : une phase d'apprentissage, une phase de reconnaissance pré-délai et une phase de reconnaissance post-délai. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour toutes les phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible.

Phase d'apprentissage. Les participants voyaient apparaître à l'écran les différentes phrases et devaient les lire à haute voix. Les phrases défilaient sans intervention des participants.

L'expérimentateur restait dans la salle afin de vérifier que les participants lisaient bien toutes les phrases à voix haute.

La phase d'apprentissage contenait 24 essais, un pour chaque phrase. La présentation des essais se faisait selon un ordre aléatoire. Un essai était constitué d'une croix de fixation qui restait affichée pendant 500 ms puis d'une phrase pendant 2000 ms. La figure 24 présente un exemple de phrases utilisées lors de l'apprentissage.

le castor voit le savant
le kangourou voit le menuisier
la tante voit le sanglier
l'escroc voit l'alligator

Figure 24. Exemple de phrases présentées lors de la phase d'apprentissage.

Phase de reconnaissance pré-délai. Les participants voyaient apparaître à l'écran des phrases et pour chacune, ils devaient indiquer s'ils l'avaient vue ou non lors de la phrase d'apprentissage. Pour répondre les participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre OUI (gommette collée sur la touche « F » du clavier) et sur la touche blanche pour répondre NON (gommette collée sur la touche « J » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

La phase de reconnaissance pré-délai contenait 48 essais, 24 essais « ancien » et 24 essais « nouveau ». La présentation des essais se faisait selon un ordre aléatoire. Un essai était constitué d'une croix de fixation qui apparaissait pendant 500 ms puis la phrase restait à l'écran jusqu'à la réponse du participant.

Après la phase d'apprentissage, la moitié des participants avait un délai composé d'une période d'éveil (groupe éveil), ils réalisaient la phase d'apprentissage et la phase de reconnaissance pré-délai le matin (à huit heures) et réalisaient la phase de reconnaissance post-délai le soir (à vingt heures). L'autre moitié des participants avait un délai principalement composé d'une période de sommeil (groupe sommeil), ils réalisaient la phase d'apprentissage et la phase de reconnaissance pré-délai le soir et réalisaient la phase de reconnaissance post-délai le matin. La nuit de sommeil se déroulait à domicile pour qu'elle soit le plus similaire possible aux conditions habituelles de chaque participant.

L'enregistrement du sommeil était effectué par actimétrie (Actiwatch 7, CamNtech, Cambridge).

Phase de reconnaissance post-délai. Après le délai, les participants réalisaient une tâche de reconnaissance. Ils voyaient apparaître à l'écran des phrases et pour chacune ils devaient indiquer s'ils l'avaient vue ou non lors de la phrase d'apprentissage (le matin pour le groupe « éveil » ou la veille pour le groupe « sommeil »). Cette phase de reconnaissance post-délai était constituée de 24 essais, 6 essais « ancien », 6 essais « feature », 6 essais « conjonction » et 6 essais « nouveau ». Les phrases de la condition « ancien » avaient été présentées à l'apprentissage. Les phrases de la condition « feature » étaient composées d'un élément ancien et d'un élément « nouveau ». Les phrases de la condition « conjonction » étaient composées de deux éléments anciens appartenant à deux phrases différentes. Enfin les phrases de la condition « nouveau » étaient totalement nouvelles (Figure 25). Les phrases dans chaque condition ont été contrebalancées entre les participants et la présentation des essais se faisait selon un ordre aléatoire. Pour répondre, les participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre OUI (gommette collée sur la touche « F » du clavier) et sur la touche blanche pour répondre NON (gommette collée sur la touche « J » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants. Ils devaient ensuite donner un degré de certitude à leur réponse en cliquant sur une échelle de Likert de 1 (pas sûr du tout) à 9 (tout à fait sûr).

Ancien: le castor voit le savant

Nouveau: la poule voit la servante

Feature: le kangourou voit le vendeur

Conjonction: la tante voit l'alligator

Figure 25. Exemples de stimuli présentés lors de la phase de reconnaissance post-délai.

Un essai était constitué d'une croix de fixation qui apparaissait pendant 500 ms puis de la phrase qui apparaissait jusqu'à la réponse du sujet, enfin l'échelle de likert qui était affichée jusqu'à ce que le participant clique sur le chiffre correspondant à sa réponse.

Résultats Expérience 3

Nous avons analysé les taux de bonnes réponses pour les deux tâches de reconnaissance ainsi que les degrés de certitude pour la tâche de reconnaissance post-délai. Nous avons éliminé les données d'un participant du groupe sommeil car sa nuit de sommeil était trop réduite (<4 heures de sommeil) par rapport aux autres participants.

Phase de reconnaissance pré-délai

Il n'y avait pas de différences pour les taux de bonnes reconnaissances entre le groupe éveil (91.9% \pm 7.7) et le groupe sommeil (94.9 \pm 4.7), $t(14)=-1.86$.

Phase de reconnaissance post-délai

Les taux de réponses « oui » et les degrés de certitude pour les différentes conditions sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12. Taux de réponses « oui » et degrés de certitude (sur une échelle de 1 à 9) par condition pour la tâche de reconnaissance post-délai.

Taux de réponses “oui”				
	Ancien	Nouveau	Feature	Conjonction
Eveil	87.5 \pm 11.8	12.5 \pm 14.8	20.8 \pm 14.8	60.4 \pm 15.3
Sommeil	77.1 \pm 17.7	4.2 \pm 7.7	31.3 \pm 13.9	56.3 \pm 25.1
Degrés de certitude				
	Ancien	Nouveau	Feature	Conjonction
Eveil	7.1 \pm 1.8	5.4 \pm 1.7	6.5 \pm 2.2	7.2 \pm 1.4
Sommeil	7.3 \pm 1.0	6.5 \pm 0.7	5.5 \pm 1.8	7.9 \pm 0.9

Il n'y avait aucune différence pour les taux de réponses « oui » entre les groupes éveil et sommeil pour la condition « ancien » $t(14)=1.39$; pour la condition « nouveau » $t(14)=1.41$; pour la condition « feature » $t(14)=-1.45$; et pour la condition « conjonction » $t(14)=0.40$.

Il n'y avait aucune différence pour les degrés de certitude entre les groupes éveil et sommeil pour la condition « ancien » $t(14)=-0.29$; pour la condition « nouveau » $t(14)=-0.86$; pour la condition « feature » $t(14)=1.05$ et pour la condition « conjonction » $t(14)=-1.12$.

Données de sommeil

Nous avons enregistré la nuit de sommeil des participants à l'aide d'un actimètre. Nous avons mesuré le temps passé au lit qui correspond au temps entre l'extinction des lumières le soir et leur allumage le matin. Le temps de sommeil qui a été calculé par la différence entre l'heure de fin de sommeil et le début de sommeil. Le temps d'éveil qui correspond au temps passé éveillé après le début du sommeil. Enfin, l'efficacité de sommeil qui représente le ratio du temps de sommeil sur le temps passé au lit. Les données recueillies sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13. Données de sommeil recueillies par actimétrie.

Temps passé au lit (min)	403.4 ± 81.8
Temps sommeil (min)	361.3 ± 83.6
Temps éveil (min)	32.5 ± 23.1
Efficacité sommeil (%)	89.2 ± 6.2

Discussion Expérience 3

Le but de cette expérience était d'étudier l'effet du sommeil sur le processus d'intégration multi-composants avec un matériel plus écologique qui nous semblait plus adapté à l'introduction d'un délai. Nous avons donc adapté un paradigme largement utilisé dans les études sur la mémoire, le paradigme des conjonctions illusoire. Nous nous attendions à ce que le sommeil diminue le pourcentage d'erreurs (réponses « oui ») pour les items de conjonction. Nous n'avons observé aucun des effets attendus dans cette expérience. Aucune différence n'est apparue entre le groupe éveil et le groupe sommeil pour les conditions « ancien », « nouveau », « feature » et « conjonction ».

La première difficulté au niveau de l'interprétation des résultats vient du trop faible nombre de participants dans chacun des groupes expérimentaux. L'absence de résultat significatif vient-elle de ce faible effectif ou bien d'une réelle absence d'effet du sommeil ? Il n'est pas possible de répondre à cette question avec cette seule expérience.

Bien que les différences entre les groupes éveil et sommeil n'aient pas été significatives, il était important de noter que le groupe sommeil avait un pourcentage de réponse « oui » inférieur à celui du groupe éveil pour les conditions « ancien », « nouveau » et

« conjonction ». Nous nous attendions à une réduction des erreurs pour les items « conjonction » par renforcement de l'intégration multi-composants. De la même manière nous pouvions nous attendre à une réduction des erreurs pour les items « nouveau » car la consolidation mnésique au cours du sommeil devrait permettre de mieux rejeter les nouveaux items. En revanche, la différence pour la condition « ancien » entre les groupes éveil et sommeil nous semble particulièrement surprenante car elle est contraire à nos hypothèses. Il se pourrait que le rôle du sommeil soit plus important pour ce qui est de réduire les erreurs de reconnaissance sans pour autant consolider les phrases en elles-mêmes. Cependant, il nous semble difficile de discuter plus précisément ces résultats non significatifs.

D'autre part, le matériel et le paradigme utilisés pourraient être en cause dans l'absence des résultats. En effet dans l'expérience 2 de Reinitz et al., (1992), la tâche utilisée était une tâche de rappel, alors que dans notre expérience, nous avons utilisé une tâche de reconnaissance. Il se pourrait que la tâche de reconnaissance soit trop facile pour nos participants et cela expliquerait l'absence d'effet dans notre étude. Nous avons utilisé 24 phrases dans notre étude contre 18 dans l'expérience d'origine. Il se pourrait également qu'il y ait eu trop de phrases présentées à l'apprentissage ne permettant aux participants de les mémoriser correctement et de les rappeler après le délai de douze heures.

Enfin les erreurs de conjonction ont été mises en évidence avec d'autres types de matériel : des mots composés, des visages ou encore des mots simples (Jones & Jacoby, 2001; Reinitz et al., 1992; Rubin, Petten, Glisky, & WM, 1999). Nous pourrions faire varier le matériel utilisé dans une prochaine expérience afin de voir si les effets du sommeil sur l'intégration multi-composants varient selon le type de matériel.

En résumé, cette troisième expérience nous a permis d'observer quelques différences intéressantes bien que non significatives. Dans de futures expériences, nous pourrions réduire le nombre de phrases, modifier le matériel, inclure davantage de participants afin d'étudier l'effet du sommeil sur l'intégration multi-composants et les erreurs de conjonction.

Conclusion Chapitre 5

Les expériences décrites dans ce chapitre avaient pour but d'étudier les effets du sommeil sur l'intégration des composants sensoriels au sein de la trace. Pour cela nous nous sommes tout d'abord inspirés des protocoles utilisés au sein de notre équipe. Ces protocoles, surtout utilisés pour étudier uniquement la mémoire et les processus sous-jacents, comportent un matériel construit en laboratoire, constitué de formes sans signification et de sons. Ces associations ont été créées pour l'expérience et permettaient de contrôler les réactivations associées au matériel alors qu'un autre matériel engendrerait des activations diverses en fonction des individus. Par exemple un cercle associé à un son présente une situation plus « pure » qu'une image de chien qui peut réactiver des expériences différentes en fonction de chacun. Cependant, afin d'étudier les effets du sommeil sur la mémoire, il faudrait que le matériel corresponde davantage à ce que l'individu perçoit dans la vie quotidienne. C'est ce que nous avons cherché à faire dans la troisième expérience. Nous pourrions dans des expériences futures continuer avec un matériel plus pertinent comme des phrases, des images ou des paires de mots.

Cet axe de recherche s'intéressait tout particulièrement à l'effet du sommeil sur l'intégration multi-composants. L'idée de départ étant que le sommeil, en renforçant l'intégration entre les composants de la trace, renforcerait celle-ci et la rendrait plus explicite. Suite aux différentes expériences réalisées, nous n'avons pas pu confirmer ou infirmer cette hypothèse. Cependant comme nous l'avons évoqué, l'explicitation des connaissances au cours du sommeil pourrait reposer également sur l'activation inter-traces, permettant de faire des liens entre les traces et de faire émerger de nouvelles connaissances. Nous avons mené une série d'expériences afin d'étudier cet effet du sommeil sur l'activation inter-traces.

Chapitre 6

Sommeil et émergence de nouvelles connaissances

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre précédent, nous avons émis l'hypothèse que le sommeil permettrait à une connaissance implicite de devenir explicite en renforçant l'intégration multi-composants. Dans le présent chapitre nous tenterons de comprendre l'effet du sommeil sur l'émergence de nouvelles connaissances. Cette émergence de nouvelles connaissances peut être rapprochée des notions d'insight ou de créativité décrites dans la littérature (Cai et al., 2009; Wagner et al., 2004; Yordanova et al., 2008). La créativité a été définie comme la formation de nouvelles combinaisons entre des éléments associés pouvant présenter une certaine utilité. (Mednick, 1962). Il existerait plusieurs moyens d'aboutir à une solution créative : la « sérendipité » c'est à dire le caractère fortuit de la solution, la similarité entre les éléments associés permettant de faire émerger la solution et la médiation par un ou des éléments communs. La solution créative peut être obtenue par un seul de ces moyens ou par plusieurs moyens combinés. De nombreuses découvertes scientifiques et artistiques ont été décrites comme résultant de ce processus créatif et apparaissant fréquemment après une période de sommeil. Des études ont par ailleurs montré que le sommeil a un effet bénéfique sur l'apparition d'insight (Wagner et al., 2004) mais également sur la créativité (Cai et al., 2009; Ellenbogen et al., 2007).

Nous avons cherché à interpréter cet effet du sommeil sur la créativité dans le cadre du modèle Act-In. Nous avons émis l'hypothèse que le sommeil favoriserait l'activation inter-traces au moment de la récupération permettant ainsi l'émergence de nouvelles connaissances. Plus précisément, le sommeil permettrait de faire émerger les éléments communs à plusieurs traces (par l'activation inter-traces) et cette réactivation des éléments communs permettrait de créer de nouveaux liens. Nous pourrions alors établir des liens entre des éléments qui pourtant n'étaient pas liés. Afin de vérifier ces hypothèses, nous avons créé un paradigme inspiré du paradigme de Lau et al. (2010). Dans cette expérience, les participants apprenaient

des associations entre des objets et des visages, les mêmes objets étant associés à deux visages différents. Après une période de sommeil (comparée à une période d'éveil) les participants avaient de meilleures performances pour lier les deux visages associés aux mêmes objets bien que ceux-ci n'avaient jamais été présentés ensemble. En nous inspirant de ce paradigme, nous avons présenté aux participants des associations constituées de deux éléments sensoriels : des associations entre des formes et des couleurs et des associations entre des couleurs et des textures. Chaque association possédait donc un élément commun, la couleur. Nous avons utilisé un paradigme d'amorçage afin de mettre en évidence un effet du sommeil sur la création de liens entre des éléments non présentés ensemble. Nous avons présenté en amorce la couleur ou la texture et en cible la forme. Quand l'amorce était une couleur, le lien entre l'amorce et la cible était direct car ils avaient été présentés ensemble à l'apprentissage. Quand l'amorce était une texture, le lien était indirect car la forme et la texture n'avaient jamais été présentées ensemble à l'apprentissage mais possédaient un élément commun (la couleur) (voir figure 26).

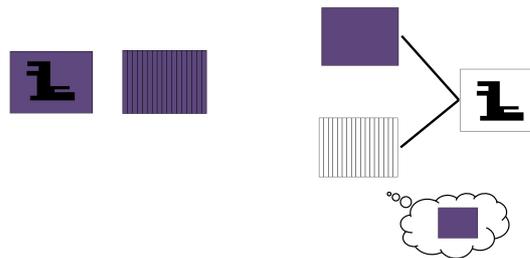


Figure 26. Représentation du paradigme de l'expérience 1.

Nous avons réalisé deux expériences : une expérience sans délai entre l'apprentissage et l'amorçage et une expérience avec un délai constitué d'éveil ou de sommeil. Pour la première expérience, nous pensions observer un effet d'amorçage uniquement quand le lien entre l'amorce et la cible était direct car selon nous, le sommeil, plus que l'éveil, permettrait de faire apparaître un lien indirect entre les éléments. Notre hypothèse était que le sommeil favoriserait l'activation inter-traces à la récupération et ferait émerger un lien entre des éléments non liés au départ. Nous nous attendions donc dans la deuxième expérience à observer un effet d'amorçage pour le lien direct pour les groupes éveil et sommeil mais un effet d'amorçage pour le lien indirect uniquement pour le groupe sommeil.

6.1. Expérience 1

6.1.1 Expérience 1a sans délai

Méthode Expérience 1a

Participants : 20 participants âgés de 19 à 28 ans ont pris part à cette expérience (21.7 ans \pm 2.8). Les participants étaient tous de langue maternelle française, ou parlaient couramment la langue française. Leur vue et leur ouïe étaient normales ou corrigées à la normale et étaient jugées de satisfaisantes à excellentes. Les participants étaient pour la majorité recrutés à l'université Lumière Lyon 2 et étaient tous volontaires pour participer à l'expérience. Aucune rémunération ne leur a été donnée en échange de leur participation.

Matériel: Les stimuli présentés ont été construits à l'aide du logiciel Gimp. Nous avons créé 10 formes non symboliques remplies de noir (5 formes aux contours anguleux et 5 formes aux contours arrondis). Le volume de remplissage était identique pour toutes les formes. Nous avons également sélectionné 20 couleurs et 20 textures distinctes. Ce matériel nous a permis de créer des associations entre les formes et les couleurs et des associations entre les couleurs et les textures. Nous avons construit au total 40 couples de stimuli, 20 couples Forme/Couleur (chaque forme étant associée à 2 couleurs distinctes) et 20 couples Couleur/Texture (annexe 5). Chaque couple était spécifique mais les formes et les textures avaient une couleur en commun c'est-à-dire que la couleur associée à une forme donnée était également associée à une texture donnée (figure 27). Les 40 couples ainsi créés nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants. 20 couples ont été utilisés pour la moitié des participants et les 20 autres pour l'autre moitié. Toutes les formes, couleurs, textures et associations étaient présentées à l'intérieur d'un rectangle (482 x 372 cm).

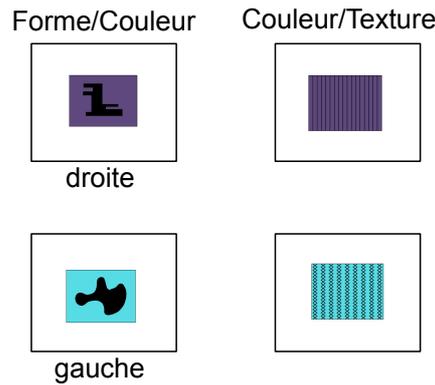


Figure 27. Un exemple d'associations Forme/Couleur et Couleur/Texture présentées à l'apprentissage.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase d'amorçage. Pour chacune, les participants devaient répondre en utilisant les boutons noir et blanc placés à gauche et à droite d'une Button Box (IoLab System). Pour les deux phases, on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Les participants voyaient apparaître à l'écran une première association (Forme/Couleur ou Couleur/Texture) puis une seconde association (du même type que la première). Ils devaient indiquer si la seconde association était identique ou différente de la première. Ils devaient appuyer sur le bouton noir pour répondre « identique » et sur le bouton blanc pour répondre « différent ». Les touches de réponses étaient contrebalancées entre les sujets. La figure 28 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran.

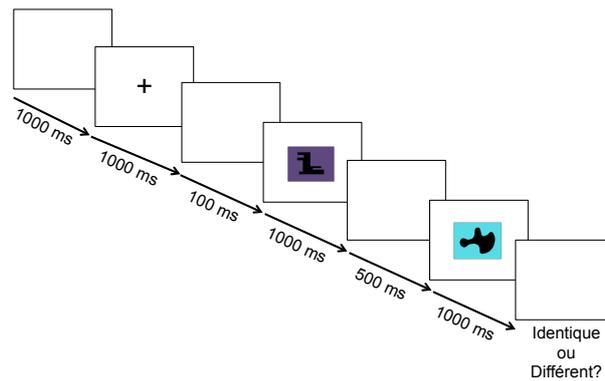
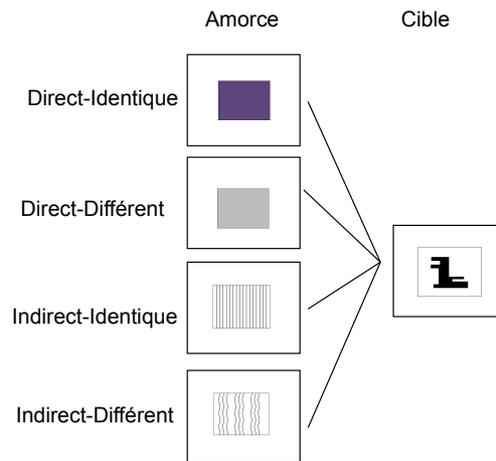


Figure 28. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'apprentissage.

La phase d'apprentissage contenait 10 essais d'entraînement suivis de 160 essais, les 20 couples étant présentés 8 fois chacun (4 fois dans la condition « identique » et 4 fois dans la condition « différent »). Les essais étaient présentés selon un ordre pseudo-aléatoire.

Phase d'amorçage. Les participants voyaient apparaître à l'écran l'amorce (soit une couleur soit une texture) puis la cible, une forme. La tâche était de catégoriser la forme cible en indiquant si cette forme était anguleuse ou arrondie. Les participants devaient appuyer sur le bouton noir de la Button Box pour répondre « anguleuse » et sur le bouton blanc pour répondre « arrondie ». Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

Dans le cas où l'amorce était une couleur, le lien entre l'amorce et la cible était direct car les couleurs avaient toujours été présentées directement avec les formes à l'apprentissage (associations Forme/Couleur). Dans le cas où l'amorce était une texture, le lien entre l'amorce et la cible était indirect car, bien que les textures n'aient jamais été directement associées aux formes à l'apprentissage, les associations Forme/Couleur et Couleur/Texture possédaient un élément commun (la couleur) liant indirectement les formes et les textures. L'amorce pouvant également être identique (même couleur ou même texture que celle présentée à l'apprentissage) ou différente (nouvelle couleur ou nouvelle texture). La figure 29 présente les différentes conditions d'amorçage pour cette phase.



La figure 29. Exemples d’amorces présentées lors de la phase d’amorçage.

La phase d’amorçage était constituée de 80 essais, les 4 types d’amorce étant présentées 2 fois chacune pour les 10 formes. Les essais étaient présentés selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 30 présente le déroulement d’un essai et les temps de présentation pour la phase d’amorçage.

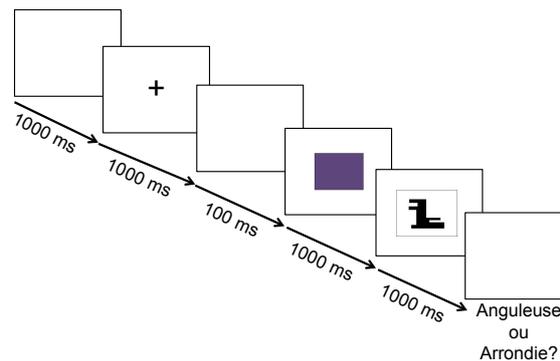


Figure 30. Déroulement d’un essai au cours de la phase d’amorçage.

Résultats Expérience 1a

Les temps de réponse inférieurs à 250 ms et supérieurs à 1250 ms ainsi que les temps de réponse s’éloignant de plus de 3 écarts-types de la moyenne par condition n’ont pas été pris en compte. Seuls les temps de réponses correspondant aux réponses correctes ont été conservés pour l’analyse. Pour la tâche de catégorisation, si les taux de bonnes réponses étaient supérieurs à 90%, les performances étaient considérées comme plafond et aucune analyse statistique n’était effectuée.

Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses à la phase d'apprentissage était de 97.7%.

Phase d'amorçage

Les participants avaient un taux de bonnes réponses de 96.4% pour la tâche de catégorisation.

Les temps de réponse pour la tâche de catégorisation sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14. Temps de réponse moyens (en ms) et écarts-types par condition pour la phase d'amorçage de l'expérience 1a.

	Direct		Indirect	
	Différente	Identique	Différente	Identique
Arrondie	516 ± 86	511 ± 87	516 ± 100	530 ± 93
Anguleuse	542 ± 106	531 ± 96	558 ± 104	548 ± 101

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets le LIEN (Direct vs Indirect), le TYPE D'AMORCE (Différente vs Identique) et le type de FORME (Anguleuse vs Arrondie).

L'analyse de variance a uniquement révélé un effet de la FORME, $F(1,19)=17.31$; $p<.001$; $\eta_p^2=.48$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand les formes cibles étaient arrondies ($M= 518$ ms ± 90) par rapport aux formes anguleuses ($M= 545$ ms ± 100).

6.1.2 Expérience 1b avec délai

Méthode Expérience 1b

Participants : 16 nouveaux participants âgés de 21 à 29 ans ont participé à cette expérience ($M=23.8$ ans ± 2.5). Les critères de sélection des participants étaient les mêmes que pour l'expérience 1a. Nous avons également évalué la somnolence diurne à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) et la qualité du sommeil à l'aide de l'index de qualité de

sommeil de Pittsburgh (Buysse et al., 1989) avant l'inclusion des participants. Seuls les participants ayant une somnolence diurne faible (score inférieur à 10) et une bonne qualité de sommeil (score inférieur à 8) ont été retenus pour participer à l'expérience.

Matériel

Le matériel utilisé était le même que pour l'expérience 1a.

Procédure

La procédure était la même que celle de l'expérience 1a avec un délai entre la phase d'apprentissage et la phase d'amorçage.

Le groupe éveil effectuait la phase d'apprentissage le matin (à huit heures) et la phase d'amorçage le soir (à vingt heures) et avait un délai constitué d'éveil. Le groupe sommeil effectuait la phase d'apprentissage le soir et la phase d'amorçage le matin et avait un délai principalement constitué de sommeil. Nous n'avons pas effectué de mesures du sommeil mais nous avons vérifié que le volume de sommeil des participants était supérieur à 6h30 à l'aide des réponses au questionnaire de qualité de sommeil de Pittsburgh.

Résultats Expérience 1b

Les temps de réponses ont été triés selon des critères identiques à ceux de l'expérience 1.

Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses à l'apprentissage était de 96.2% pour le groupe éveil et 96.6% pour le groupe sommeil.

Phase d'amorçage

Les taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation étaient de 96.9% pour le groupe éveil et de 94.2% pour le groupe sommeil.

Les temps de réponses pour la tâche de catégorisation sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15. Temps de réponse moyens (en ms) et écart-types par condition pour la phase d’amorçage de l’expérience 1b.

Anguleuses	Direct		Indirect	
	Différente	Identique	Différente	Identique
EVEIL	465 ± 72	466 ± 58	502 ± 59	486 ± 53
SOMMEIL	616 ± 137	627 ± 137	628 ± 141	622 ± 138
Arrondies	Direct		Indirect	
	Différente	Identique	Différente	Identique
EVEIL	459 ± 59	453 ± 76	493 ± 56	488 ± 56
SOMMEIL	605 ± 112	587 ± 109	582 ± 138	628 ± 138

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets le LIEN (Direct vs Indirect), le TYPE D’AMORCE (Différente vs Identique) et le type de FORME (Anguleuse vs Arrondie) et comme facteur inter-sujets le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

Cette analyse a révélé un effet du GROUPE, $F(1,14)=7.89$; $p<.05$; $\eta_p^2=.36$. Les temps de réponse étaient plus rapides pour le groupe éveil ($M= 476$ ms ± 60) par rapport au groupe sommeil ($M= 612$ ms ± 126).

Elle a également révélé un effet de la FORME, $F(1,14)=5.56$; $p<.05$; $\eta_p^2=.28$. Les temps de réponse étaient plus rapides pour les formes arrondies ($M= 537$ ms ± 115) par rapport aux formes anguleuses ($M= 551$ ms ± 125).

Nous avons observé un effet tendanciel du LIEN, $F(1,14)=4.35$; $p=.06$; $\eta_p^2=.24$. Les temps de réponse étaient plus rapides pour le lien direct ($M= 535$ ms ± 121) par rapport au lien indirect ($M= 553$ ms ± 118).

Enfin l’analyse a révélé une interaction LIEN*TYPE D’AMORCE*FORME, $F(1,14)=10.29$; $p<.01$; $\eta_p^2=.42$. Nous avons donc effectué une analyse séparée en fonction du type de formes.

Pour les formes anguleuses, l’analyse a révélé un effet du GROUPE, $F(1,14)=7.97$; $p<.05$; $\eta_p^2=.36$. Les temps de réponse étaient plus rapides pour le groupe éveil ($M= 480$ ms ± 60) par rapport au groupe sommeil ($M= 623$ ms ± 132).

Pour les formes arrondies, l’analyse a révélé un effet du GROUPE, $F(1,14)=7.57$; $p<.05$; $\eta_p^2=.35$. Les temps de réponse étaient plus rapides pour le groupe éveil ($M= 473$ ms ± 62) par

rapport au groupe sommeil ($M= 600 \text{ ms} \pm 121$). Elle a également révélé une interaction tendancielle LIEN*TYPE D'AMORCE*GROUPE, $F(1,14)=3.11$; $p<.10$; $\eta_p^2=.18$. Les comparaisons planifiées ont révélé que les participants étaient plus rapides pour l'amorce différente par rapport à l'amorce identique quand le lien était indirect, $F(1,14)=6.06$; $p<.05$ (Figure 31).

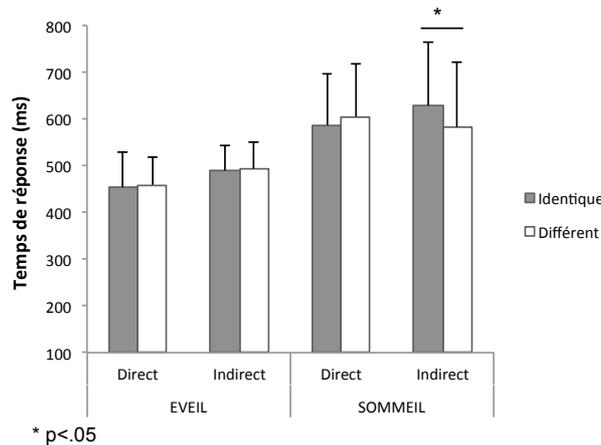


Figure 31. Temps de réponse moyens pour le traitement du son cible en fonction du lien, du type d'amorce et du groupe pour les formes arrondies. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Discussion Expérience 1

Le but de cette expérience était de comprendre dans quelle mesure le sommeil permettait de créer des liens entre deux éléments jamais présentés ensemble par réactivation de l'élément commun. L'hypothèse sous-jacente était que le sommeil favoriserait l'activation inter-traces à la récupération et que cette activation inter-traces permettrait l'émergence de l'élément commun à plusieurs traces.

Concernant l'expérience 1a sans délai nous n'avons observé aucun effet d'amorçage. Nous avons uniquement observé un effet de la forme, les formes arrondies étant catégorisées plus rapidement que les formes anguleuses.

Concernant l'expérience 1b avec délai, nous avons à nouveau observé un effet de la forme, les formes arrondies étant catégorisées plus rapidement que les formes anguleuses. Nous avons également observé un effet du groupe, les participants du groupe éveil étant plus rapides que les participants du groupe sommeil. Enfin nous avons observé deux effets tendanciels, un effet du lien, les temps de réponses étant plus courts pour le lien direct par rapport au lien indirect et une interaction entre le lien, le type d'amorce et le groupe. Nous avons donc

effectué une analyse de variance différente selon le type de forme. Pour les formes anguleuses nous avons uniquement observé un effet du groupe similaire à celui observé auparavant. En revanche, pour les formes arrondies, nous avons observé un effet pour le groupe sommeil se manifestant par des temps de réaction plus courts quand le lien était indirect et que l'amorce était différente.

Ainsi, contrairement à nos hypothèses, nous n'avons observé aucun effet d'amorçage pour le lien direct qu'il y ait un délai ou non. Autrement dit, la présentation de l'un des éléments sensoriels d'une association (couleur ou texture) n'a pas permis de faciliter le traitement de l'autre élément (la forme) bien qu'ils aient été directement associés à l'apprentissage. De plus, pour le lien indirect, le groupe sommeil a présenté une facilitation du traitement des formes arrondies par l'amorce différente contrairement à nos hypothèses. Il semblerait qu'en lien indirect, la réactivation de l'élément commun perturbe spécifiquement le traitement de la forme cible arrondie. Nous notons également que les deux types de formes cibles n'étaient pas traitées de la même manière, les formes arrondies étaient catégorisées plus rapidement que les formes anguleuses. Ce traitement différent des deux types de formes constitue un certain biais dans le matériel. En effet, les propriétés visuelles entre les différentes formes étaient plus variables que les propriétés visuelles entre les différentes textures, toutes anguleuses. Il nous a semblé qu'en harmonisant ces propriétés, les associations seraient plus fortes et permettraient l'émergence de l'élément commun après un délai constitué de sommeil. Nous avons donc modifié le matériel dans l'expérience suivante, et utilisé uniquement des formes anguleuses. Nous avons tenté de valider ce nouveau matériel sans délai afin de voir si ces nouvelles formes permettraient de faire émerger des associations directes. Le principe de l'expérience restait le même mais il n'y avait pas de délai entre l'apprentissage et l'amorçage. Nous nous attendions à observer un effet d'amorçage uniquement quand le lien entre l'amorce et la cible était direct, les participants devraient être plus rapides pour catégoriser les formes cibles si la couleur était identique à celle présentée à l'apprentissage.

6.2. Expérience 2

Méthode Expérience 2

Participants : 20 nouveaux participants âgés de 18 à 30 ans ($M=21.7$ ans \pm 2.9) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour l'expérience précédente.

Matériel: Les stimuli présentés ont été construits à l'aide du logiciel Gimp. Nous avons donc créé 10 formes anguleuses non symboliques remplies de noir. Le volume de remplissage était identique pour toutes les formes. Les formes pouvaient être plus découpées à gauche ou à droite. (Figure 32). Nous avons réutilisé les 20 couleurs et les 20 textures de l'expérience 1. Ce matériel nous a permis de créer des associations entre Formes et Couleurs (Forme/Couleur) et des associations entre Couleurs et Textures (Couleur/Texture) (annexe 6). Les 40 couples ainsi créés nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants. Toutes les formes, couleurs, textures et associations étaient présentées à l'intérieur d'un rectangle (482 x 372 cm).

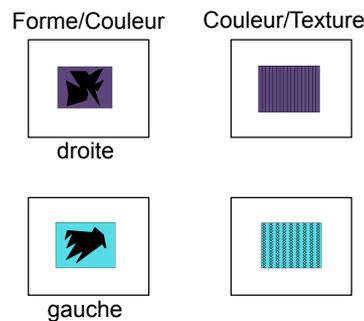


Figure 32. Exemple d'associations Forme/Couleur et Couleur/Texture présentées à l'apprentissage.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était constituée d'une phase d'apprentissage et d'une phase d'amorçage. Pour chaque phase, les participants devaient répondre en utilisant les boutons noir et blanc de la Button Box (IoLab System). On indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. La phase d'apprentissage était identique à celle de l'expérience précédente. Les participants voyaient apparaître à l'écran une première association (Forme/Couleur ou Couleur/Texture) puis une seconde et il devaient indiquer si la seconde association était identique ou différente de la première association.

La phase d'apprentissage contenait 10 essais d'entraînement suivis de 160 essais, les 20 couples étant présentés 8 fois chacun (4 fois dans la condition « identique » et 4 fois dans la condition « différent »). Les essais étaient présentés selon un ordre pseudo-aléatoire. Les temps de présentation étaient identiques à ceux de l'expérience 1.

Phase d'amorçage. La phase d'amorçage était identique à celle de l'expérience précédente. Les participants voyaient apparaître à l'écran l'amorce (soit une couleur soit une texture) puis la cible, une forme. La tâche était de catégoriser la forme cible en indiquant si cette forme était plus découpée à gauche ou à droite. Pour répondre les participants utilisaient à nouveau les boutons noir et blanc de la button box. Ils devaient appuyer sur le bouton noir à gauche de la button box pour répondre « gauche » et sur le bouton blanc à droite de la button box pour répondre « droite ». Les réponses étant latéralisées, les touches de réponse n'ont pas été contrebalancées entre les participants.

Le lien entre l'amorce et la cible pouvait être direct (si l'amorce était une couleur) ou indirecte (si l'amorce était une texture). L'amorce était soit identique (même couleur ou même texture que celle présentée à l'apprentissage) soit différente (nouvelle couleur ou nouvelle texture).

La phase d'amorçage était constituée de 80 essais, les 4 amorces possibles étant présentées 2 fois chacune pour les 10 formes. Les essais étaient présentés selon un ordre pseudo-aléatoire. Les temps de présentation étaient identiques à ceux de l'expérience 1.

Résultats Expérience 2

Les temps de réponses ont été triés selon des critères identiques à ceux de l'expérience 1.

Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses à la phase d'apprentissage était de 95.6%

Phase d'amorçage

Le taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation des participants était de 96.8%.

Les temps de réponse par condition pour la tâche de catégorisation sont présentés dans le tableau 16.

Tableau 16. Temps de réponse moyens (en ms) par condition pour la phase d'amorçage de l'expérience 2.

Direct		Indirect	
Différente	Identique	Différente	Identique
528 ± 112	541 ± 103	556 ± 115	557 ± 113

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteur intra-sujets, le LIEN (Direct vs Indirect) et le TYPE D'AMORCE (Différente vs Identique).

L'analyse a révélé un effet principal du LIEN, $F(1,19)=9.66$; $p<.01$; $\eta_p^2=.34$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand le lien entre l'amorce et la cible était direct ($M= 535$ ms ± 108) par rapport au lien indirect ($M= 557$ ms ± 114).

Nous avons également observé un effet principal du TYPE D'AMORCE, $F(1,19)=4.97$; $p<.05$; $\eta_p^2=.21$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand l'amorce était différente de celle présentée à l'apprentissage ($M= 542$ ms ± 114) par rapport une amorce identique ($M= 549$ ms ± 108).

Enfin, nous avons observé une interaction tendancielle LIEN*TYPE D'AMORCE, $F(1,19)=3.03$; $p<.10$; $\eta_p^2=.14$. Les comparaisons planifiées ont révélé que pour le lien direct, les participants étaient plus rapides après une amorce différente ($F(1,19)=6.43$; $p<.05$) alors qu'il n'y avait pas de différence entre les deux types d'amorces pour le lien indirect ($F(1,19)<1$).

Discussion Expérience 2

Après modification du matériel dans cette expérience, nous avons observé que les participants étaient plus rapides pour traiter la forme cible après une amorce directe.

Nous avons également observé que les participants étaient plus rapides pour traiter la forme cible si l'amorce était différente de celle présentée à l'apprentissage. Enfin nous avons constaté que cet effet était surtout observé quand l'amorce et la cible avaient un lien direct.

Ainsi, contrairement à nos hypothèses nous n'avons pas observé d'effet d'amorçage quand l'amorce était identique. Il semblerait même que la présentation d'une amorce nouvelle ait facilité le traitement de la cible. Il se pourrait que l'association n'ayant pas eu le temps de se créer entre les éléments, la présentation de l'un des éléments ne facilite pas le traitement de l'élément associé. De plus, les éléments sensoriels étaient tous visuels (forme, couleur et texture). Cela pourrait entraîner un chevauchement lors de la réactivation de l'un des éléments par présentation de l'autre et perturber le traitement de la cible. Par exemple le fait de présenter une couleur en amorce, réactiverait automatiquement la texture associée et pourrait gêner le traitement de la forme cible. Ce qui expliquerait le traitement plus rapide après une amorce différente. Dans ce cas, il pourrait être intéressant d'utiliser un élément d'une autre modalité sensorielle.

D'autre part, à l'apprentissage nous avons présenté aux participants 20 couples différents (10 couples Forme/Couleur et 10 couples Couleur/Texture). L'apprentissage de ces 20 associations nécessitait peut être plus de temps afin de créer une intégration des deux éléments. Il faudrait peut être qu'il y ait moins de couples à mémoriser et plus de répétitions des différentes associations. Nous avons également constaté que la tâche à l'apprentissage (comparaison) était différente de la tâche à l'amorçage (catégorisation). Le fait de présenter le même élément pourrait avoir perturbé le traitement de la forme cible car les tâches étaient trop différentes. Il faudrait alors changer la tâche à l'apprentissage afin que celle ci soit plus similaire à la tâche à l'amorçage.

Par ailleurs, dans la condition « direct » ce sont toujours les couleurs qui sont présentées en amorce et dans la condition « indirecte » ce sont toujours les textures qui sont présentées en amorce. Dans ce cas, l'effet du type de lien observé dans nos résultats pourrait s'expliquer par l'amorce en elle-même plutôt que par le lien entre l'amorce et la cible. Il se pourrait que les participants soient systématiquement plus rapides à traiter une cible lorsqu'elle est précédée par une couleur. Cela ne serait donc pas du à un effet spécifique du lien. Afin de contrôler cet effet confondu, il faudrait modifier le paradigme expérimental afin qu'il y ait un contrebalancement entre les amorces directes et indirectes de telle sorte que les amorces directes puissent être, soit des couleurs soit des textures et de même pour les amorces indirectes.

Enfin, pour les associations Forme/Couleur, les couleurs étaient toujours présentées en fond. La configuration figure/fond pourrait réduire l'intégration des deux éléments sensoriels. La présentation de la couleur à l'intérieur de la forme faciliterait peut être l'intégration des deux éléments. Nous avons donc tenu compte de ces différentes observations et modifié le

matériel en conséquence pour l'expérience suivante. Dans cette nouvelle expérience, nous avons présenté des associations Couleur/Forme et Forme/Son. Nous avons également réduit le nombre d'associations présentées à l'apprentissage afin de renforcer ce dernier. De plus, nous avons ajouté un aspect catégoriel aux associations. Ainsi les couleurs, les formes et les sons pouvaient appartenir à deux catégories. Les couleurs pouvaient être vertes ou bleues, les formes pouvaient être découpées à gauche ou à droite et les sons pouvaient être aigus ou graves. Notre hypothèse étant que le sommeil favoriserait l'émergence d'éléments communs, il nous semblait intéressant d'étudier si le sommeil favoriserait davantage l'élément spécifique ou l'élément de la même catégorie sans tenir compte de la spécificité. Pendant l'apprentissage les participants devaient catégoriser les associations sur un des éléments (la forme ou la couleur). Puis lors de la phase d'amorçage, ils avaient en amorce la couleur ou la forme et en cible le son. Nous avons constitué trois groupes : un groupe sans délai, un groupe avec délai constitué d'éveil et un groupe avec un délai constitué de sommeil.

Nous pensions observer un effet d'amorçage quand le lien était direct entre l'amorce et la cible pour tous les groupes, les participants devraient être plus rapides à catégoriser les sons cibles si l'amorce directe était identique à celle présentée à l'apprentissage ou de la même catégorie. Si le sommeil permet de favoriser l'émergence de l'élément commun, nous pensions observer un effet d'amorçage uniquement pour le groupe sommeil quand le lien était indirect entre l'amorce et la cible. Les participants devraient être plus rapides à catégoriser les sons cibles si l'amorce indirecte était identique à celle présentée à l'apprentissage ou de la même catégorie.

6.3. Expérience 3

Méthode Expérience 3

Participants : 36 participants âgés de 18 à 43 ans ($M=24.5$ ans ± 0.9) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes. Les participants avaient un score de somnolence diurne de 8.5 ± 3.7 pour le groupe éveil et de 7.8 ± 3.7 pour le groupe sommeil. Les participants avaient un score de qualité de sommeil de 5.8 ± 2.1 pour le groupe éveil et de 5.2 ± 2.1 pour le groupe sommeil.

Matériel: Nous avons sélectionné 4 formes anguleuses non symboliques, remplies de noir parmi les formes utilisées pour l'expérience 2 (2 formes découpées à gauche et 2 formes découpées à droite). Nous avons créé 4 couleurs différentes, distinctes les unes des autres (2 couleurs vertes et 2 couleurs bleues) et nous avons créé de nouvelles associations à l'aide du logiciel Gimp. Nous avons également créé 4 sons à l'aide du logiciel Audacity (logiciel libre). Ces sons étaient des tonalités de fréquences différentes : 2 sons aigus (1210 Hz et 1410 Hz) et 2 sons graves (110 Hz et 310 Hz). Ce matériel nous a permis de créer des associations Forme/Couleur, Forme/Son et Couleur/Son. Pour les associations Couleur/Son nous avons présenté les couleurs dans des cercles de 7 cm de diamètre. Nous avons donc construit au total 24 couples de stimuli (8 couples de chaque type). Ces couples nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants. Chaque couple était spécifique mais une catégorie de forme était toujours associée à la même catégorie de couleur et à la même catégorie de son. Par exemple, la catégorie « bleu » était toujours associée aux formes découpées à gauche et les formes découpées à gauche étaient toujours associées aux sons aigus (Figure 33)

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était composée d'une phase d'apprentissage et d'une phase d'amorçage. Trois groupes ont été constitués, 12 participants avaient un délai majoritairement composé d'éveil entre les deux phases, 12 participants avaient un délai majoritairement composé de sommeil, et 12 participants n'avaient aucun délai entre les deux

phases. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Nous avons créé deux types d'apprentissage. Pour l'apprentissage 1, les participants voyaient des associations Couleur/Forme ou Forme/Son s'afficher à l'écran. Pour chaque association, ils devaient dire si la forme présentée était découpée à gauche ou à droite. Pour répondre ils devaient appuyer sur la touche « G » pour répondre « gauche » (gommette collée sur la touche « A » du clavier) et sur la touche « D » pour répondre « droite » (gommette collée sur la touche « P » du clavier. Les touches de réponse n'ont pas été contrebalancées entre les participants car les réponses étaient latéralisées.

Pour l'apprentissage 2, les participants voyaient des associations Forme/Couleur ou Couleur/Son s'afficher à l'écran. Pour chaque association, ils devaient dire si la couleur de la forme présentée était dans les tons verts ou dans les tons bleus. Pour répondre ils devaient appuyer sur la touche « V » pour répondre « vert » (gommette collée sur la touche « A » du clavier) et sur la touche « B » pour répondre « bleu » (gommette collée sur la touche « P » du clavier). Les touches de réponses ont été contrebalancées entre les participants.

La moitié des participants réalisaient la phase d'apprentissage 1 et l'autre moitié la phase d'apprentissage 2. La figure 33 présente les 8 couples utilisés pour les deux apprentissages.

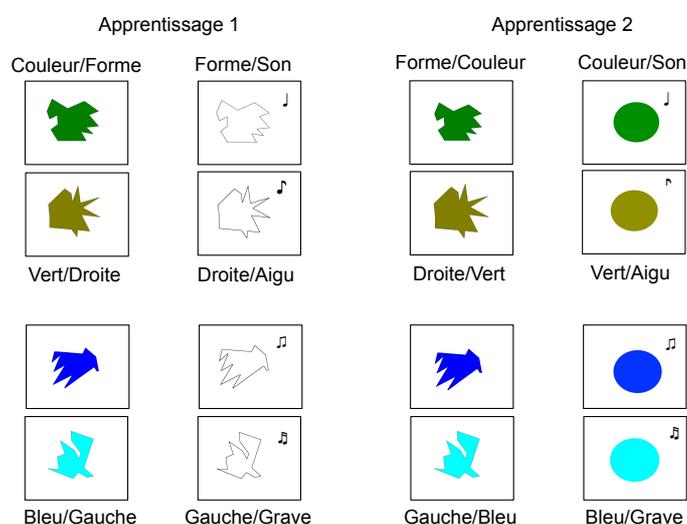


Figure 33. Associations présentées pour les deux apprentissages dans l'expérience 3.

La phase d'apprentissage contenait 96 essais, les 8 associations étant présentées 12 fois. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire.

La figure 34 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran pour les apprentissages 1 et 2.

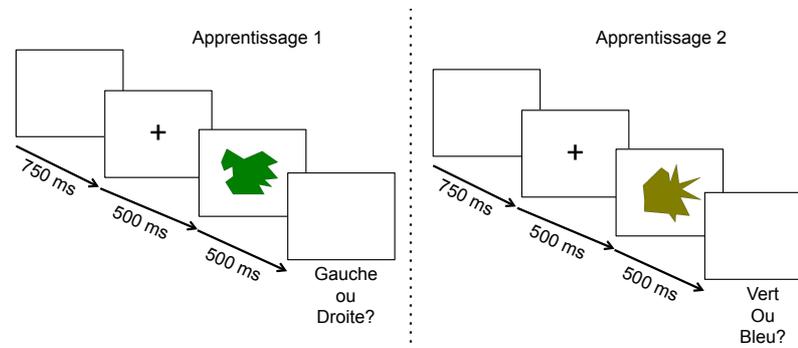


Figure 34. Déroulement d'un essai au cours des phases d'apprentissage 1 et 2.

Nous avons constitué trois groupes de participants. Un groupe réalisait la phase d'apprentissage le matin (à huit heures) et la phase d'amorçage le soir vers (à vingt heures) (groupe éveil). Un groupe réalisait la phase d'apprentissage le soir et la phase d'amorçage le matin (groupe sommeil). Nous n'avons pas effectué de mesures du sommeil mais nous avons vérifié que le volume de sommeil des participants était supérieur à 6h30 à l'aide des réponses au questionnaire de qualité de sommeil de Pittsburgh. Le dernier groupe n'avait pas de délai entre la phase d'apprentissage et la phase d'amorçage (groupe sans délai).

Phase d'amorçage. Après le délai (groupe « éveil » et groupe « sommeil ») ou après la phase d'apprentissage (groupe « sans délai »), les participants réalisaient la phase d'amorçage. Ils voyaient apparaître à l'écran une amorce (soit une forme soit une couleur) puis la cible, un son. La tâche était de catégoriser le son cible en indiquant si ce son était aigu ou grave. Pour répondre les participants devaient appuyer sur la touche « noire » pour répondre aigu (gommette collée sur la touche « Q » du clavier) et sur la touche « blanche » pour répondre grave (gommette collée sur la touche « M » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

Pour l'apprentissage 1 (associations Couleur/Forme et Forme/Son), si l'amorce était une forme, le lien était direct. Si l'amorce était une couleur le lien était indirect par réactivation de l'élément commun (la forme).

De la même manière, pour l'apprentissage 2 (associations Forme/Couleur et Couleur/Son), si l'amorce était une couleur, le lien était direct et si l'amorce était une forme, le lien était indirect. Ici, l'élément commun était la couleur. L'amorce était soit identique (même forme ou même couleur que celle présentée à l'apprentissage), soit de la même catégorie (autre forme ou autre couleur mais appartenant à la même catégorie), soit différente (nouvelle forme ou nouvelle couleur n'appartenant à aucune des deux catégories).

La figure 35 présente les différentes conditions d'amorçage pour les apprentissages 1 et 2.

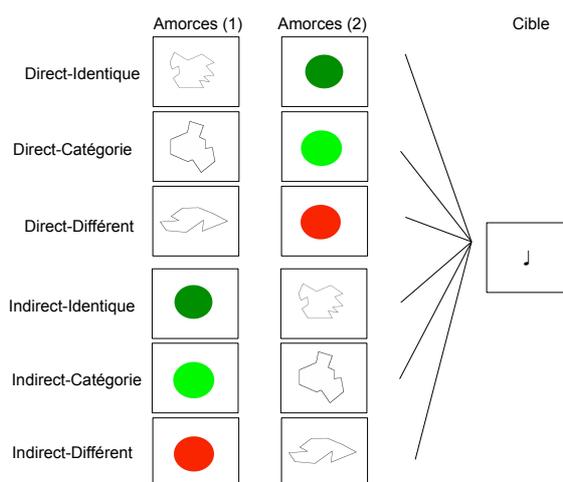


Figure 35. Exemples d'amorces présentées lors de la phase d'amorçage pour les apprentissages 1 et 2.

La phase d'amorçage était constituée de 72 essais, les 6 amorces étant présentées 3 fois chacune pour les 4 formes cibles. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 36 présente le déroulement d'un essai et les temps de présentation pour la phase d'amorçage.

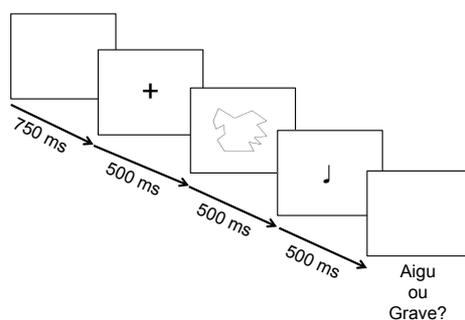


Figure 36. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'amorçage.

Résultats Expérience 3

Les temps de réponse inférieurs à 250 ms et supérieurs à 1250 ms pour la tâche de catégorisation ou 1500 ms pour la tâche de reconnaissance n'ont pas été pris en compte. Les autres critères étaient identiques à ceux des expériences précédentes.

Phase d'apprentissage

Les taux de bonnes réponses pour la phase d'apprentissage étaient de 92.1% pour le groupe éveil, 92.2% pour le groupe sommeil et 91.2% pour le groupe sans délai.

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse à l'apprentissage avec comme facteur intra-sujets, le LIEN (Direct vs Indirect) et comme facteurs inter-sujets, L'APPRENTISSAGE (1 vs 2) et le GROUPE (Eveil vs Sommeil vs Sans délai).

Il n'y avait pas de différence à l'apprentissage entre le lien direct et le lien indirect ($F(1,30) < 1$), ni entre les deux types d'apprentissage ($F(1,30) < 1$), ni entre le groupe Sommeil et le groupe Eveil ($F(2,30) = 1.22$; $p = .31$).

Phase d'amorçage

Les taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation étaient de 93.9% pour le groupe Eveil, 95.0% pour le groupe Sommeil et 96.5% pour le groupe Sans délai.

Les temps de réponse par condition pour la tâche de catégorisation sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17. Temps de réponse moyens (en ms) par condition pour la phase d'amorçage de l'expérience 3.

	Direct			Indirect		
	Identique	Catégorie	Différent	Identique	Catégorie	Différent
EVEIL	541 ± 103	516 ± 84	553 ± 84	561 ± 89	628 ± 107	546 ± 105
SOMMEIL	522 ± 184	512 ± 138	534 ± 160	550 ± 149	646 ± 150	515 ± 158
SS DELAI	450 ± 94	449 ± 95	459 ± 92	483 ± 97	526 ± 117	457 ± 99

Nous avons effectué une analyse de variance sur les temps de réponse avec comme facteurs intra-sujets, le LIEN (Direct vs Indirect), le TYPE D'AMORCE (Identique vs Catégorie vs Différent) et comme facteur inter-sujets, le GROUPE (Eveil vs Sommeil vs Sans délai).

Cette analyse a révélé un effet du LIEN, $F(1,33)=69.37$; $p<.001$; $\eta_p^2=.68$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand le lien entre l'amorce et la cible était direct ($M= 504$ ms \pm 122) par rapport au lien indirect ($M= 546$ ms \pm 131).

Nous avons observé un effet du TYPE D'AMORCE, $F(2,66)=14.22$; $p<.001$; $\eta_p^2=.30$. Les temps de réponse étaient plus lents quand l'amorce était de la même catégorie que celle présentée à l'apprentissage ($M=546$ ms \pm 133) par rapport aux amorces identiques ($M= 518$ ms \pm 126) et différentes ($M= 511$ ms \pm 123).

Nous avons observé une interaction LIEN*TYPE D'AMORCE, $F(2,66)=53.68$; $p<.001$; $\eta_p^2=.62$. L'effet du type d'amorce était différent en fonction du type de lien. Les temps de réponse sont ralentis quand l'amorce est de la même catégorie mais uniquement pour le lien indirect (voir Figure 37).

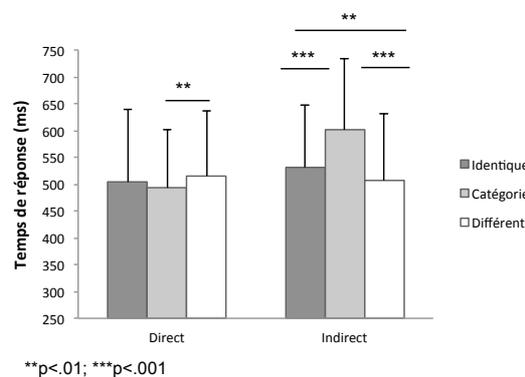


Figure 37. Temps de réponse moyens pour le traitement du son cible en fonction du lien et du type d'amorce.

Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

Enfin, nous observons une double interaction tendancielle LIEN*TYPE D'AMORCE*GROUPE, $F(4,66)=2.11$; $p<.10$; $\eta_p^2=.11$. Les temps de réponses étaient plus longs après une amorce de la même catégorie mais il semblerait que cet effet soit surtout observé pour le groupe sommeil (voir Figure 38).

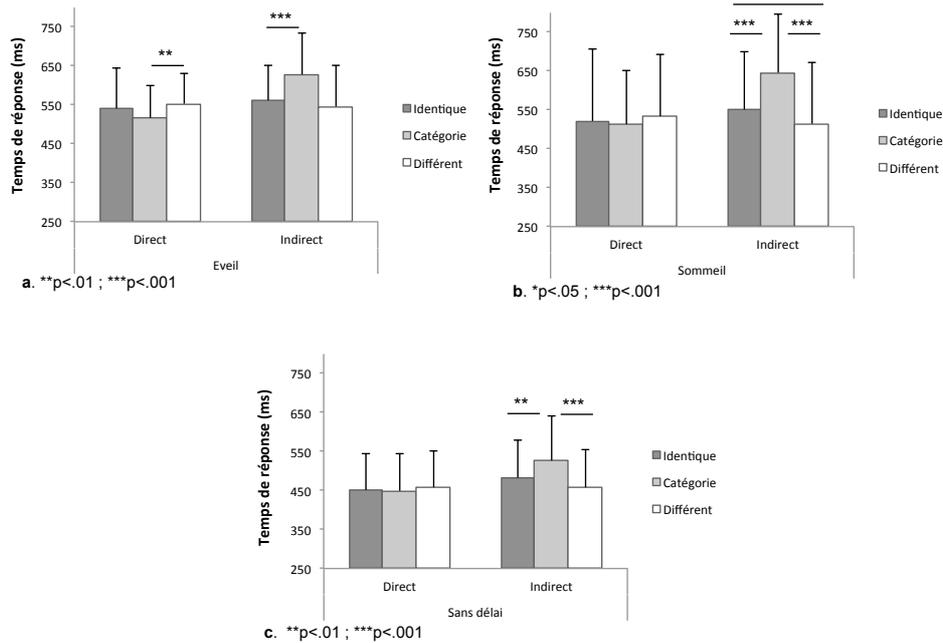


Figure 38. Temps de réponse moyens pour le traitement de la cible en fonction du lien, du type d'amorce et du groupe (Eveil (Fig 38a) ; Sommeil (Fig 38b) ; Sans délai Fig 38c). Les barres d'erreurs représentent les écarts-types.

Discussion Expérience 3

Le but de cette expérience était de montrer que le sommeil permet de créer de nouvelles associations par renforcement d'un élément commun à plusieurs traces. Pour cela nous avons utilisé le même paradigme que dans les expériences précédentes avec une modification du matériel.

Les résultats ont mis en évidence un effet du lien, les sons cibles étaient traités plus rapidement après une amorce directe. Ces résultats confirment les résultats obtenus précédemment. Nous avons également observé une interaction entre le lien et le type d'amorce, avec un ralentissement pour le traitement de la cible quand l'amorce était de la même catégorie que celle présentée à l'apprentissage mais uniquement pour le lien indirect.

Enfin, nous avons observé une double interaction entre le lien, le type d'amorce et le groupe, montrant que le ralentissement du traitement des sons cibles après une amorce de la même catégorie semble être plus important pour le groupe sommeil.

Au vu de ces résultats, nous n'avons pas observé d'effet d'amorçage, il se pourrait tout d'abord que nos participants n'aient pas assez dormi car nous n'avons pas effectué d'enregistrement du sommeil. Cependant, nous avons contrôlé que tous les participants

avaient une bonne qualité de sommeil à l'aide du questionnaire de qualité de sommeil de Pittsburgh et de l'échelle de somnolence diurne d'Epworth.

Nous avons cependant observé un ralentissement du traitement de la cible après une amorce de la même catégorie et ce, surtout quand le lien entre l'amorce et la cible était indirect. Il y aurait donc une perturbation du traitement de la cible quand l'amorce réactiverait de nombreux éléments sensoriels. De plus, cet effet semble être renforcé par le sommeil. Cela serait cohérent avec notre hypothèse selon laquelle le sommeil renforcerait l'activation inter-traces et par conséquent les effets catégoriels. Mais au lieu de faciliter le traitement comme nous le pensions, cela le perturberait. Ainsi, au moment de la présentation d'une amorce de la catégorie, tous les éléments sensoriels de cette catégorie seraient réactivés venant ainsi perturber le traitement de la cible. Par exemple, la présentation d'une couleur verte en indirect réactiverait les verts déjà présentés à l'apprentissage, qui eux même réactiveraient les formes associées, qui viendraient réactiver les sons associés. Ces sons bien qu'appartenant tous à la même catégorie pourraient gêner le traitement du son cible.

D'autre part, l'absence d'effet d'amorçage pourrait s'expliquer par cet effet de la catégorie. En effet, il se pourrait que l'association spécifique pâtisse de l'association catégorielle. Ainsi, l'association entre une forme et un son spécifique pourrait être perturbée par l'association entre la catégorie de forme et la catégorie de son. En utilisant à la fois des amorces identiques et de même catégorie, nous souhaitions savoir si l'activation inter-traces faciliterait de la même manière ces deux types d'amorces. Il se pourrait que dans notre cas, la facilitation de l'une des amorces ait entraîné la perturbation de l'autre. Il faudrait peut être dissocier ces deux éléments dans les prochaines expériences afin d'éviter les interférences observées. Nous avons donc conservé uniquement les amorces spécifiques pour l'expérience suivante, afin de contrôler au mieux les réactivations associées aux éléments sensoriels.

Enfin, toujours dans l'objectif de renforcer les associations entre les éléments sensoriels, nous nous sommes interrogées sur la validité des sons utilisés dans la présente expérience. En effet, il se pourrait que de simples tonalités soient trop abstraites et trop éloignées des sons de la vie courante. L'utilisation de sons plus écologiques permettrait de renforcer les associations entre les éléments sensoriels. De cette manière, la présentation de l'un des éléments permettrait la réactivation spécifique de l'élément associé. Si ces associations directes sont correctement intégrées en mémoire, alors nous pourrions observer un effet avec les associations indirectes. Nous nous proposons dans l'expérience suivante de valider les associations directes et la modification du matériel en réalisant une expérience sans délai dans un premier temps.

L'expérience suivante consistait en trois expériences. Dans la première expérience, les participants apprenaient des associations Forme/Son, les sons utilisés étant des sons de la vie quotidienne. Puis lors de la phase d'amorçage, ils devaient catégoriser les sons cibles après l'apparition de la forme amorce. Nous avons ensuite ajouté une tâche de reconnaissance au cours de laquelle les participants devaient recréer explicitement les associations vues à l'apprentissage. Nous nous attendions dans cette première expérience à observer une facilitation du son cible après une forme identique et un taux de reconnaissance supérieur au hasard. La deuxième expérience était identique à la première avec des associations Couleur/Son. Pour cette expérience, nous nous attendions également à une facilitation du son cible après une couleur identique et des performances supérieures au hasard pour la reconnaissance. Enfin la troisième expérience consistait à fusionner les deux premières. Les participants apprenaient des associations Forme/Son et Couleur/Son. À l'amorçage ils devaient catégoriser les sons cibles après présentation d'une amorce Forme ou Couleur. Puis à la tâche de reconnaissance ils devaient essayer de recréer les associations directes et indirectes. Nous nous attendions à une facilitation du traitement du son cible après une amorce directe ainsi que des performances supérieures au hasard à la reconnaissance pour les associations directes.

6.4. Expérience 4

6.4.1. Expérience 4a

Méthode Expérience 4a

Participants : 16 nouveaux participants âgés de 18 à 28 ans ($M=21.2$ ans \pm 2.8) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Matériel: Nous avons sélectionné 4 formes non symboliques, remplies de noir, parmi les formes utilisées pour l'expérience 1 (2 formes anguleuses et 2 formes arrondies). Nous avons créé une forme composite à partir d'une forme anguleuse et d'une forme arrondie. Nous avons également sélectionné 4 sons distincts dans un album d'effets spéciaux, « The sound effects company ». Parmi les 4 sons il y avait 2 sons « vivant » (un son de toux : « coughing » et un son d'aboïement : « dog barking ») et deux sons « non vivant » (un son de cloche : « grandfather clock striking » et un son de rasoir électrique : « electric shaver »). Ce matériel nous a permis de créer des associations entre Formes et Sons. Nous avons donc construit au total 16 associations avec les 4 formes et les 4 sons. Ces couples nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants. Une catégorie de forme n'était pas systématiquement associée à une catégorie de son. Par exemple pour les formes anguleuses, l'une d'entre elles était associée à un son vivant et l'autre à un son non vivant.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était constituée de trois phases : une phase d'apprentissage, une phase d'amorçage et une phase de reconnaissance. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation, éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Les participants voyaient apparaître à l'écran une association Forme/Son et pour chaque association ils devaient indiquer si la forme présentée était une forme anguleuse ou arrondie. Ils devaient appuyer sur la touche « noire » pour répondre « anguleuse » (gommette collée sur la touche « A » du clavier) et sur la touche « blanche » pour répondre « arrondie » (gommette collée sur la touche « P » du clavier). Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants La figure 39 présente les 4 couples présentés à l'apprentissage.

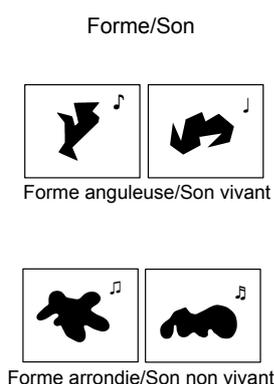


Figure 39. Associations présentées à l'apprentissage.

La phase d'apprentissage contenait 40 essais, les 4 associations étant présentées 10 fois. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 40 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran pour l'apprentissage.

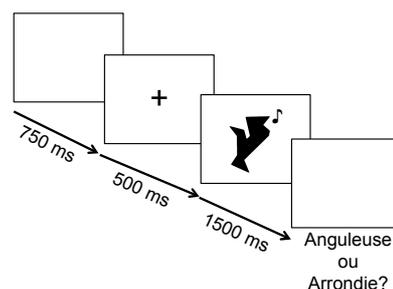


Figure 40. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'apprentissage.

Phase d'amorçage. Après la phase d'apprentissage, les participants réalisaient la phase d'amorçage. Ils voyaient apparaître à l'écran l'amorce, une forme, puis la cible, un son. La tâche était de catégoriser le son cible en indiquant si ce son représentait quelque chose de vivant ou de non vivant. Pour répondre les participants utilisaient les mêmes touches qu'à l'apprentissage. Les participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre

« vivant » et sur la touche blanche pour répondre « non vivant ». Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

La forme amorce présentée pouvait être identique à celle présentée à l'apprentissage ou être une forme nouvelle (forme composite). La figure 41 présente les différentes conditions d'amorçage pour cette phase.

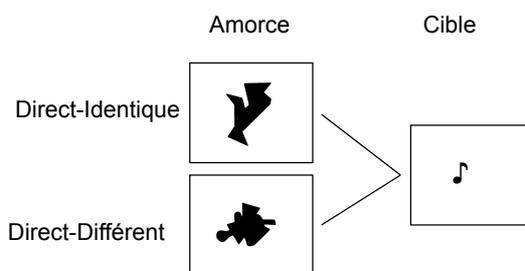


Figure 41. Exemples d'amorces présentées lors de la phase d'amorçage.

La phase d'amorçage était constituée de 24 essais, les 2 amorces étant présentées 3 fois chacune pour les 4 sons. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 42 présente le déroulement d'un essai et les temps de présentation pour la phase d'amorçage.

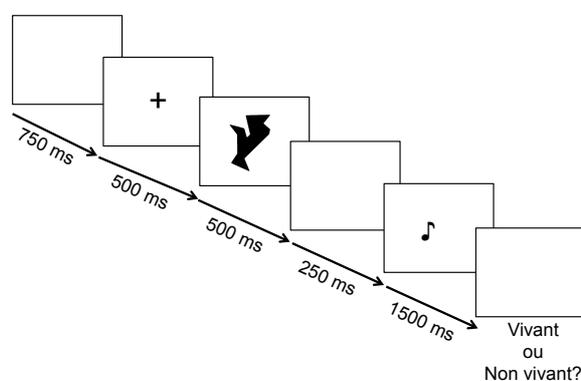


Figure 42. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'amorçage.

Phase de reconnaissance. Après la phase d'amorçage, les participants réalisaient la phase de reconnaissance. Ils entendaient un son puis voyaient apparaître à l'écran les 4 formes présentées à l'apprentissage. Ils devaient indiquer quelle forme avait été associée au son en cliquant sur la forme correspondant à leur choix de réponse, les formes restaient afficher à l'écran jusqu'à leur réponse. Puis ils devaient donner un degré de certitude à leur réponse. Pour cela ils voyaient apparaître à l'écran une échelle de Likert de 1 (pas sûr du tout) à 9 (tout à fait sûr) et devaient cliquer sur le chiffre correspondant à leur réponse. Ils devaient répondre

à ces deux questions pour les 4 sons. La figure 43 présente le déroulement des essais et les temps de présentation pour la phase de reconnaissance.

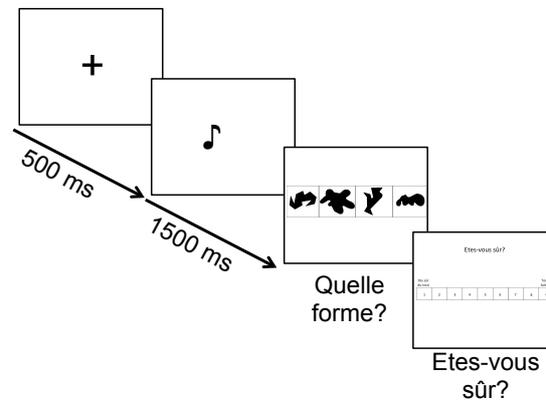


Figure 43. Déroulement d'un essai au cours de la phase de reconnaissance.

Résultats Expérience 4a

Les temps de réponse inférieurs à 250 ms et supérieurs à 1500 ms ainsi que les données s'éloignant de plus de 3 écart-types de la moyenne par condition n'ont pas été pris en compte. Les participants devaient réaliser une tâche de catégorisation vivant/non vivant sur le son. Nous avons donc choisi un seuil maximal plus important. Les autres critères étaient identiques à ceux des expériences précédentes.

Phase d'apprentissage

Les participants ont obtenu un taux de bonnes réponses de 94.2% à la phase d'apprentissage.

Phase d'amorçage

Le taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation était de 97.1%.

Concernant les temps de réponse, les participants étaient plus rapides quand l'amorce était identique (1084 ± 184) à celle présentée lors de l'apprentissage par rapport à une amorce différente (1116 ± 192) ; $t(15)=2.23$; $p<.05$.

Phase de reconnaissance

Les participants avaient des taux de bonnes reconnaissances ($40.6\% \pm 28.7$) supérieurs au hasard (25%), $t(15)=2.18$; $p<.05$.

Les degrés de certitude (sur une échelle de 1 à 9) pour la tâche de reconnaissance étaient de 5.3 ± 2.3 . Les participants avaient donc des degrés de certitude moyens pour la reconnaissance de la forme associée au son.

6.4.2. Expérience 4b

Méthode Expérience 4b

Participants : 16 nouveaux participants âgés de 18 à 23 ans ($M=19.4$ ans ± 1.4) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Matériel: Nous avons créé 5 cercles de 7 cm de diamètre que nous avons rempli de couleurs différentes. Nous avons donc sélectionné 5 couleurs distinctes, 2 couleurs chaudes (rouge et jaune), 2 couleurs froides (vert et bleu) et 1 couleur composite, n'appartenant à aucune des deux catégories (gris obtenu par un mélange de rouge, vert et bleu). Nous avons également réutilisé les 4 sons de l'expérience 4a. Ce matériel nous a permis de créer des associations entre Couleurs et Sons. Nous avons donc construit au total 16 associations avec les 4 couleurs et les 4 sons. Ces couples nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants. Une catégorie de couleur n'était pas systématiquement associée à une catégorie de son. Par exemple pour les couleurs chaudes, l'une d'entre elles était associée à un son « vivant » et l'autre à un son « non vivant ».

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en trois phases: une phase d'apprentissage, une phase d'amorçage et une phase de reconnaissance. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Les participants voyaient apparaître à l'écran une association Couleur/Son et pour chaque association ils devaient indiquer si la couleur de l'image présentée était une couleur chaude ou une couleur froide. Nous leur avons auparavant présenté un cercle chromatique présentant les couleurs chaudes (du jaune au violet) et les couleurs froides (du violet au vert). Ils devaient appuyer sur la touche « noire » pour répondre « chaude » (gommette collée sur la touche « A » du clavier) et sur la touche « blanche » pour répondre « froide » (gommette collée sur la touche « P » du clavier). Les touches de réponses ont été contrebalancées entre les participants La figure 44 présente les 4 couples présentés à l'apprentissage.

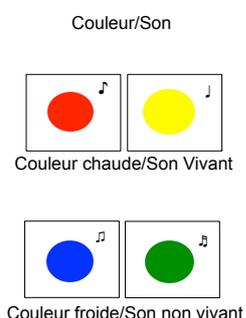


Figure 44. Associations présentées à l'apprentissage.

La phase d'apprentissage contenait 40 essais, les 4 associations étant présentées 10 fois. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. La figure 45 indique le déroulement d'un essai et les temps de présentation des stimuli à l'écran pour l'apprentissage.

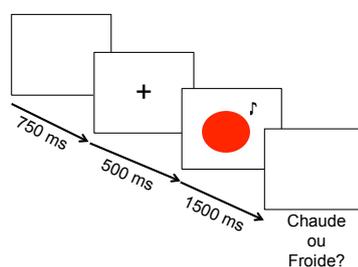


Figure 45. Déroulement d'un essai au cours de la phase d'apprentissage.

Phase d'amorçage. Après la phase d'apprentissage, les participants réalisaient la phase d'amorçage. Ils voyaient apparaître à l'écran l'amorce, une couleur puis la cible, un son. La tâche était de catégoriser le son cible en indiquant si ce son représentait quelque chose de vivant ou de non vivant. Pour répondre les participants utilisaient les mêmes touches qu'à

l'apprentissage. Les participants devaient appuyer sur la touche noire pour répondre « vivant » et sur la touche blanche pour répondre « non vivant ». Les touches de réponse ont été contrebalancées entre les participants.

La couleur amorce présentée pouvait être identique à celle présentée à l'apprentissage ou une nouvelle couleur. La figure 46 présente les différentes conditions d'amorçage pour cette phase.

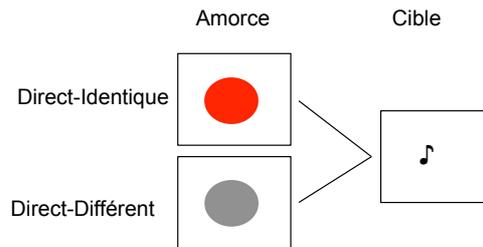


Figure 46. Exemples d'amorces présentées lors de la phase d'amorçage.

La phase d'amorçage était constituée de 24 essais, les 2 amorces étant présentées 3 fois chacune pour les 4 sons. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. Les temps de présentation étaient les mêmes que pour l'expérience 4a.

Phase de reconnaissance. Après la phase d'amorçage, les participants réalisaient la phase de reconnaissance. Ils entendaient un son puis voyaient apparaître à l'écran 4 cercles de couleur. Ils devaient indiquer quelle couleur avait été associée au son en cliquant sur le cercle correspondant, les cercles restaient affichés à l'écran jusqu'à leur réponse. Puis ils devaient donner un degré de certitude à leur réponse. Pour cela ils voyaient apparaître à l'écran une échelle de Likert de 1 (pas sûr du tout) à 9 (tout à fait sûr) et devaient cliquer sur le chiffre correspondant à leur réponse. Ils devaient répondre à ces deux questions pour les 4 sons. Les temps de présentation étaient les mêmes que pour l'expérience 4a.

Résultats Expérience 4b

Les temps de réponses ont été triés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Phase d'apprentissage

Le taux de bonnes réponses à l'apprentissage était de 89.8%.

Phase d'amorçage

Les participants ont obtenu un taux de bonnes réponses global de 84.1%. Etant donné le faible taux de bonnes réponses, nous avons effectué un test de comparaison de moyennes entre les deux conditions. Les participants avaient des taux de bonnes réponses plus importants après une amorce différente ($94.8\% \pm 1.8$) par rapport à une amorce identique ($73.4\% \pm 6.4$) ; $t(15)=2.99$; $p<.01$.

Concernant les temps de réponse, les participants avaient tendance à être plus rapides quand l'amorce était identique (1053 ± 24) à celle présentée lors de l'apprentissage par rapport à une amorce différente (1065 ± 25) ; $t(15)=1.81$; $p<.10$.

Les participants étaient donc plus rapides après une amorce identique mais commettaient plus d'erreurs.

Phase de reconnaissance

Les participants avaient des taux de bonnes reconnaissances ($56.3\% \pm 40.3$) supérieurs au hasard (25%), $t(15)=3.10$; $p<.01$.

Les degrés de certitude (sur une échelle de 1 à 9) pour la tâche de reconnaissance étaient de 6.10 ± 2.2 . Les degrés de certitude étaient donc légèrement supérieurs à la moyenne.

Comparaison des expériences 4a et 4b

Nous avons comparé les expériences 4a et 4b afin de voir s'il y avait une différence selon le type d'association.

Concernant les temps de réponse pour la catégorisation, nous avons effectué une analyse de variance avec comme facteur intra-sujets le TYPE D'AMORCE (Identique vs Différent) et comme facteur inter-sujets l'EXPERIENCE (a vs b). Il n'y avait pas de différence entre l'expérience 4a et 4b ($F(1,15)<1$) ; ni entre l'amorce identique et différente ($F(1,15)<1$) ; ni d'interaction entre les deux ($F(1,15)<1$).

Concernant la tâche de reconnaissance, il n'y avait pas de différence pour les taux de bonnes reconnaissances entre l'expérience 4a (40.6% \pm 28.7) et l'expérience 4b (56.3% \pm 40.3) ; $t(30)=-1.26$; $p=.22$.

Enfin, nous avons analysé les degrés de certitude pour les réponses correctes. Il n'y avait pas de différence pour les degrés de certitude entre l'expérience 4a (5.31 \pm 2.3) et l'expérience 4b (6.10 \pm 2.2) ; $t(24)=-0.89$; $p=.38$.

Il n'y avait donc aucune différence entre les deux associations directes que celles-ci soient constituées d'une forme et d'un son ou d'une couleur et d'un son.

6.4.3. Expérience 4c

Méthode Expérience 4c

Participants : 16 participants âgés de 18 à 20 ans ($M=18.7$ ans \pm 0.7) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Matériel: Nous avons utilisé les 5 formes de l'expérience 4a, les 5 couleurs de l'expérience 4b et les 4 sons. Nous avons donc utilisé les 48 couples de stimuli créés pour les expériences 4a et 4b, 16 couples Forme/Son, 16 couples Forme/Couleur et 16 couples Couleur/Son. Ces couples nous ont permis de contrebalancer les associations entre les participants.

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en trois phases: une phase d'apprentissage, une phase d'amorçage et une phase de reconnaissance. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation, isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Nous avons créé deux types d'apprentissage. Pour l'apprentissage 1, les participants voyaient des associations Son/Forme ou Forme/Couleur s'afficher à l'écran et pour chaque association, ils devaient indiquer si la forme présentée était anguleuse ou arrondie.

Pour l'apprentissage 2, les participants voyaient des associations Son/Couleur et Couleur/Forme s'afficher à l'écran et pour chaque association, ils devaient dire si la couleur de la forme présentée était chaude ou froide.

La figure 47 présente les 8 couples utilisés pour les deux types d'apprentissages.

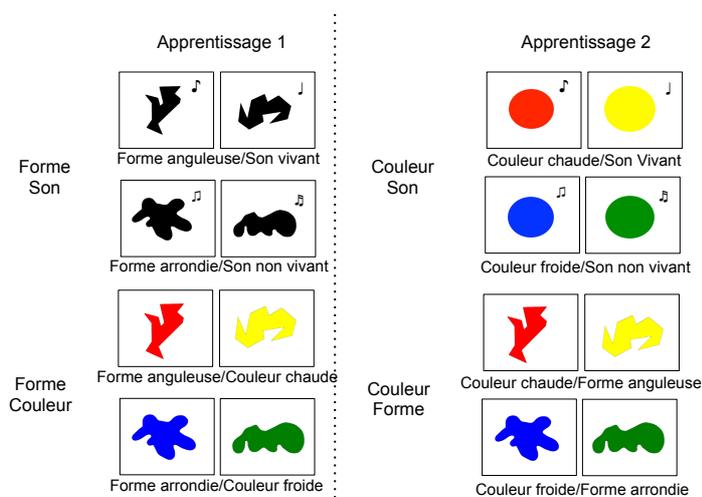


Figure 47. Associations présentées pour les deux apprentissages.

La phase d'apprentissage contenait 80 essais, les 8 associations étant présentées 10 fois. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. Les temps de présentation étaient identiques à ceux utilisés pour les expériences précédentes.

Phase d'amorçage. Après la phase d'apprentissage, les participants réalisaient la phase d'amorçage. Cette phase d'amorçage était identique à celle utilisée dans les expériences 4a et 4b. Les participants voyaient apparaître à l'écran l'amorce (une forme ou une couleur) puis la cible (un son). La tâche était de catégoriser le son cible en indiquant si ce son représentait quelque chose de vivant ou de non vivant, en appuyant sur la touche « noire » pour « vivant » et sur la touche « blanche » pour « non vivant ».

Pour l'apprentissage 1 (associations Couleur/Forme et Forme/Son), si l'amorce était une forme, le lien était direct et si l'amorce était une couleur, le lien était indirect (l'élément commun étant la forme).

Pour l'apprentissage 2 (associations Forme/Couleur et Couleur/Son), si l'amorce était une couleur, le lien était direct et si l'amorce était une forme, le lien était indirect (l'élément commun étant la couleur). L'amorce pouvait également être soit identique à celle présentée à l'apprentissage, soit différente (nouvelle forme ou nouvelle couleur).

La figure 48 présente les différentes conditions d'amorçage pour cette phase.

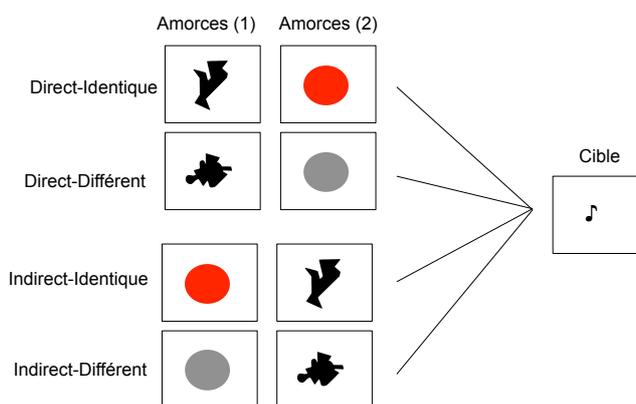


Figure 48. Exemples d'amorces présentées lors de la phase d'amorçage.

La phase d'amorçage était constituée de 48 essais, les 4 amorces étant présentées 3 fois chacune pour les 4 sons. La présentation des essais se faisait selon un ordre pseudo-aléatoire. Les temps de présentation étaient identiques à ceux des expériences précédentes.

Phase de reconnaissance. Après la phase d'amorçage, les participants réalisaient la phase de reconnaissance. Cette phase de reconnaissance consistait en trois tâches : retrouver l'association indirecte et les deux associations directes.

Pour l'apprentissage 1, les participants entendaient un son puis voyaient apparaître 4 cercles de couleur. Ils devaient dire à quelle couleur ils associeraient le son entendu, de manière spontanée, en cliquant sur le cercle correspondant (reconnaissance indirecte). Les cercles restaient affichés à l'écran jusqu'à la réponse du participant. Nous n'avons pas demandé aux participants un degré de certitude pour cette reconnaissance indirecte car la consigne était de faire une association spontanée entre les sons et les couleurs.

Les participants réalisaient ensuite deux tâches de reconnaissance directe où ils devaient retrouver les formes associées aux sons et aux couleurs. Ils devaient donner un degré de certitude à chaque réponse en cliquant sur une échelle de Likert de 1 (pas sûr du tout) à 9 (tout à fait sûr) (Figure 49).

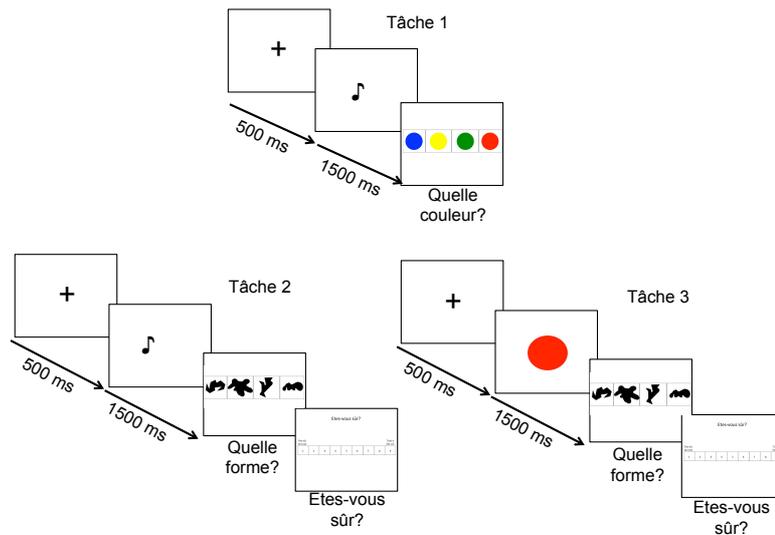


Figure 49. Déroulement d'un essai au cours de la phase de reconnaissance liée à l'apprentissage 1.

Pour l'apprentissage 2, le principe était le même, les participants entendaient un son puis voyaient apparaître 4 formes. Ils devaient dire à quelle forme ils associeraient le son entendu, de manière spontanée, en cliquant sur la forme correspondante (reconnaissance indirecte). Les formes restaient affichées à l'écran jusqu'à la réponse du participant. De la même manière nous n'avons pas demandé de degré de certitude pour cette reconnaissance indirecte. Les participants réalisaient ensuite les deux tâches de reconnaissance directe où ils devaient retrouver les couleurs associées aux sons et aux formes. Ils devaient ensuite donner un degré de certitude à leur réponse en cliquant sur une échelle de Likert de 1 (pas sûr du tout) à 9 (tout à fait sûr).

Résultats Expérience 4c

Les temps de réponses ont été triés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Phase d'apprentissage

Les participants ont obtenu un taux de bonnes réponses moyen de 95.2 %.

Phase d'amorçage

Le taux de bonnes réponses pour la tâche de catégorisation était de 96.1%.

Les temps de réponses (en ms) pour la tâche de catégorisation sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Temps de réponse moyens (en ms) par condition pour la phase d’amorçage de l’expérience 4c.

Direct		Indirect	
Différent	Identique	Différent	Identique
1082 ± 108	1062 ± 105	1026 ± 83	1029 ± 115

Une analyse de variance a été réalisée sur les temps de réponse incluant un facteur LIEN (Direct vs Indirect) et un facteur TYPE D’AMORCE (Différent vs Identique) en Intra-sujets.

L’analyse de variance a seulement révélé un effet significatif du LIEN, $F(1,15)=24.14$; $p<.001$; $\eta_p^2=.62$. Les temps de réponse étaient plus rapides quand l’amorce avait un lien indirect avec la cible (1028 ms ± 99) par rapport à une amorce liée directement à la cible (1072 ms ± 105).

Phase de reconnaissance

Pour la reconnaissance indirecte (tâche 1 de la phase de reconnaissance), les participants avaient des taux de bonnes reconnaissances (14.1% ± 15.7) inférieurs au hasard (25%), $t(15)=-2.78$; $p=.01$.

Pour la reconnaissance directe 1, c’est-à-dire la reconnaissance du composant directement lié au son (tâche 2 de la phase de reconnaissance), nous avons observé une tendance à la différence pour les taux de bonnes reconnaissances (42.2% ± 35.0) par rapport au hasard (25%), $t(15)=1.96$; $p<.10$.

Enfin, pour la reconnaissance directe 2, c’est à dire la reconnaissance des deux autres composants (tâche 3 de la phase de reconnaissance), les participants avaient des taux de bonnes reconnaissances (48.4% ± 23.2) supérieurs au hasard (25%), $t(15)=4.04$; $p=.001$.

Nous avons analysé uniquement les degrés de certitude pour les réponses correctes à la tâche de reconnaissance. Il n’y avait pas de différence entre les degrés de certitude de la

reconnaissance directe 1 (5.5 ± 1.7) et ceux de la reconnaissance directe 2 (5.9 ± 1.6), $t(11) = -1.15$; $p = .27$.

Discussion Expérience 4

Cette expérience avait pour but de valider la nouvelle modification du matériel pour les associations directes. Les deux premières expériences nous ont permis de vérifier dans un premier temps que les associations entre deux éléments sensoriels pouvaient être créées. Ainsi nous avons observé que le traitement du son cible peut être facilité par la présentation de l'élément qui lui était associé que cet élément soit une forme ou une couleur.

La troisième expérience nous a permis de mettre en place le paradigme avec des associations indirectes. Nous avons fait l'hypothèse que ces associations pouvaient être favorisées par une période de sommeil. Cependant, contrairement à nos hypothèses, non seulement nous n'avons pas observé d'effet d'amorçage pour le lien direct, mais nous avons observé une facilitation du traitement de la cible par l'amorce indirecte. Ainsi, les effets d'amorçage observés dans les deux premières expériences n'ont pas été répliqués dans la troisième expérience. Ces résultats suggèrent que présenter deux associations possédant un élément commun perturberait les réactivations directes de ces éléments. Pourtant, lors de la phase de reconnaissances, les participants reconnaissaient les deux éléments des associations directes. Il semblerait donc que la perturbation se manifeste au niveau du paradigme d'amorçage. Il se pourrait alors que la réactivation de l'élément commun entre en conflit avec les réactivations des éléments directs. Dès lors il nous semble particulièrement difficile d'adapter ce paradigme avec un délai si, avant même l'introduction de celui-ci, nous n'observons pas les réactivations dues aux associations directes.

Nous nous sommes donc à nouveau interrogés sur la validité du matériel. Il nous semblait que de façon similaire aux expériences du chapitre précédent, les associations entre des éléments sensoriels ne soient pas assez pertinentes pour les participants. Dès lors l'introduction d'un délai de douze heures pourrait avoir des effets négatifs sur la consolidation des stimuli. Comme nous l'avons évoqué, les informations consolidées au cours du sommeil son sujettes à une sélectivité (pour une revue voir Rasch & Born, 2013). Il se pourrait que l'effet du sommeil sur l'émergence d'éléments communs pourrait être plus probant avec un matériel verbal. Nous avons donc adapté un paradigme déjà utilisé afin d'étudier l'effet du sommeil sur l'extraction de la « gist » ou « idée générale » émanant des stimuli encodés (Payne et al., 2009). Dans ce paradigme, les participants étudiaient des listes de mots. Pour chaque liste, il y avait un mot qui était fortement associé à tous les mots de la liste (mot critique). Après une période de sommeil, les participants avaient un pourcentage plus important de fausses reconnaissances sur ces mots fortement associés par rapport à une

période d'éveil. Il nous semblait que des associations déjà présentes en mémoire à travers des liens sémantiques pourraient être plus fortes que des associations créées entre des éléments sans signification. Ainsi nous pourrions voir apparaître après le sommeil une nouvelle connaissance, issues de l'émergence de l'élément commun à plusieurs traces. Nous avons donc repris cette expérience avec un matériel adapté en français. Nous nous attendions dans un premier temps à observer de meilleures performances de reconnaissance pour le groupe sommeil par rapport au groupe éveil. De plus, si le sommeil favorise l'émergence de l'élément commun à la récupération, il devrait favoriser l'émergence de l'élément critique et les participants du groupe sommeil auraient tendance à effectuer plus de fausses reconnaissances pour les mots critiques par rapport aux participants du groupe éveil.

6.5. Expérience 5

Méthode Expérience 5

Participants : 16 nouveaux participants âgés de 18 à 44 ans ($M= 31.8$ ans ± 10.4) ont été recrutés selon les mêmes critères que pour les expériences précédentes.

Matériel: Pour le matériel nous nous sommes inspirés du paradigme DRM proposé par Roediger et McDermott (Roediger & McDermott, 1995). Nous avons utilisé 174 mots de la langue française. Ces mots ont été répartis dans 12 listes différentes (annexe 7). Pour chaque liste, il y avait un mot « critique » qui était sémantiquement relié aux autres mots de la liste bien qu'il ne soit pas présenté à l'apprentissage (Figure 50).

Légume
Orange
Poire
Panier
Pomme
Kiwi
Salade
Banane
Cerise
Jus
Cocktail
Bol

Figure 50. Exemple de liste présentée à l'apprentissage. Le mot critique pour cette liste était le mot « fruit ».

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel Psyscope (Cohen et al., 1993). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure en deux phases: une phase d'apprentissage et une phase de reconnaissance. Les participants devaient répondre en utilisant les touches du clavier de l'ordinateur sur lesquelles nous avons collé des gommettes. Pour les deux phases on indiquait aux participants de répondre le plus rapidement possible en faisant le moins d'erreurs possible. L'expérience se déroulait au laboratoire EMC dans une salle d'expérimentation éclairée et isolée du bruit.

Phase d'apprentissage. Lors de la phase d'apprentissage, 6 listes de 12 mots chacune ont été présentées à l'oral aux participants. Les mots étaient présentés au rythme d'un mot par seconde. Les participants avaient pour consigne de mémoriser les mots entendus. A l'issue de chaque liste, ils avaient trois minutes de rappel durant lesquelles l'expérimentateur notait alors sur une feuille tous les mots rappelés par le participant.

Pour le groupe éveil, l'apprentissage avait lieu le matin (à huit heures) et la reconnaissance le soir (à vingt heures), le délai était donc constitué d'éveil. Le groupe sommeil effectuait l'apprentissage le soir et la reconnaissance le matin, le délai était constitué de sommeil. L'enregistrement du sommeil était effectué par un actimètre (Actiwatch 7, CamNtech, Cambridge). Les conditions appliquées étaient identiques aux expériences décrites précédemment.

Phase de reconnaissance. Après le délai, les participants réalisaient la phase de reconnaissance. L'expérimentateur donnait à nouveau des mots à l'oral et pour chacun les participants devaient indiquer si oui ou non ils avaient entendu ces mots pendant la phase d'apprentissage. Les mots présentés à la reconnaissance pouvaient appartenir soit à la condition « ancien », c'est-à-dire qu'ils avaient été présentés à l'apprentissage, soit à la condition « relié », c'est-à-dire qu'ils étaient sémantiquement reliés aux mots présentés, soit à la condition « non relié » c'est à dire qu'ils n'avaient aucun lien sémantique avec les mots de la liste. Enfin pour chaque liste, il y a avait un item « critique » qui était un mot représentatif des autres mots de la liste (Figure 51). Lors de la phase de reconnaissance, les mots étaient présentés dans l'ordre d'apparition des listes à l'apprentissage.

Ancien: Orange

Critique: Fruit

Relié: Baie

Non relié: Humeur

Figure 51. Exemple de liste présentée à la phase de reconnaissance.

Résultats Expérience 5

Phase d'apprentissage

Nous avons mesuré le pourcentage de mots correctement rappelés et le pourcentage de mots critiques rappelés ainsi que le nombre d'intrusions pour la phase d'apprentissage (tableau 19).

Tableau 19. Taux de rappel et de mots critiques (en %) et nombre d'intrusions pour les deux groupes.

	Rappel (%)	Critique (%)	Intrusion (n.)
EVEIL	68.9 ± 6.8	31.3 ± 13.9	3.8 ± 1.9
SOMMEIL	68.2 ± 11.6	31.3 ± 18.8	3.6 ± 3.0

Il n'y avait pas de différence entre le groupe éveil et sommeil pour le taux de rappel $t(14)=0.15$; $p=.89$; pour le taux d'items critique rappelés $t(14)=0.15$; $p=.99$ et pour le nombre d'intrusions $t(14) =0.10$; $p=.92$.

Phase de reconnaissance

Nous avons mesuré le pourcentage de mots correctement rappelés dans chacune des conditions pour les deux groupes (tableau 20).

Tableau 20. Taux de réponse « oui » pour chaque condition (en %) pour les deux groupes.

	Ancien (%)	Critique (%)	Relié (%)	Non relié (%)
EVEIL	74.0 ± 14.4	70.8 ± 26.4	19.8 ± 17.8	1.0 ± 2.9
SOMMEIL	81.3 ± 13.9	68.8 ± 27.4	14.6 ± 9.7	5.2 ± 7.6

Il n'y avait pas de différence entre le groupe éveil et sommeil pour la condition « ancien » $t(14)=-1.03$; $p=.32$; pour la condition « critique » $t(14)=0.73$; $p=.48$; pour la condition « relié » $t(14)=-1.44$; $p=.17$ et pour la condition « non relié » $t(14) =0.15$; $p=.88$.

Données de sommeil

Nous avons enregistré la nuit de sommeil des participants à l'aide d'un actimètre. Nous avons mesuré le temps passé au lit entre l'extinction des lumières le soir et leur allumage le matin, le temps de sommeil, le temps d'éveil, le temps de sommeil réel qui représente le temps de sommeil moins le temps d'éveil et l'efficacité de sommeil. Les données recueillies sont présentées dans le tableau 21.

Tableau 21. Données de sommeil recueillies par actimétrie.

Temps passé au lit (min)	509.0 ± 48.7
Temps sommeil (min)	430.0 ± 52.8
Temps éveil (min)	51.8 ± 16.8
Efficacité sommeil (%)	84.4 ± 4.8

Discussion Expérience 5

Le but de cette expérience était d'étudier l'effet du sommeil sur le processus d'activation inter-traces avec un matériel plus écologique et déjà utilisé dans des expériences sur le sommeil. Nous avons donc utilisé le paradigme DRM (Payne et al., 2009; Roediger & McDermott, 1995). Nous nous attendions dans un premier temps à ce que le sommeil permette une meilleure reconnaissance des items anciens. De plus, nous nous attendions à ce que le sommeil, en favorisant l'activation inter-traces à la récupération, favorise l'émergence des éléments communs aux différentes traces et augmente le nombre de fausses reconnaissances pour les items critiques. Cependant nous n'avons observé aucune différence entre les groupes éveil et sommeil pour les différentes conditions.

Dans un premier temps il nous semble important de noter que l'expérience comportait peu de participants. Cela pourrait expliquer l'absence de différence significative.

Toutefois, bien que la différence ne soit pas significative, le groupe sommeil avait un pourcentage de réponse « oui » supérieur à celui du groupe éveil pour les items « ancien ». Cela pourrait signifier que le sommeil ait tout de même permis de consolider les items anciens sans pour autant créer une généralisation de ces items à l'item critique. Il nous semble particulièrement intéressant de poursuivre cette expérience avec un nombre de sujets plus importants afin de voir si cette différence pourrait émerger par la suite.

Conclusion Chapitre 6

Les expériences décrites dans ce chapitre avaient pour but d'étudier les effets du sommeil sur l'activation inter-trace et l'émergence de nouvelles connaissances. Pour cela nous nous sommes basés sur un protocole original inspiré d'expériences sur la mémoire associative. Nous souhaitions savoir si le sommeil permettait de lier deux éléments qui n'avaient jamais été présenté ensemble par réactivation d'un élément commun. Ces différentes expériences n'ayant pas donné les résultats attendus nous nous sommes interrogés sur la validité du matériel utilisé. En effet, dans la plupart des études s'intéressant aux liens entre sommeil et mémoire, le matériel utilisé est similaire au matériel auquel nous pouvons être confronté dans la vie courante c'est-à-dire un matériel verbal ou des tâches visuo-spatiales. De plus, il semblerait que le sommeil favorise surtout des informations pertinentes pour l'individu (Rasch & Born, 2013). Nous avons donc modifié notre protocole dans la dernière expérience de ce chapitre. Malheureusement le peu de sujets recrutés pour cette expérience ne nous a pas permis d'observer de résultats significatifs. Il nous semble tout de même que la question de la pertinence dans le cadre de la consolidation demeure une question essentielle. De plus, il nous semble également que le modèle Act-In permettrait de décrire la consolidation mnésique au cours du sommeil et l'explicitation des connaissances. Cependant les paradigmes utilisés ne permettaient pas de mettre en évidence un effet du sommeil sur les processus d'intégration multi-composants et d'activation intra-traces. Il faudrait mettre en place des paradigmes permettant d'évaluer de façon directe ces processus et ainsi de comprendre l'effet du sommeil sur ceux-ci. Ces questions mériteraient d'être approfondies dans de futures expériences.

Enfin, il nous semblait également important dans ce travail de thèse d'aborder les questions du vieillissement normal. En effet, il est clairement établi dans la littérature que le vieillissement entraîne non seulement des déficits mnésiques mais également des déficits de sommeil. Or nous souhaitions dans le cadre de cette thèse, proposer un cadre théorique original quant à la compréhension des processus de consolidation mnésique. Dans ce cas l'étude de la consolidation mnésique dans le cadre du vieillissement nous semblait importante à aborder. En effet, mieux comprendre les effets du vieillissement sur la consolidation mnésique nous apporterait des arguments dans la compréhension des processus mnésiques impliqués dans cette consolidation. Nous avons donc étudié dans le dernier axe de ce

manuscrit, la consolidation d'un apprentissage visuo-spatial au cours du sommeil en fonction de l'âge.

Chapitre 7

Modifications du sommeil et conséquences sur la mémoire

Comme nous l'avons abordé dans la partie théorique, de nombreuses études ont montré des effets bénéfiques du sommeil sur la consolidation mnésique. Dans les trois précédents chapitres de la partie expérimentale, nous avons cherché à interpréter les effets du sommeil sur l'explicitation des connaissances implicites à travers le modèle Act-In. Dans ce dernier chapitre nous avons cherché à comprendre si des modifications du sommeil telles que celles observées au cours du vieillissement pouvaient entraîner des modifications dans la consolidation mnésique. Pour cela, nous avons étudié les liens entre sommeil et mémoire dans le cadre du vieillissement normal (Cherdiou, Reynaud, Uhlrich, Versace, & Mazza, 2014).

Les plaintes mnésiques sont fréquentes au cours du vieillissement normal et elles concernent en particulier la mémoire explicite. Les personnes âgées présentent des difficultés à l'encodage (Balota, Dolan, & Duchek, 2000), au stockage (Giambra & Arenberg, 1993) et à la récupération (Craik & McDowd, 1987) ainsi qu'au niveau de la mémoire des informations contextuelles et de la mémoire de la source (W. D. Spencer & Raz, 1995). En effet, elles ont plus de difficultés à rappeler des détails spécifiques concernant un événement comme par exemple le moment et l'endroit où l'évènement s'est déroulé (Hornung, Danker-Hopfe, & Heuser, 2005). Ces nombreuses difficultés mnésiques peuvent être liées aux changements structurels et fonctionnels au sein du lobe temporal médial et du cortex préfrontal apparaissant au cours du vieillissement (Daselaar, Veltman, Rombouts, Raaijmakers, & Jonker, 2003; Hedden & Gabrieli, 2004). Ces changements au niveau du cortex préfrontal pourraient expliquer que les personnes âgées ont du mal à utiliser spontanément la stratégie appropriée pour récupérer des souvenirs nouvellement acquis. D'autres études ont également montré que le vieillissement serait associé à un déficit d'association entre les différentes unités entraînant une difficulté à construire une connaissance complète (Naveh-Benjamin, 2000; Old & Naveh-

Benjamin, 2008). Ce déficit d'association pourrait alors expliquer les déficits mnésiques liés au vieillissement normal.

En addition aux plaintes mnésiques, le vieillissement normal s'accompagne également de plusieurs changements au niveau du sommeil. On observe chez les personnes âgées une augmentation de la latence d'endormissement, un sommeil plus fragmenté avec une augmentation des éveils nocturnes, une augmentation des stades de sommeil léger ainsi qu'une réduction du sommeil lent et des cycles de sommeil (Backhaus et al., 2007; D. Bliwise, 1993; Crowley, 2011; Hornung et al., 2005; Rosenzweig et al., 2005; Van Cauter, Leproult, & Plat, 2000; Walsleben & Kapur, 2004). Ces modifications ont pour conséquence une réduction du temps de sommeil total ainsi qu'une réduction de l'efficacité de sommeil (Mazzoni et al., 1999).

Etant donné les modifications nocturnes et les difficultés mnésiques observées dans le vieillissement normal, il nous semblait intéressant de déterminer si les troubles du sommeil pouvaient entraîner des troubles de la consolidation mnésique. Dans ce cas, les bénéfices mnésiques liés au sommeil habituellement observés chez les sujets jeunes persistent-ils avec l'âge ? De nombreuses caractéristiques du sommeil impliquées dans la consolidation mnésique sont en effet affectées par l'âge. De la même manière, les modifications structurelles (hippocampe et néocortex) observées au cours du vieillissement pourraient influencer la consolidation des souvenirs au cours du sommeil. A ce jour, quelques études ont comparé des groupes d'âge différent (Scullin, 2013; Backhaus et al., 2007; pour une revue voir Hornung et al., 2005) révélant que les changements nocturnes liés à l'âge et surtout la diminution du sommeil lent, entraîneraient un déficit de la consolidation mnésique au cours du sommeil. De plus, une diminution des cycles de sommeil réduirait les capacités de rappel (Mazzoni et al., 1999). Etant donné, l'influence de ces changements nocturnes sur la consolidation mnésique, nous nous sommes intéressés dans ce dernier axe, à l'influence de l'âge sur la consolidation de la mémoire. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la mémoire visuo-spatiale car ce type de mémoire est particulièrement touché dans le cadre du vieillissement normal (Balota et al., 2000) mais elle est également particulièrement consolidée au cours du sommeil (Rasch et al., 2007). Nous avons donc constitué deux groupes de participants, un groupe « Jeunes » et un groupe « Agés ». Ces deux groupes réalisaient la tâche de mémoire visuo-spatiale avant et après le délai. Le délai pouvait être constitué d'éveil ou de sommeil. Nous nous attendions à ce que les participants du groupe « Jeunes » présentent un bénéfice lié au sommeil plus important que les participants du groupe « Agés ».

7.1. Expérience 1

Méthode Expérience 1

Participants : 20 participants volontaires âgés de 18 à 25 ans (22.1 ans \pm 1.7) et 20 participants volontaires âgés de 65 à 82 ans (68.9 ans \pm 5.3) ont participé à cette expérience. Ils ont été répartis dans deux groupes : un groupe « Jeunes » et un groupe « Agés ». Les participants étaient tous de langue maternelle française ou parlaient couramment la langue française. Leur vue et leur ouïe était normale ou corrigée à la normale et était jugée de « satisfaisante » à « excellente ». Ils n'ont reporté aucune maladie nécessitant un traitement médicamenteux, aucune prise de médicament, aucune affection psychiatrique ou neurologique, aucun abus d'alcool ou d'autres substances ni aucune détérioration cognitive (Score Mini-Mental State Examination (MMSE) > 27). Nous avons également évalué la somnolence diurne à l'aide de l'échelle de somnolence d'Epworth (Johns, 1991) et la qualité du sommeil à l'aide de l'index de qualité de sommeil de Pittsburgh (Buysse et al., 1989) avant l'inclusion des participants. Seuls les participants ne présentant pas de somnolence diurne (score < 10) et une bonne qualité de sommeil (score entre 0 et 5) ont été retenus pour participer à l'expérience. Les participants n'ont reçu aucune rémunération en échange de leur participation. Aucun participant n'a reporté de trouble du sommeil, cependant la qualité du sommeil a été contrôlée par polysomnographie la nuit du test.

Matériel: Les sujets ont réalisé une tâche de visualisation spatiale en 2D consistant à localiser des paires de cartes dans une matrice spatiale. La tâche, réalisée sur un ordinateur était similaire au jeu du « Memory ». Elle était constituée de 12 paires de cartes sur lesquelles étaient présentées des images d'animaux, objets, légumes et moyens de transport (Rasch et al., 2007). Les 24 positions possibles des cartes étaient représentées par des carrés gris sur l'écran. Chaque carré pouvait se retourner afin de dévoiler une carte (Figure 52)



Figure 52. Tâche de Memory réalisée dans l'expérience 1

Procédure : L'expérience a été programmée et réalisée à l'aide du logiciel E-prime (Psychology Software Distribution). Les participants devaient remplir un formulaire de consentement avant de commencer l'expérience. La procédure était une procédure classique en deux phases : une phase d'apprentissage et une phase de rappel séparées d'un délai de 12 heures. L'expérience se déroulait à domicile, dans une pièce calme, afin de faciliter la passation pour les personnes âgées.

Phase d'apprentissage. La phase d'apprentissage était composée de deux parties. Dans un premier temps, les participants voyaient la localisation de toutes les paires d'images une première fois puis une seconde fois dans un ordre différent. Dans un second temps, une des cartes était retournée, face visible, et les participants devaient indiquer la localisation de la seconde carte composant cette paire en pointant la localisation qu'ils pensaient être correcte. Après chaque essai, les participants avaient un feedback leur indiquant si leur réponse était correcte ou non. Quand les participants avaient atteint 75% de réponses correctes, la phase d'apprentissage prenait fin.

Après cette phase d'apprentissage, les groupes « Jeunes » et « Agés » ont été répartis en deux groupes : un groupe « éveil » et un groupe « sommeil ». Le groupe « éveil » réalisait la phase d'apprentissage le matin (vers 8h) et la phase de rappel le soir (vers 20h) alors que le groupe « sommeil » réalisait la phase d'apprentissage le soir et la phase de rappel le matin. Ainsi le groupe « éveil » avait un délai constitué d'éveil en journée et le groupe « sommeil » avait un délai majoritairement constitué de sommeil de nuit, le délai étant identique pour les deux groupes (12h).

Pour le groupe sommeil, la nuit de sommeil se déroulait à domicile afin qu'elle soit le plus similaire possible aux conditions habituelles de chacun des participants. Un enregistrement polysomnographique ambulatoire était effectué durant la nuit. Cet enregistrement a été réalisé à l'aide de l'appareil ambulatoire Somnochek2 R&K (Weinmann Medical Technology). L'enregistrement polysomnographique a été réalisé en utilisant 4 dérivations EEG (C3, C4, A1, A2), des électrooculogrammes bilatéraux (EOG), un électromyogramme sous le menton (EMG) et un électrocardiogramme (ECG). Les mouvements thoraciques et abdominaux ont été enregistrés afin de contrôler la respiration, et des oxymètres transcutanés placés sur le doigt ont permis de mesurer la saturation en oxygène. Les stades de sommeil ont été interprétés selon la méthode standard développée par Rechtschaffen et Kales (1968). Cependant, en prenant en compte la recommandation « AASM Visual Scoring Task Force »

(Silber et al., 2007) le Sommeil Lent Profond (SL) n'a pas été sous-divisé en stades 3 et 4. Nous avons mesuré le temps passé au lit (TIB) qui représente le temps entre le coucher (extinction des lumières le soir) et le lever (allumage des lumières le matin) et le Temps de Sommeil Total (TST) qui représente le nombre de minutes passées à dormir entre le lever et le coucher. L'efficacité de sommeil a été calculée à partir du TST et du (TIB) : Efficacité de sommeil $= (TST/TIB) * 100$. Nous avons mesuré la latence d'endormissement qui représente le temps d'apparition du premier épisode de sommeil continu après le coucher. Nous avons également mesuré le nombre de réveils intra-sommeil et le pourcentage de temps passé dans chaque stade de sommeil en fonction du temps de sommeil total. Nous avons mesuré le Temps de sommeil passé en Cycles (TCT) qui représente le nombre de minutes passées en cycles (Non-SP puis SP sans compter les interruptions supérieures à 2 minutes) sur le temps de sommeil total. Enfin, nous avons mesuré le temps d'éveil après endormissement (WASO), qui représente le temps passé éveillé entre le moment de l'endormissement et le moment du réveil final.

Phase de rappel. Après le délai, les participants réalisaient la phase de rappel. Ils devaient retrouver la localisation des paires de cartes. Pour cela on leur présentait une carte et ils devaient indiquer la localisation de paire correspondant. Ils n'avaient aucun feedback pour cette phase.

Résultats Expérience 1 :

Nous avons mesuré les performances à l'apprentissage et au rappel ainsi que le nombre d'essais nécessaires aux participants pour atteindre les 75% de bonnes réponses à l'apprentissage.

Phase d'apprentissage

Nous avons effectué une analyse de variance sur les taux de bonnes réponses et le nombre d'essais nécessaires pour atteindre les 75% de bonnes réponses à l'apprentissage ; avec comme facteur inter-sujets l'AGE (Jeunes vs Agés) et le GROUPE (Eveil vs Sommeil).

Concernant le nombre d'essais, le groupe « Agés » a eu besoin de plus d'essais pour atteindre les 75% de bonnes réponses (8.3 ± 0.9) que le groupe « Jeunes » (5.6 ± 0.5) ; $F(1,36)=7.77$;

$p < .01$; $\eta_p^2 = .18$. Cependant, il n’y avait pas de différence entre les groupes Sommeil et Eveil ($F(1,36) = 2.47$; $p = .12$; $\eta_p^2 = .06$) ni d’interaction entre l’âge et le groupe ($F(1,36) < 1$).

Concernant les taux de bonnes réponses, il n’y avait aucune différence entre les groupes « Jeunes » et « Agés » ($F(1,36) < 1$) ; ni entre les groupes Sommeil et Eveil ($F(1,36) = 1.60$; $p = .21$) ; ni d’interaction ($F(1,36) < 1$) (Tableau 22).

Tableau 22. Performances à l’apprentissage pour les groupes « éveils » et « sommeil ».

	Jeunes	
	Eveil (M± ES)	Sommeil (M± ES)
Nombre essais	6.2 ± 0.7	4.9 ± 0.6
Taux de BR (%)	80.0 ± 2.3	77.4 ± 1.2
	Agés	
	Eveil (M± ES)	Sommeil (M± ES)
Nombre essais	9.2 ± 1.3	7.4 ± 1.2
Taux de BR (%)	79.1 ± 1.9	77.4 ± 1.2

M=Moyenne ; ES= Erreur-standard

Phase de rappel

Nous avons calculé un taux d’oubli basé sur la différence entre les performances à l’apprentissage et les performances au rappel. Plus ce score était important, plus les participants avaient oublié la localisation des stimuli lors du rappel.

Le tableau 23 présente les taux d’oubli pour les différents groupes.

Tableau 23. Taux d’oubli (en %) des différents groupes lors de la phase de rappel.

	Jeunes		Agés	
	Eveil (M± ES)	Sommeil (M± ES)	Eveil (M± ES)	Sommeil (M± ES)
Taux oubli (%)	17.40 ± 3.1	-0.10 ± 2.1	19.80 ± 4.4	16.60 ± 4.2

M=Moyenne ; ES= Erreur-standard

Une analyse de variance a été effectuée sur les taux d’oubli incluant un facteur AGE (Jeunes vs Agés) et un facteur GROUPE (Eveil vs Sommeil) en Inter-sujets.

L'analyse de variance a révélé un effet de l'AGE, $F(1,36)=7.20$; $p=.01$; $\eta_p^2=.17$. Le taux d'oubli était plus important pour le groupe « Agés » ($18.20\% \pm 2.96$) que pour le groupe « Jeunes » ($8.65\% \pm 2.72$).

Nous avons observé un effet du GROUPE, $F(1,36)=8.46$; $p<.01$; $\eta_p^2=.19$. Le taux d'oubli était plus important pour le groupe éveil ($18.60\% \pm 2.63$) que pour le groupe sommeil ($8.25\% \pm 2.97$).

Enfin nous avons observé une interaction AGE*GROUPE, $F(1,36)=4.04$; $p=.05$; $\eta_p^2=.10$. La consolidation au cours du sommeil était plus importante chez le groupe « Jeunes » que chez le groupe « Agés ». Les comparaisons planifiées ont révélé une différence significative entre le groupe sommeil et le groupe éveil pour le groupe « Jeunes » mais pas pour le groupe « Agés ». En d'autres termes, l'effet du sommeil sur la mémoire n'a été observé que pour le groupe « Jeunes » (Figure 53).

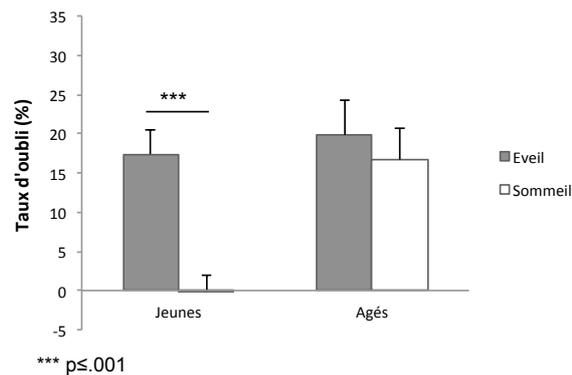


Figure 53. Taux d'oubli pour les « Jeunes » et les « Agés » en fonction du groupe.

Données de sommeil

Nous avons effectué un test de student afin de comparer les caractéristiques du sommeil chez les « Jeunes » et les « Agés ».

Les analyses n'ont révélé aucune différence de Sommeil Lent (SL) entre les deux groupes d'âge. Cependant, elles ont révélé une différence significative en termes d'efficacité de sommeil, de temps passé en cycles (TCT), de proportion de TCT/TST et de durée de Sommeil Paradoxal (SP). Le groupe « Agés » ayant des diminutions au niveau de ces caractéristiques par rapport au groupe « Jeunes ». Enfin, il n'y avait aucune différence dans les scores de somnolence diurne (Epworth) entre les deux groupes d'âge (Tableau 24).

Tableau 24. Caractéristiques du sommeil pour les « Jeunes » et les « Agés ».

	Jeunes (M± ES)	Agés (M± ES)	t
TST (min)	467.6 ± 20.0	410.5 ± 19.9	2.00
Efficacité sommeil (%)	85.4 ± 2.8	73.2 ± 3.7	2.61*
Latence endormissement (min)	41.6 ± 12.1	57.3 ± 11.5	-0.94
Réveils (nbre)	34.7 ± 5.1	34.4 ± 3.0	0.05
Stade 1 (%)	7.8 ± 1.2	9.1 ± 0.9	-0.83
Stade 1 (min)	35.7 ± 5.5	36.5 ± 3.5	-0.12
Stade 2 (%)	44.1 ± 2.2	47.8 ± 1.8	-1.31
Stade 2 (min)	208.2 ± 17.2	197.1 ± 13.6	0.50
SL (%)	20.5 ± 2.0	19.2 ± 3.0	0.36
SL (min)	93.6 ± 7.3	77.7 ± 11.3	1.18
SP (%)	27.7 ± 1.3	23.9 ± 1.9	1.66
SP (min)	130.2 ± 9.6	89.5 ± 13.5	2.46*
TCT (min)	420.7 ± 25.3	284.2 ± 28.6	3.58*
TCT/TST (%)	89.5 ± 2.2	68.6 ± 5.4	3.59*
WASO	72.7 ± 12.7	106.8 ± 16.7	-1.63
Score Epworth	7.5 ± 2.5	6.4 ± 2.5	-0.58

* p<.05 ; TST= Temps Sommeil Total ; SL= Sommeil Lent ; SP= Sommeil Paradoxal ; TCT = Temps passé en cycles.

Nous avons enfin calculé des corrélations entre les performances de mémoire et les diverses caractéristiques de sommeil. Nous avons observé uniquement une corrélation négative significative entre le taux d'oubli et le pourcentage de TCT/TST pour les deux groupes d'âge (Tableau 25 et Figure 54).

Tableau 25. Corrélations entre les caractéristiques du sommeil et les taux d'oubli pour les « Jeunes » et les « Agés ».

	r
TST (min)	-0.08
Efficacité sommeil (%)	-0.28
Latence endormissement (min)	-0.25
Réveils (nbre)	-0.29
Stade 1 (%)	-0.13
Stade 1 (min)	-0.21
Stade 2 (%)	0.22
Stade 2 (min)	0.10
SL (%)	0.02
SL (min)	-0.04
SP (%)	-0.23
SP (min)	-0.33
TCT (min)	-0.35
TCT/TST (%)	-0.50*
WASO	0.28
Score Epworth	0.24

*p<.05

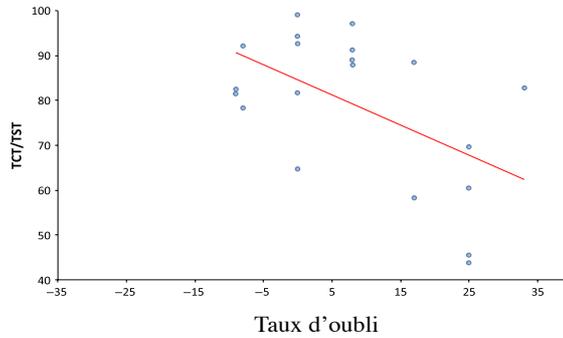


Figure 54. Corrélation entre le taux d'oubli et le pourcentage TCT/TST

Discussion

Le but de cette expérience était d'étudier l'effet des modifications du sommeil observées au cours du vieillissement sur la consolidation mnésique. En effet, compte tenu des modifications nocturnes liées à l'âge, nous souhaitions savoir si les bénéfices du sommeil sur la mémoire persistaient dans le cadre du vieillissement normal. Nous avons donc comparé deux groupes de participants, un groupe « Jeunes » et un groupe « Agés » dans la réalisation d'une tâche de mémoire visuo-spatiale après un délai constitué d'éveil ou de sommeil.

Tout d'abord, concernant les performances à l'apprentissage nous n'avons observé aucune différence entre les deux groupes d'âge. Il a été décrit dans la littérature qu'avec l'âge la vitesse de traitement et les capacités d'encodage diminuent (Balota et al., 2000). Nous avons donc intégré un critère de 75% de bonnes réponses afin de réduire les différences entre le groupe « Jeunes » et le groupe « Agés » à l'apprentissage. De même, il n'y avait aucune différence à l'apprentissage entre les groupes « éveil » et « sommeil ».

Concernant les performances au rappel, nous avons observé que pour le groupe « Jeunes », une période de sommeil permettait de maintenir les performances alors que le rappel était déficitaire après une période d'éveil. En revanche, pour le groupe « Agés », le sommeil ne semble pas apporter de bénéfice. Nous avons observé un taux d'oubli identique après une période d'éveil ou de sommeil.

En addition à cette absence de bénéfice du sommeil chez le groupe « Agés », nous avons observé des changements dans l'architecture du sommeil. En effet, nous avons observé une diminution l'efficacité de sommeil, de la durée du sommeil paradoxal (SP) et de la durée des cycles.

Nos résultats semblent donc indiquer que l'effet bénéfique du sommeil sur la consolidation mnésique disparaîtrait avec l'âge. Il semblerait également que ces déficits de consolidation mnésique soient liés à des modifications nocturnes.

Ces changements liés au vieillissement dans l'architecture du sommeil sont bien décrits dans la littérature. De nombreux paramètres du sommeil connus pour être impliqués dans les processus mnésiques nocturnes semblent déficients chez les personnes âgées. Une étude récente a suggéré que le temps de sommeil était fortement corrélé aux bénéfices mnésiques liés au sommeil (Aly & Moscovitch, 2010). L'efficacité de sommeil constitue également un facteur qui décline avec l'âge passant de 86% entre 37 et 54 ans à 79% après 70 ans (D. L. Bliwise, Ansari, Straight, & Parker, 2005). Nos résultats ont montré qu'il y avait une

réduction d'environ 1 heure sur le temps de sommeil total ainsi qu'une diminution de 12% pour l'efficacité de sommeil chez le groupe « Agés » par rapport au groupe « Jeunes ». Cela pourrait alors expliquer le déficit de consolidation mnésique observé chez le groupe « Agés » bien qu'aucune corrélation n'ait été obtenue entre les performances et le temps de sommeil total ou l'efficacité de sommeil.

En plus de ces changements affectant le sommeil global, une diminution du sommeil lent (SL) avec l'âge est également décrite dans la littérature (Hornung et al., 2005; Scullin, 2013). Etant donné que ce stade est supposé être impliqué dans la consolidation de la mémoire explicite (Plihal & Born, 1997; Smith, 2001; Smith, 1995), son déclin pourrait être la cause d'une diminution de la consolidation nocturne de la mémoire explicite avec l'âge. Une étude récente a d'ailleurs montré une corrélation entre la quantité de SL et la rétention de paires de mots (Scullin, 2013). Cependant, notre étude n'a pas révélé de différence de SL entre le groupe « Jeunes » et le groupe « Agés ». Bien que cette absence de différence soit surprenante, cela pourrait être dû à notre choix d'effectuer l'enregistrement polysomnographique à domicile. Les participants passaient leur nuit de sommeil à leur domicile et celle-ci était probablement de meilleure qualité et moins fragmentée que s'ils avaient dormi dans un laboratoire de sommeil. Bruyneel et al. (2011) ont montré qu'un enregistrement polysomnographique à domicile permettait d'observer une meilleure efficacité de sommeil qu'un enregistrement au sein d'un laboratoire. Ils ont également noté que l'enregistrement à domicile était associé à des durées de sommeil plus longues, à des latences d'endormissement plus courtes et à plus de SP (Bruyneel et al., 2011). Il est également important de souligner le fait que tous les participants de notre étude étaient de bons dormeurs avec un score à l'échelle de qualité de sommeil de Pittsburgh supérieur à 5 (même si les participants n'ont pas été directement sélectionnés selon ce critère). Une autre explication pourrait être que la phase d'apprentissage, étant un peu plus difficile pour les personnes âgées (ils avaient besoin de plus d'essais pour atteindre le critère de 75% de bonnes réponses), pourrait avoir augmenté la quantité de SL durant le sommeil subséquent. En effet, certaines études ont montré qu'une session d'apprentissage modifie le sommeil subséquent en augmentant la quantité de SL ou de SP normalement observée (pour une revue voir Smith, 2001) ou en modifiant la micro-architecture du sommeil comme par exemple la densité des fuseaux de sommeil (Gais et al., 2002). Un plus grand nombre d'essais nécessaires afin d'atteindre le critère de 75% de bonnes réponses pour le groupe « Agés » pourrait donc entraîner l'augmentation de la quantité de SL observée chez les âgés. Cependant, nous n'avons observé aucune corrélation entre le SL et le nombre d'essais nécessaires à l'apprentissage.

Nos résultats montrent que malgré l'absence de différence en termes de SL, le groupe « Agés » présente une consolidation mnésique nocturne moins efficace que le groupe « Jeunes ». Ceci pourrait suggérer qu'une diminution de la quantité de SL n'est pas le seul facteur pouvant limiter la consolidation mnésique au cours du sommeil dans le vieillissement normal. Dans notre étude, nous avons d'ailleurs observé une réduction du SP pour le groupe « Agés » par rapport au groupe « Jeunes ». Il se pourrait alors que cette différence de SP explique les différences en termes de consolidation mnésique. Schredl et al. (2001) ont montré une relation entre les performances en mémoire explicite et la quantité de SP chez les personnes âgées. Dans cette étude, ils ont administré aux participants une substance inhibitrice de l'acétylcholinestérase entraînant une augmentation du taux d'acétylcholine et par conséquent de la quantité de sommeil paradoxal. Cette augmentation de SP était alors corrélée aux performances mnésiques lors d'une tâche de rappel de mots (Schredl, Weber, Leins, & Heuser, 2001).

En plus de cette réduction du SP, nous avons observé dans notre étude une modification de l'organisation du sommeil pour le groupe « Agés » se traduisant par une diminution de la proportion des cycles (TCT/TST). Or, selon l'hypothèse séquentielle, l'organisation du sommeil, caractérisée par une occurrence régulière des cycles SL/SP pourrait être plus cruciale pour la consolidation mnésique que les stades de sommeil individuellement (Ficca et al., 2000; Giuditta et al., 1995). Mazzoni et al. (1999) ont montré que les performances de rappel étaient corrélées de façon positive avec la durée moyenne des cycles SL/SP et avec la proportion de temps passé en cycle sur le temps de sommeil total (TCT/TST) (Mazzoni et al., 1999). Nos résultats nous amènent donc à penser que d'autres caractéristiques du sommeil tels que la durée de SP ou la proportion des cycles SL/SP pourraient être impliquées dans la consolidation des souvenirs nouvellement acquis. Jusqu'alors dans la littérature, les études décrivaient un rôle dissocié des stades de sommeil sur les différents types de mémoire. Le sommeil lent serait plutôt impliqué dans la consolidation de la mémoire explicite alors que le sommeil paradoxal serait plutôt impliqué dans la consolidation de la mémoire implicite. Cependant, de nouvelles hypothèses sont aujourd'hui proposées avec l'idée que la consolidation mnésique reposerait sur deux types de consolidation. D'une part, la consolidation au niveau « synaptique » c'est-à-dire la restructuration des circuits neuronaux existants et la création de nouvelles connections. Cette consolidation synaptique serait plutôt favorisée par le sommeil paradoxal. D'autre part, la consolidation au niveau « systémique » qui impliquerait une réorganisation des régions cérébrales avec une moindre implication de l'hippocampe et une plus grande implication du néocortex et du cortex préfrontal. Cette

consolidation systémique serait favorisée par le sommeil lent (Buzsáki, 1996; Frankland & Bontempi, 2005; Rasch & Born, 2013; Sirota & Buzsáki, 2005). Ce serait donc la succession des deux phases de sommeil qui permettrait de favoriser la consolidation mnésique au cours du sommeil.

Comme il a été observé dans la plupart des études sur le sommeil ayant utilisé un paradigme similaire au nôtre, il est possible que des effets circadiens confondants puissent expliquer les différences entre les groupes sommeil et éveil. En effet, le groupe « éveil » a réalisé la tâche d'apprentissage le matin alors que le groupe « sommeil » a réalisé la tâche d'apprentissage le soir. La différence de performances observée entre nos deux groupes pourrait être due à des effets attentionnels lors de l'apprentissage. Nous avons cependant établi un critère de 75% de réussite à l'apprentissage afin de réduire au maximum les différences entre les groupes.

Enfin, nous avons observé dans notre étude que chez le groupe « Jeunes », les performances après le délai n'étaient pas supérieures aux performances avant l'épisode de sommeil. Ces résultats suggèrent que le sommeil n'améliorerait pas le rappel chez les jeunes mais maintiendrait plutôt les performances en réduisant l'oubli. Cependant, nous ne considérons pas que le sommeil maintiendrait passivement les traces en les protégeant des interférences. Certains arguments de la littérature suggèrent que la consolidation mnésique au cours du sommeil serait active : le sommeil stabiliserait les traces en mémoire de façon à ce qu'elles deviennent résistantes à l'interférence le jour suivant (Ellenbogen, Hulbert, et al., 2006) ; l'amélioration des performances serait dépendante du stade de sommeil (Peigneux et al., 2004) ; l'activation neuronale dans l'hippocampe permettrait d'effectuer un « replay » de l'information durant le sommeil (Maquet, 2001) et serait corrélée à des améliorations comportementales (Peigneux et al., 2004) .

En résumé, notre étude confirme l'idée que le sommeil a une influence majeure sur les souvenirs nouvellement acquis en les stabilisant mais que cet effet serait diminué avec l'âge. Les modifications nocturnes liées à l'âge influencent donc directement la consolidation mnésique.

DISCUSSION GENERALE

Discussion Générale

L'objectif de cette thèse était de comprendre si la modification de la trace mnésique au cours du sommeil permettant notamment l'émergence de règles, l'apparition d'insight et la créativité pouvait s'expliquer à travers un modèle de mémoire original. En effet, les données publiées jusqu'ici se basaient sur les modèles classiques de la mémoire qui nous semblent quelque peu limités pour décrire ces phénomènes de réorganisation des traces mnésiques. Nous nous sommes notamment interrogés sur le rôle potentiel du sommeil sur la transformation d'une trace implicite en trace explicite. Nous avons donc développé quatre axes d'étude autour de cette problématique. Dans un premier temps nous avons cherché à comprendre si le sommeil permettait à un souvenir non conscient de devenir conscient de façon passive. Puis nous avons émis l'hypothèse que le sommeil modifierait activement la trace mnésique. Afin d'étudier cette hypothèse, nous nous sommes placés dans le cadre d'un modèle de mémoire original par rapport aux modèles classiques décrits dans la littérature : le modèle Act-In qui se place dans la lignée des modèles à traces multiples et de la cognition incarnée. Ce modèle décrit un système unique de mémoire au sein duquel sont stockées des traces correspondant aux différentes expériences vécues par l'individu. Ces traces contiennent tous les composants sensoriels associés, qu'ils soient visuels, auditifs ou moteurs. De ce fait, les connaissances en mémoire émergent en fonction de la situation dans laquelle se trouve l'individu et de la similarité de cette situation avec des situations déjà vécues. L'émergence des connaissances repose d'une part sur le processus d'intégration multi-composants qui représente l'intégration des composants de la trace afin de créer une trace unifiée ; et sur l'activation inter-traces qui représente l'activation entre les différentes traces au moment de la récupération. Selon le modèle Act-In, l'intégration multi-composants permettrait l'émergence d'une connaissance spécifique de type épisodique alors que l'activation inter-traces permettrait l'émergence de connaissance plus générale et de concepts. Nous avons donc, dans ce travail de thèse chercher à comprendre quels pourraient être les effets du sommeil sur ces deux types de processus. Enfin, tous nos groupes d'études dans ces trois premiers axes étaient composés d'étudiants et il nous semblait intéressant de comprendre l'effet des modifications nocturnes liées à l'âge sur la consolidation mnésique. Toutes les expériences menées dans ce

travail de thèse avaient pour but d'étudier la différence comportementale résultant d'un délai composé d'éveil ou principalement de sommeil.

Synthèse des résultats

Dans le premier axe de ce travail de thèse, nous avons souhaité approfondir l'effet du sommeil sur les apprentissages implicites. Afin de comprendre si un transfert serait possible entre la mémoire implicite et explicite, nous avons utilisé un paradigme très simple afin de voir si le sommeil permettait à des connaissances non conscientes d'accéder à la conscience. Pour cela, nous avons manipulé le traitement attentionnel des images grâce à l'utilisation d'un masque. Nous avons des images traitées de façon conscientes car présentées sans masque et des images traitées de façon non conscientes, présentées avec un masque. Nous souhaitions comprendre le rôle du sommeil dans la récupération implicite et explicite de ces images. L'expérience que nous avons réalisée nous a permis de mettre en évidence une récupération implicite des images encodées non consciemment et consciemment après un délai de douze heures et ce, peu importe la constitution de celui-ci. En revanche, nous n'avons observé une récupération explicite que pour les images encodées consciemment. Ainsi la récupération implicite des images non conscientes serait possible par simple passage du temps, que celui-ci soit composé d'éveil ou de sommeil. En revanche, l'accès à la conscience de ces images non conscientes ne se ferait pas de manière passive. L'explicitation des connaissances pourrait reposer sur des processus de réorganisation des traces mnésiques qui prendraient plus de temps à se mettre en place et nécessiteraient l'intervention de plusieurs nuits de sommeil. Dans ce cas, ces processus mnésiques ne seraient pas de simples processus de transfert d'un système de mémoire implicite à un système de mémoire explicite comme décrits dans les modèles classiques. Nous avons donc tenté de comprendre l'effet du sommeil sur les processus mnésiques décrits dans un modèle de mémoire à traces multiples : le modèle Act-In. Plus précisément nous avons cherché à comprendre l'effet du sommeil sur les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces.

Le second axe de la thèse s'intéressait plus précisément à l'effet du sommeil sur l'intégration multi-composants. Pour cela, nous avons utilisé des paradigmes déjà utilisés au sein de notre équipe ayant permis de mettre en évidence des effets de généralisation et de discrimination. Nous avons donc adapté ces paradigmes en introduisant un délai constitué

d'éveil ou de sommeil entre l'apprentissage et l'amorçage. Ces expériences n'ont pas permis de répliquer les résultats obtenus par nos collègues (expérience 1), ni de mettre en évidence un éventuel effet du sommeil sur l'intégration multi-composants (expériences 1 et 2). Nous nous sommes alors interrogés sur le matériel utilisé dans ces études. Celui-ci, constitué de formes et de tonalités sans signification nous semblait peu pertinent pour les participants et pourrait expliquer l'absence d'effet suite à l'introduction d'un délai. Nous avons donc modifié le matériel dans une troisième expérience afin d'étudier l'intégration à un niveau plus général de la trace. Nous avons donc adapté le paradigme MCI développé par Reinitz et al. (Reinitz et al., 1992). En utilisant des phrases composées de deux éléments, nous souhaitons étudier l'effet du sommeil sur l'intégration de ces éléments. Cette expérience menée sur quelques participants n'a pas permis de mettre en évidence des différences entre les groupes éveil et sommeil. Les études menées dans cet axe de recherche n'ont donc pas permis de mettre en évidence un effet du sommeil sur l'intégration.

Le troisième axe de la thèse s'intéressait à un autre processus que nous supposons être impliqué dans l'émergence des connaissances, le processus d'activation inter-traces. Selon nous, le sommeil permettrait de favoriser l'activation inter-traces à la récupération. Cela permettrait de mettre en lien les différentes traces en mémoire, de faciliter l'émergence d'éléments communs ainsi que la mise en relation de ces éléments. Pour cela, nous avons mis en place un paradigme étudiant la mémoire relationnelle. Nous avons utilisé des associations créées à partir de composants visuels ou auditifs. Suite à plusieurs modifications du matériel (expériences 1 à 3), nos travaux nous ont permis de mettre en évidence la possibilité d'une réactivation d'un élément par présentation de l'élément qui lui était associé à l'apprentissage (expériences 4a et 4b). Cependant, toutes ces expériences n'ont pas permis de mettre en évidence un effet du sommeil sur la mémoire associative. En effet, les résultats obtenus dans ces expériences n'étaient pas conformes à nos hypothèses. Nous nous sommes à nouveau interrogés sur la pertinence de notre matériel, comme pour l'axe précédent. Nous avons utilisé dans la dernière expérience un paradigme adapté du paradigme DRM de Roediger & McDermott (Roediger & McDermott, 1995) afin de voir si le sommeil pouvait avoir une influence sur la création de faux souvenirs par extraction de l'élément commun à plusieurs traces. Une étude réalisée avec le même paradigme avait montré que le sommeil favorisait les fausses reconnaissances pour les items critiques (Payne et al., 2009). Le nombre réduit de participants ne nous a pas permis de mettre en évidence une différence entre les groupes éveil et sommeil. Les études réalisées dans cet axe ne nous ont donc pas permis de mettre en évidence un effet du sommeil sur le processus d'activation inter-traces.

Le dernier axe de la thèse, s'intéressait à l'effet des modifications du sommeil observées dans le vieillissement normal sur la consolidation mnésique. Etant donné le lien existant entre sommeil et consolidation mnésique et les modifications nocturnes observées au cours du vieillissement normal, il nous semblait intéressant de comprendre si ces modifications nocturnes induiraient des déficits de consolidation mnésique. Pour cela, nous avons étudié les performances de mémoire visuo-spatiale pour deux groupes de participants d'âge différent. Nous avons observé que les adultes âgés bénéficiaient moins de la période de sommeil que les jeunes adultes. De plus, nous avons observé des modifications nocturnes chez les adultes âgés se traduisant par une diminution de l'efficacité de sommeil, du temps passé en cycles, du pourcentage de temps passé en cycles sur le sommeil total et du sommeil paradoxal mais nous n'avons pas observé de diminution du sommeil lent (Cherdieu et al., 2014). Cette dernière expérience nous a permis de mettre en évidence que les modifications du sommeil observées dans le vieillissement pourraient être à l'origine d'une consolidation mnésique moins efficace.

Transformation passive de la trace implicite au cours du sommeil

Les études ayant montré une explicitation des connaissances après une période de sommeil décrivaient cette explicitation comme relevant d'une interaction entre les processus implicites et explicites (Drosopoulos et al., 2011; Fischer et al., 2006; Wagner et al., 2004; Yordanova et al., 2008). Dans le cadre théorique des modèles classiques de la mémoire, cette explicitation des connaissances devrait se traduire par un passage de la trace d'un système de mémoire implicite à un système explicite. Nous avons, dans un premier temps, cherché à comprendre dans quelle mesure une trace implicite, non consciente pouvait accéder à la conscience. Selon les résultats obtenus dans notre expérience il semblerait qu'une nuit de sommeil à elle seule ne soit pas suffisante pour permettre un accès à la conscience des informations non conscientes. Il nous semble alors que l'explicitation des connaissances ne reposerait pas uniquement sur un renforcement des traces au cours du sommeil. En effet, l'explicitation des connaissances décrite dans la littérature correspondrait davantage à l'extraction d'une règle implicite commune à plusieurs traces qu'au simple renforcement

d'une connaissance implicite de telle sorte qu'elle pourrait accéder à la conscience. Dès lors, il se pourrait que l'accès à la conscience de connaissances implicites repose sur un processus de réorganisation des traces au cours du sommeil qui expliquerait l'extraction de règles implicites et leur émergence à la conscience. Or, la réorganisation des traces a été décrite comme relevant de l'intégration des nouveaux souvenirs au sein des souvenirs existants et de la généralisation de ces nouveaux souvenirs afin de créer de nouvelles connaissances (Landmann et al., 2014; Stickgold & Walker, 2013). Ces processus liés à la réorganisation des traces mnésiques se manifesteraient également au niveau biologique par une consolidation au niveau systémique nécessitant plusieurs nuits de sommeil pour se mettre en place (Frankland & Bontempi, 2005; Gais et al., 2007; Rasch & Born, 2013). L'explicitation des connaissances ne reposerait pas uniquement sur le renforcement des traces mais sur la confrontation de celles-ci avec les traces présentes en mémoire afin d'en extraire les éléments communs. Notre travail de thèse consistait à décrire ces processus de réorganisation des traces mnésiques dans le cadre d'une approche comportementale et d'une théorie de mémoire à traces multiples. Les modèles classiques étant selon nous trop limités pour expliquer ces phénomènes, il nous semblait que le modèle Act-In fournirait un cadre explicatif original pour décrire le phénomène de réorganisation des traces mnésiques. Selon le modèle Act-In cette transformation d'une trace implicite en trace explicite et plus largement la réorganisation des traces mnésiques, reposerait sur le renforcement des traces mnésiques au cours du sommeil, notamment par l'intermédiaire de l'intégration multi-composants, favorisant également l'activation inter-traces à la récupération.

Sommeil, intégration multi-composants et activation inter-traces

Intégration multi-composants et renforcement de la trace

Nous avons cherché à comprendre le processus de renforcement de la trace mnésique au cours du sommeil. Selon nous, une période de sommeil permettrait de renforcer l'intégration des composants sensoriels de la trace et permettrait de rendre celle-ci plus forte. Pour cela, nous avons repris des paradigmes utilisés pour étudier les mécanismes mnésiques et nous les avons adaptés à la recherche sur le sommeil en ajoutant un délai constitué d'éveil

ou de sommeil. Cette adaptation des paradigmes n'a pas fourni de résultats concluants car nous n'avons pas répliqué les résultats précédemment obtenus par nos collègues (Brunel, Vallet, et al., 2009) et nous n'avons pas réussi à mettre en évidence un effet du sommeil. La première question qui se pose alors concerne la difficulté à répliquer les résultats obtenus précédemment. D'une part, les effets obtenus dans les expériences menées par nos collègues et plus globalement dans les expériences utilisant des paradigmes d'amorçage révèlent des différences de temps de réaction relevant de la récupération implicite. Or ces effets sont parfois décrits comme diminuant avec le passage du temps. Il se pourrait alors que, bien que significatifs, ils ne soient pas assez robustes, car sensibles au décours temporel. Ceci pourrait expliquer notre difficulté à les répliquer.

D'autre part, l'adaptation de paradigmes étudiant uniquement la mémoire à des protocoles de sommeil, en ajoutant un délai de douze heures entre l'apprentissage et la récupération nous semblait logique de prime abord. Cependant, au vu de nos résultats, nous nous posons la question de la définition du long terme pour ces deux champs d'étude. Dans les protocoles de mémoire les phases d'apprentissage et de récupération sont espacées de quelques minutes et sont considérées comme étudiant la mémoire à long terme alors que dans les protocoles de sommeil ces deux phases sont espacées de douze heures. Il nous semble que l'adaptation des protocoles devrait tenir compte de la notion du long terme pour les deux champs.

Enfin, il se pourrait que le sommeil permette de renforcer l'intégration multi-composants à condition que celle-ci porte sur un nombre plus important de composants sensoriels. Dans nos expériences, nous avons manipulé uniquement des stimuli composés d'associations de deux composants. Les traces auxquelles nous sommes confrontés au quotidien sont plus riches, possèdent plus de composants que les stimuli utilisés et pourraient être préférentiellement renforcées au cours du sommeil. Il faudrait alors mettre en place des paradigmes dont le matériel utilisé contiendrait plusieurs composants afin de voir si l'effet du sommeil serait plus important en fonction du nombre de composants constituant le stimulus.

Il se pourrait également que contrairement à ce que nous avons envisagé le sommeil ne permette pas de renforcer l'intégration au sein de la trace. Cependant, au niveau physiologique, l'hippocampe est largement décrit comme une structure permettant de lier les différents aspects du souvenir (Henke, Weber, Kneifel, Wieser, & Buck, 1999; Larry R Squire & Zola-Morgan, 1988; Larry R Squire, 2004) et la réactivation hippocampique observée au cours du sommeil, subséquente à un apprentissage (Oudiette & Paller, 2013; Peigneux et al., 2004; Rasch et al., 2007) serait cohérente avec notre hypothèse. Le sommeil pourrait

renforcer l'intégration des différents composants de la trace via la réactivation pendant le sommeil des patterns neuronaux au sein de l'hippocampe.

Activation inter-traces et émergence des connaissances

Nous avons émis l'hypothèse que la réorganisation des traces mnésiques observée au niveau comportemental pourrait être due à l'activation inter-traces au moment de la récupération qui serait favorisée par une période de sommeil. Nous avons tenté de mesurer cet effet en étudiant l'effet du sommeil sur l'émergence d'éléments communs à différentes traces permettant de créer des liens entre des éléments non liés au départ. En effet, il nous semblait que le sommeil pourrait favoriser l'activation entre les traces au moment de la récupération et ainsi favoriserait l'émergence de nouvelles connaissances. Nous nous attendions à ce que le sommeil crée des liens entre des éléments sensoriels jamais présentés de manière concomitante. Nous avons observé une facilitation du traitement d'un élément sensoriel par la présentation de l'élément qui lui était associé. Cet effet permettait de mettre en évidence la possibilité de créer une association en mémoire entre deux éléments sensoriels. Cette réactivation avait également été mise en évidence par d'autres travaux menés au sein de notre équipe (Brunel, Labeye, et al., 2009; Brunel, Lesourd, et al., 2010). Cependant les expériences réalisées ne nous ont pas permis de mettre en évidence un effet du sommeil sur l'émergence de nouvelles connaissances.

Cela pourrait s'expliquer par le fait que les composants sensoriels manipulés n'étaient pas assez spécifiques à la situation donnée. En effet, les associations présentées étaient constituées d'éléments sensoriels très simples comme par exemple un couleur ou un son. Mais la couleur n'était pas spécifique à la situation donnée car même si elle était associée à la forme spécifique créée pour l'expérience, elle était également associée à un nombre important de traces en mémoire (par exemple pour la couleur bleue : la mer, le ciel ou d'autres traces selon les individus). Dans ce cas, si effectivement l'activation inter-traces est favorisée par une période de sommeil, au moment de la récupération, la présentation de la couleur bleu entraînerait une réactivation de toutes les traces liées à cet élément en plus des traces spécifiques à la situation, ce qui expliquerait l'absence de transitivité. Dans le cas de l'expérience de Lau, Tucker, & Fishbein, 2010 qui se basait sur le même principe que le notre en associant des visages et des objets, les visages étaient spécifiques à la situation d'apprentissage et les objets même s'ils sont associés à de nombreuses traces en mémoire, gardent exactement les mêmes propriétés (une tasse aura toujours les mêmes propriétés

sensorielles peu importe la situation dans laquelle elle se trouve ou l'individu qui la perçoit). Dès lors, la présentation d'un objet relié à deux visages spécifiques permettra de lier ces deux visages car à la récupération l'activation inter-traces se réalisera sur des éléments spécifiques de traces différentes. De la même manière, dans l'expérience de Ellenbogen, Hu, Payne, Titone, & Walker, 2007 qui s'intéressait à la mémoire relationnelle, les participants étaient confrontés à des textures abstraites. Ce type de matériel, complètement nouveau pour les participants, n'était associé à aucune trace en mémoire. Les réactivations étaient donc spécifiques à la situation donnée et les auteurs ont pu mettre en évidence un effet de transitivité. Dans notre expérience nous avons une combinaison entre du matériel complètement nouveau (les formes créés pour l'expérience) et du matériel liés à de nombreuses connaissances en mémoire (les couleurs ou les sons de l'expérience 4). Il se pourrait alors que cela explique notre absence de résultats. L'activation inter-traces pourrait être plus effective si elle concerne un nombre limité de traces (des traces spécifiques à la situation donnée) ou si les traces concernées sont très similaires les unes des autres (des traces dont les propriétés varient peu en fonction des situations ou des individus).

De manière plus générale, il nous semble important de souligner que les paradigmes mis en place ne permettaient pas de mesurer directement les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces. Ainsi pour l'intégration, le paradigme utilisé nous permettait de rendre compte de l'effet du sommeil sur l'intégration à travers les processus de généralisation et de discrimination. Il nous semble que cette mesure indirecte de l'intégration pourrait être à l'origine de notre absence de résultats. Un paradigme permettant de mesurer directement l'intégration aurait peut-être permis d'observer des effets plus importants. Nous pouvons par exemple imaginer une tâche de type « épisodique » où il faudrait récupérer à la fois le stimulus (quoi), le moment où il été présenté (quand) et sa localisation (où). La mesure de l'intégration serait plus directe car seule une bonne intégration entre les éléments permet de réaliser ce type de tâche.

De la même manière pour ce qui est l'activation inter-traces, dans les études réalisées dans le cadre de cette thèse, nous avons uniquement utilisé des paradigmes mettant en évidence une création de liens entre des éléments non liés au départ que nous avons attribuée à l'activation inter-traces. Il faudrait mettre en place un paradigme permettant d'évaluer directement l'activation inter-traces. Les dernières expériences menées avec les paradigmes MCI et DRM essayaient de mettre en place ce type de mesure plus « directe », étudiant

l'intégration pour le paradigme MCI et l'activation pour le DRM. Il serait intéressant de poursuivre avec ces paradigmes en intégrant un nombre plus important de participants.

Il se pourrait également que le sommeil n'ait pas d'effet spécifique sur l'intégration et l'activation. Le rôle du sommeil pourrait être plus complexe et il pourrait agir sur d'autres facteurs influençant la mémoire. En effet, de nombreux facteurs que nous évoquerons dans la suite de cette discussion sont décrits comme influençant la consolidation mnésique et la sélectivité des informations qui seront consolidées (Rasch & Born, 2013; Stickgold & Walker, 2013; Stickgold, 2013). Il se pourrait alors que le sommeil agisse préférentiellement sur ces facteurs en influençant indirectement les processus d'activation et d'intégration. Dans ce cas, le fait de mettre en place des paradigmes mesurant de manière plus directe les processus permettrait de répondre à cette question.

Nous nous sommes interrogés sur le matériel utilisé dans les expériences de cette thèse. Comme nous l'avons évoqué auparavant un matériel peu pertinent pour les participants pourrait ne pas être renforcé par le sommeil. De plus il se pourrait que la création de liens se fasse plus aisément si le matériel est plus écologique ou plus pertinent. L'utilisation d'un matériel sans signification avait pour but principal de contrôler au maximum les réactivations possibles à partir de ce matériel. Mais au fur et à mesure des expériences réalisées, nous avons constaté que les formes et les sons utilisés dans les expériences pourraient être au contraire supprimés par le sommeil au lieu d'être consolidés. Nous avons évoqué auparavant l'effet protecteur du sommeil contre les interférences (Abel & Bäuml, 2013; Ellenbogen, Hulbert, et al., 2006) et le matériel utilisé pourrait ne pas être consolidé s'il est considéré comme une interférence. D'autre part, le matériel n'avait pas de similarité avec les informations auxquelles un individu est confronté au cours de sa vie. Dans l'expérience de Lau et al., 2010, les participants étaient confrontés à des visages et des objets, ce qui est plus similaire aux expériences de la vie d'un individu. Dans les dernières expériences de chaque axe, nous avons amorcé une évolution au niveau du matériel qui pourrait être intéressante à poursuivre dans de futures expériences. Nous avons également pensé à utiliser un matériel plus écologique avec des associations représentant des scènes. Par exemple les participants pourraient apprendre une association entre un bonhomme et une maison (représentée par une scène du bonhomme devant sa maison) et une association entre une maison et une porte. Le but d'un paradigme comme celui-ci serait de voir émerger une association entre le bonhomme et la porte. Le principe de transitivité serait le même mais permettrait d'utiliser un matériel plus signifiant tout en restant spécifique à la situation d'apprentissage.

Enfin, toutes nos expériences n'impliquaient pas forcément un enregistrement du sommeil par électroencéphalographie. Cet enregistrement étant lourd à mettre en place, nous souhaitons dans un premier temps valider nos protocoles avant de mettre en place des mesures du sommeil plus précises. Il se pourrait alors que nos participants aient eu un sommeil de mauvaise qualité. Mais nous avons tout de même contrôlé que tous les participants sélectionnés dans nos études avaient une bonne qualité de sommeil subjective à l'aide du questionnaire de qualité de sommeil de Pittsburgh et de l'échelle de somnolence d'Epworth. Il se pourrait également que l'horaire d'apprentissage que nous avons fixé soit trop éloigné du moment d'endormissement des participants. L'absence d'effet du sommeil pourrait aussi s'expliquer par la fluctuation des rythmes circadiens. Cependant, nous avons, dans la mesure du possible, contrôlé une éventuelle différence de performances entre les groupes éveil et sommeil à l'apprentissage.

Sommeil, vieillissement et Act-In

Dans le cadre de ce travail de thèse, il nous semblait également important d'aborder les aspects de la consolidation mnésique dans le cadre du vieillissement normal. Etant donné le lien entre sommeil et mémoire mais également les troubles nocturnes et mnésiques observés avec l'âge, nous nous sommes interrogés sur les conséquences du vieillissement sur l'efficacité de la consolidation mnésique. Nous avons mis en évidence une consolidation mnésique au cours du sommeil moins efficace chez des adultes âgés comparés aux jeunes adultes. Ces résultats nous apportent un certain éclairage quant aux effets des modifications nocturnes sur la consolidation mnésique que nous pouvons mettre en lien avec le modèle Act-In. Notre hypothèse était que la consolidation mnésique reposerait sur les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces. Selon nous, l'intégration multi-composants serait renforcée par une période de sommeil permettant une stabilisation des traces mnésiques. Or, si l'intégration multi-composants permet de faire émerger une connaissance épisodique alors les difficultés de consolidation de la mémoire épisodique au cours du sommeil pourraient s'expliquer par une intégration multi-composants moins efficace durant la nuit. Cela expliquerait les résultats obtenus dans la dernière expérience. Des études menées au sein de notre équipe ont d'ailleurs montré que dans le vieillissement normal, comme chez les participants jeunes, la mémoire repose sur des connaissances sensorielles

(Vallet, Simard, & Versace, 2011). Les auteurs ont mis en évidence un amorçage inter-sensoriel pour les groupes « Jeunes » et « Agés ». Dans ce cas, il se pourrait que les modifications du sommeil observées au cours du vieillissement influencent l'intégration multi-composants ce qui entrainerait une consolidation mnésique moins efficace.

Cependant, le paradigme utilisé dans notre expérience ne permet pas de vérifier l'hypothèse d'un déficit de consolidation de l'intégration multi-composants au cours du sommeil. Il faudrait alors dans de futures expériences mettre en place un paradigme permettant d'évaluer plus précisément l'intégration multi-composants dans le vieillissement normal.

Par ailleurs, il nous semble également important de noter que dans l'expérience réalisée, nous avons pu mettre en évidence un effet bénéfique du sommeil pour les jeunes adultes, ce qui n'a pas été le cas dans les expériences des autres axes de recherche. La tâche utilisée était une tâche visuo-spatial qui correspond au type de tâche que nous devons réaliser au quotidien et qui avait déjà été utilisée dans une expérience avec un délai de sommeil. Cette observation nous pose à nouveau la question de la pertinence du matériel et de la tâche pour une efficacité du sommeil sur les apprentissages. Il nous semble donc que la pertinence est une notion majeure dans le cadre de la consolidation mnésique et plus précisément sur la sélectivité de cette consolidation.

De la pertinence...

Les travaux menés dans cette thèse nous ont amenés à nous poser de nombreuses questions sur la notion de pertinence et son influence sur la consolidation mnésique. Comme nous l'avons évoqué dans la partie théorique de ce manuscrit, le sommeil ne consolide pas de manière équivalente toutes les informations encodées au cours de la journée (Rasch & Born, 2013; Stickgold & Walker, 2013; Stickgold, 2013). De nombreux facteurs ont été décrits comme permettant de sélectionner les informations consolidées par le sommeil : la consigne (Born & Wagner, 2004; Edwin M Robertson et al., 2004), la force de la trace (Drosopoulos et al., 2007; Schabus et al., 2006; Talamini et al., 2008), l'émotion (Javadi et al., 2011; Payne & Kensinger, 2011) et la pertinence (Abel & Bäuml, 2012; Diekelmann et al., 2013; Fischer & Born, 2009; Scullin & McDaniel, 2010). Comment peut-on définir la pertinence ? Dans la littérature, la pertinence a été représentée par l'attribution d'une récompense selon les

performances (Fischer & Born, 2009), par l'utilité du matériel à mémoriser pour une tâche future (Diekelmann et al., 2013; Scullin & McDaniel, 2010) ou encore par la consigne à l'encodage (Abel & Bäuml, 2012). L'observation principale qui émerge des expériences de cette thèse est que la pertinence pourrait également être représentée par le matériel à mémoriser. Le matériel utilisé dans nos expériences est peu similaire aux informations habituellement encodées par un individu. Si l'on compare notre matériel, construit à partir de formes abstraites et de propriétés sensorielles très générales (couleurs et sons) au matériel généralement utilisé dans la littérature nous constatons une certaine différence. Ainsi, les études ayant mis en évidence un effet bénéfique du sommeil, utilisaient un matériel verbal (Fenn, Margoliash, & Nusbaum, 2013; Gais et al., 2006; Lahl et al., 2008; Tucker et al., 2006), un matériel visuo-spatial (Rasch et al., 2007; Rudoy et al., 2009), des apprentissages moteurs (Drosopoulos et al., 2011; Fischer et al., 2006, 2002) ou des apprentissages procéduraux comme par exemple des tâches de discrimination visuelle (Karni et al., 1994; S. Mednick et al., 2003; Stickgold, Whidbee, et al., 2000). Les informations mémorisées avec ce type de matériel sont proches des informations auxquelles un individu peut être confronté au cours de sa vie. Il se pourrait alors que le rôle fortement adaptatif du sommeil ait pour conséquence une suppression des informations non pertinentes pour l'individu. Ceci pourrait expliquer notre difficulté à voir émerger des effets du sommeil dans nos expériences. La pertinence implique donc également des aspects motivationnels liés à la consolidation des informations mémorisées. De futures études pourraient s'intéresser davantage à ces aspects motivationnels et à la pertinence du matériel pour les sujets. Dans le cadre du modèle Act-In, les aspects motivationnels sont peu évoqués mais on pourrait considérer que la motivation se traduirait par une attention particulière des participants sur le matériel, cette attention marquerait alors les traces correspondant à la situation donnée et celles-ci seraient préférentiellement renforcées par le sommeil. La pertinence constituerait donc un marqueur du souvenir. Cette hypothèse a été évoquée au niveau physiologique par une activation différente de l'hippocampe au moment de l'encodage pour les items qui avaient une consigne particulière (on demandait aux participants de mémoriser certains items et d'en oublier d'autres) (Rauchs et al., 2011). La pertinence constitue donc une piste intéressante quant à la sélectivité des informations consolidées par le sommeil.

...Au contexte

A l'évocation de la sélectivité des informations consolidées, le contexte constitue également un facteur important. Plusieurs études ont montré que les informations présentées avec un contexte plus riche étaient préférentiellement consolidées par le sommeil. Ainsi la manipulation du contexte par la présentation de couleurs lors d'une tâche de temps de réaction sérielle renforçait la consolidation de ces informations (Spencer et al., 2006). De la même manière, l'enrichissement du contexte environnemental par l'affichage d'un poster sur le mur de la salle d'expérimentation renforçait la consolidation des informations (Van der Helm, Gujar, Nishida, & Walker, 2011). Au niveau physiologique, l'hippocampe étant impliqué dans la liaison des informations à mémoriser et des informations contextuelles, la réactivation hippocampique au cours du sommeil expliquerait la consolidation des informations présentées avec un contexte riche. Cependant, une étude récente de Deliens et al. (2013) a montré que le sommeil délierait les informations contextuelles émotionnelles des informations à mémoriser après plusieurs jours (Deliens, Gilson, Schmitz, & Peigneux 2013). Dans cette expérience, ils avaient manipulé le contexte émotionnel via un paradigme d'induction. Il se pourrait alors que le sommeil supprime le contexte émotionnel associé à un stimulus car celui-ci serait considéré comme non pertinent pour la tâche. En fait, il semblerait que le sommeil conduirait à une décontextualisation globale des informations à mémoriser (Cairney, Durrant, Musgrove, & Lewis, 2011). Le sommeil consoliderait alors les informations si elles sont présentées avec un contexte riche alors que parallèlement il pourrait délier ces informations de leur contexte d'origine au bout de plusieurs jours. Dans ce cas, il convient de s'interroger sur la notion de contexte et sur l'incidence de ce dernier sur la consolidation. La définition même du contexte pourrait expliquer ces résultats contradictoires, le contexte peut faire référence à des éléments périphériques (un poster au mur) mais ces éléments périphériques peuvent aussi faire partie intégrante de la trace. Quand peut-on considérer qu'un élément contextuel fait partie de la trace ? Se pourrait-il que la proximité entre l'information à mémoriser et l'information contextuelle soit un facteur déterminant quant à la sélectivité de la consolidation mnésique au cours du sommeil ?

Perspectives

Cette notion de la proximité entre les informations contextuelles et les informations à mémoriser nous intéresse particulièrement. Nous avons donc élaboré un projet de post-doctorat s'intéressant à ces aspects de la consolidation mnésique. Nous pensons que le sommeil pourrait consolider différemment les informations contextuelles selon que celles-ci sont intrinsèques ou extrinsèques au matériel à mémoriser. Nous avons donc élaboré plusieurs expériences dans lesquelles nous avons manipulé la proximité entre le contexte et l'information à mémoriser. Nous nous attendons à ce que le sommeil facilite préférentiellement la consolidation des informations contextuelles qui sont proches de l'information à mémoriser. La proximité des informations contextuelles augmenterait leur pertinence et par conséquent, la possibilité qu'elles soient renforcées par le sommeil.

Enfin, parallèlement il nous semble important de poursuivre les travaux sur la mise en lien entre les modèles à traces multiples et la consolidation mnésique au cours du sommeil en modifiant le matériel utilisé dans les paradigmes et en intégrant la notion de pertinence dans cette modification. De plus, la mise en place de paradigmes permettant de mesurer de manière plus directe les processus qui nous intéressent, nous permettra de répondre aux nombreuses questions laissées en suspens.

Quelques mots de conclusion

Ce travail de thèse s'inscrivait dans une lignée originale qui tentait de faire coexister deux champs de la psychologie peu confrontés à ce jour. Les modèles à traces multiples et une approche incarnée de la cognition fournissent de nombreuses pistes de réflexions théoriques quant au fonctionnement de la cognition et plus précisément de la mémoire. Les recherches sur le sommeil pourraient intégrer un cadre théorique plus actuel afin d'expliquer les nombreux processus mnésiques impliqués dans la consolidation mnésique. Cependant, comme nous l'avons évoqué, cette mise en relation n'est pas aisée et doit tenir compte des contraintes liées aux recherches sur le sommeil incluant notamment de longs délais entre l'apprentissage et la récupération. De la même manière, il faudrait mettre en place des

paradigmes permettant de mesurer directement les processus d'intégration multi-composants et d'activation inter-traces décrits dans le modèle Act-In afin de les adapter à une recherche sur le sommeil. Ce champ de recherche novateur implique donc de nombreux ajustement mais constitue une vraie avancée quant à la compréhension des processus de réorganisation des traces impliqués dans la consolidation mnésique au cours du sommeil.

Références

- Abel, M., & Bäuml, K.-H. T. (2012). Retrieval-induced forgetting, delay, and sleep. *Memory (Hove, England)*, 20(5), 420–8. doi:10.1080/09658211.2012.671832
- Abel, M., & Bäuml, K.-H. T. (2013). Sleep can reduce proactive interference. *Memory (Hove, England)*, (October), 37–41. doi:10.1080/09658211.2013.785570
- Alario, F.-X., & Ferrand, L. (1999). A set of 400 pictures standardized for French: Norms for name agreement, image agreement, familiarity, visual complexity, image variability, and age of acquisition. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 31(3), 531–552. doi:10.3758/BF03200732
- Aly, M., & Moscovitch, M. (2010). The effects of sleep on episodic memory in older and younger adults. *Memory (Hove, England)*, 18(3), 327–34. doi:10.1080/09658211003601548
- Ambrosini, M. V., & Giuditta, a. (2001). Learning and sleep: the sequential hypothesis. *Sleep Medicine Reviews*, 5(6), 477–490. doi:10.1053/smr.2001.0180
- Andrade, K. C., Spormaker, V. I., Dresler, M., Wehrle, R., Holsboer, F., Sämann, P. G., & Czisch, M. (2011). Sleep spindles and hippocampal functional connectivity in human NREM sleep. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(28), 10331–9. doi:10.1523/JNEUROSCI.5660-10.2011
- Antonenko, D., Diekelmann, S., Olsen, C., Born, J., & Mölle, M. (2013). Napping to renew learning capacity: enhanced encoding after stimulation of sleep slow oscillations. *The European Journal of Neuroscience*, 37(7), 1142–51. doi:10.1111/ejn.12118
- Antony, J., Gobel, E., & O'Hare, J. (2012). Cued memory reactivation during sleep influences skill learning. *Nature ...*, 15(8), 1114–1116. doi:10.1038/n.3152.Cued
- Backhaus, J., Born, J., Hoeckesfeld, R., Fokuhl, S., Hohagen, F., & Junghanns, K. (2007). Midlife decline in declarative memory consolidation is correlated with a decline in slow wave sleep. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, 14(5), 336–41. doi:10.1101/lm.470507
- Balota, D. A., Dolan, P. O., & Duchek, J. M. (2000). Memory changes in healthy young and older adults. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 395–410). Oxford University Press, USA. Retrieved from

- <http://www.psych.wustl.edu/coglab/publications/BalotaDolanDuchekMemchapter2000.pdf>
- Baran, B., Pace-Schott, E. F., Ericson, C., & Spencer, R. M. C. (2012). Processing of emotional reactivity and emotional memory over sleep. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *32*(3), 1035–42. doi:10.1523/JNEUROSCI.2532-11.2012
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 617–45. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Binder, S., Rawohl, J., Born, J., & Marshall, L. (2014). Transcranial slow oscillation stimulation during NREM sleep enhances acquisition of the radial maze task and modulates cortical network activity in rats. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *7*(January), 220. doi:10.3389/fnbeh.2013.00220
- Bliwise, D. (1993). Sleep in Normal Aging and Dementia. *Sleep: Journal of Sleep Research & Sleep Medicine*, *16*(1), 40–81. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1993-26270-001>
- Bliwise, D. L., Ansari, F. P., Straight, L.-B., & Parker, K. P. (2005). Age changes in timing and 24-hour distribution of self-reported sleep. *The American Journal of Geriatric Psychiatry : Official Journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, *13*(12), 1077–82. doi:10.1176/appi.ajgp.13.12.1077
- Borghi, A. M., & Pecher, D. (2011). Introduction to the special topic embodied and grounded cognition. *Frontiers in Psychology*, *2*(August), 187. doi:10.3389/fpsyg.2011.00187
- Born, J., & Wagner, U. (2004). Awareness in memory: being explicit about the role of sleep. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(6), 242–4. doi:10.1016/j.tics.2004.04.010
- Born, J., & Wilhelm, I. (2012). System consolidation of memory during sleep. *Psychological Research*, *76*(2), 192–203. doi:10.1007/s00426-011-0335-6
- Brunel, L., Labeye, E., Lesourd, M., & Versace, R. (2009). The sensory nature of episodic memory: sensory priming effects due to memory trace activation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *35*(4), 1081–8. doi:10.1037/a0015537
- Brunel, L., Lesourd, M., Labeye, E., & Versace, R. (2010). The sensory nature of knowledge: Sensory priming effects in semantic categorization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (2006)*, *63*(5), 955–64. doi:10.1080/17470210903134369

- Brunel, L., Oker, A., Riou, B., & Versace, R. (2010). Memory and consciousness: trace distinctiveness in memory retrievals. *Consciousness and Cognition*, *19*(4), 926–37. doi:10.1016/j.concog.2010.08.006
- Brunel, L., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (2009). The Sensory Nature of Knowledge: Generalization vs. Specification Mechanisms. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2789–2794. Retrieved from <http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/Proceedings/2009/papers/623/paper623.pdf>
- Bruyneel, M., Sanida, C., Art, G., Libert, W., Cuvelier, L., Paesmans, M., ... Ninane, V. (2011). Sleep efficiency during sleep studies: results of a prospective study comparing home-based and in-hospital polysomnography. *Journal of Sleep Research*, *20*(1 Pt 2), 201–6. doi:10.1111/j.1365-2869.2010.00859.x
- Buckner, R. L., & Wheeler, M. E. (2001). The cognitive neuroscience of remembering. *Nature Reviews. Neuroscience*, *2*(9), 624–34. doi:10.1038/35090048
- Busse, D. J., Reynolds III, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, *28*(2), 193–213. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0165178189900474>
- Buzsáki, G. (1996). The Hippocampo-Neocortical Dialogue. *Cerebral Cortex*, *6*(2), 81–92. doi:10.1093/cercor/6.2.81
- Cai, D. J., Mednick, S. a., Harrison, E. M., Kanady, J. C., & Mednick, S. C. (2009). REM, not incubation, improves creativity by priming associative networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(25), 10130–4. doi:10.1073/pnas.0900271106
- Cairney, S. a., Durrant, S. J., Musgrove, H., & Lewis, P. a. (2011). Sleep and environmental context: interactive effects for memory. *Experimental Brain Research*, *214*(1), 83–92. doi:10.1007/s00221-011-2808-7
- Cherdiou, M., Reynaud, E., Uhlrich, J., Versace, R., & Mazza, S. (2014). Does age worsen sleep-dependent memory consolidation? *Journal of Sleep Research*, *23*(1), 53–60. doi:10.1111/jsr.12100
- Cirelli, C., & Tononi, G. (2008). Is sleep essential? *PLoS Biology*, *6*(8), e216. doi:10.1371/journal.pbio.0060216
- Cleeremans, a., & McClelland, J. L. (1991). Learning the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology. General*, *120*(3), 235–53. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1836490>

- Clemens, Z., Fabó, D., & Halász, P. (2006). Twenty-four hours retention of visuospatial memory correlates with the number of parietal sleep spindles. *Neuroscience Letters*, *403*(1-2), 52–6. doi:10.1016/j.neulet.2006.04.035
- Cohen, J. D., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). PsyScope: An interactive graphic system for designing and controlling experiments in the psychology laboratory using Macintosh computers. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *25*(7), 257–271. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/?fa=main.doiLanding&fuseaction=showUIDAbstract&uid=1993-39937-001>
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, *104*(2), 163–191. doi:10.1037/0033-2909.104.2.163
- Cowan, N. (1993). Activation, attention, and short-term memory. *Memory & Cognition*, *21*(2), 162–7. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8469124>
- Craik, F., & McDowd, J. (1987). Age differences in recall and recognition. *Journal of Experimental Psychology: ...*, *11*(3), 474–479. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/xlm/13/3/474/>
- Crowley, K. (2011). Sleep and sleep disorders in older adults. *Neuropsychology Review*, *21*(1), 41–53. doi:10.1007/s11065-010-9154-6
- Csicsvari, J., & Dupret, D. (2014). Sharp wave/ripple network oscillations and learning-associated hippocampal maps. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *369*(1635), 20120528. doi:10.1098/rstb.2012.0528
- Daselaar, S. M., Veltman, D. J., Rombouts, S. A. R. B., Raaijmakers, J. G. W., & Jonker, C. (2003). Neuroanatomical correlates of episodic encoding and retrieval in young and elderly subjects. *Brain*, *126*(1), 43–56. doi:10.1093/brain/awg005
- Dave, a S., & Margoliash, D. (2000). Song replay during sleep and computational rules for sensorimotor vocal learning. *Science (New York, N.Y.)*, *290*(5492), 812–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11052946>
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(5), 204–11. doi:10.1016/j.tics.2006.03.007

- Deliens, G., Gilson, M., Schmitz, R., & Peigneux, P. (2013). Sleep unbinds memories from their emotional context. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *49*(8), 2221–8. doi:10.1016/j.cortex.2012.11.014
- Diekelmann, S., & Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience*, *11*(2), 114–26. doi:10.1038/nrn2762
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., & Born, J. (2009). The whats and whens of sleep-dependent memory consolidation. *Sleep Medicine Reviews*, *13*(5), 309–21. doi:10.1016/j.smr.2008.08.002
- Diekelmann, S., Wilhelm, I., Wagner, U., & Born, J. (2013). Sleep to implement an intention. *Sleep*, *36*(1), 149–53. doi:10.5665/sleep.2322
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(6), 1011. doi:10.1016/j.ymeth.2006.12.008
- Drosopoulos, S., Harrer, D., & Born, J. (2011). Sleep and awareness about presence of regularity speed the transition from implicit to explicit knowledge. *Biological Psychology*, *86*(3), 168–73. doi:10.1016/j.biopsycho.2010.11.005
- Drosopoulos, S., Schulze, C., Fischer, S., & Born, J. (2007). Sleep's function in the spontaneous recovery and consolidation of memories. *Journal of Experimental Psychology. General*, *136*(2), 169–83. doi:10.1037/0096-3445.136.2.169
- Drosopoulos, S., Wagner, U., & Born, J. (2005). Sleep enhances explicit recollection in recognition memory. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *12*(1), 44–51. doi:10.1101/lm.83805
- Drummond, S. P., & Brown, G. G. (2001). The effects of total sleep deprivation on cerebral responses to cognitive performance. *Neuropsychopharmacology : Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *25*(5 Suppl), S68–73. doi:10.1016/S0893-133X(01)00325-6
- Drummond, S. P., Brown, G. G., Gillin, J. C., Stricker, J. L., Wong, E. C., & Buxton, R. B. (2000). Altered brain response to verbal learning following sleep deprivation. *Nature*, *403*(6770), 655–7. doi:10.1038/35001068
- Dudai, Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annual Review of Psychology*, *55*, 51–86. doi:10.1146/annurev.psych.55.090902.142050
- Dumay, N., & Gaskell, M. G. (2007). Sleep-associated changes in the mental representation of spoken words. *Psychological Science*, *18*(1), 35–9. doi:10.1111/j.1467-9280.2007.01845.x

- Durrant, S. J., Taylor, C., Cairney, S., & Lewis, P. a. (2011). Sleep-dependent consolidation of statistical learning. *Neuropsychologia*, *49*(5), 1322–31.
doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.015
- Ego-Stengel, V., & Wilson, M. a. (2010). Disruption of ripple-associated hippocampal activity during rest impairs spatial learning in the rat. *Hippocampus*, *20*(1), 1–10.
doi:10.1002/hipo.20707.Disruption
- Ellenbogen, J. M., Hu, P. T., Payne, J. D., Titone, D., & Walker, M. P. (2007). Human relational memory requires time and sleep. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(18), 7723–8.
doi:10.1073/pnas.0700094104
- Ellenbogen, J. M., Hulbert, J. C., Stickgold, R., Dinges, D. F., & Thompson-Schill, S. L. (2006). Interfering with theories of sleep and memory: sleep, declarative memory, and associative interference. *Current Biology : CB*, *16*(13), 1290–4.
doi:10.1016/j.cub.2006.05.024
- Ellenbogen, J. M., Payne, J. D., & Stickgold, R. (2006). The role of sleep in declarative memory consolidation: passive, permissive, active or none? *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(6), 716–22. doi:10.1016/j.conb.2006.10.006
- Eschenko, O., Ramadan, W., Mölle, M., Born, J., & Sara, S. J. (2008). Sustained increase in hippocampal sharp-wave ripple activity during slow-wave sleep after learning. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *15*(4), 222–8. doi:10.1101/lm.726008
- Fenn, K. M., & Hambrick, D. Z. (2013). What drives sleep-dependent memory consolidation: greater gain or less loss? *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(3), 501–6.
doi:10.3758/s13423-012-0366-z
- Fenn, K. M., Margoliash, D., & Nusbaum, H. C. (2013). Sleep restores loss of generalized but not rote learning of synthetic speech. *Cognition*, *128*(3), 280–6.
doi:10.1016/j.cognition.2013.04.007
- Ficca, G., Lombardo, P., Rossi, L., & Salzarulo, P. (2000). Morning recall of verbal material depends on prior sleep organization. *Behavioural Brain Research*, *112*(1-2), 159–163.
doi:10.1016/S0166-4328(00)00177-7
- Fischer, S., & Born, J. (2009). Anticipated reward enhances offline learning during sleep. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *35*(6), 1586–93. doi:10.1037/a0017256

- Fischer, S., Diekelmann, S., & Born, J. (2011). Sleep's role in the processing of unwanted memories. *Journal of Sleep Research*, *20*(2), 267–74. doi:10.1111/j.1365-2869.2010.00881.x
- Fischer, S., Drosopoulos, S., Tsen, J., & Born, J. (2006). Implicit learning -- explicit knowing: a role for sleep in memory system interaction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(3), 311–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16602193>
- Fischer, S., Hallschmid, M., Elsner, A. L., & Born, J. (2002). Sleep forms memory for finger skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *99*(18), 11987–91. doi:10.1073/pnas.182178199
- Fodor, J. (1986). *La modularité de l'esprit* (Ed. de Min.). Paris.
- Fogel, S. M., & Smith, C. (2011). The function of the sleep spindle: a physiological index of intelligence and a mechanism for sleep-dependent memory consolidation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *35*(5), 1154–65. doi:10.1016/j.neubiorev.2010.12.003
- Fogel, S. M., Smith, C., & Cote, K. a. (2007). Dissociable learning-dependent changes in REM and non-REM sleep in declarative and procedural memory systems. *Behavioural Brain Research*, *180*(1), 48–61. doi:10.1016/j.bbr.2007.02.037
- Frankland, P. W., & Bontempi, B. (2005). The organization of recent and remote memories. *Nature Reviews. Neuroscience*, *6*(2), 119–30. doi:10.1038/nrn1607
- Fuentemilla, L., Miró, J., Ripollés, P., Vilà-Balló, A., Juncadella, M., Castañer, S., ... Rodríguez-Fornells, A. (2013). Hippocampus-Dependent Strengthening of Targeted Memories via Reactivation during Sleep in Humans. *Current Biology : CB*, 1769–1775. doi:10.1016/j.cub.2013.07.006
- Gais, S., Albouy, G., Boly, M., Dang-Vu, T. T., Darsaud, A., Desseilles, M., ... Peigneux, P. (2007). Sleep transforms the cerebral trace of declarative memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(47), 18778–83. doi:10.1073/pnas.0705454104
- Gais, S., Lucas, B., & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *13*(3), 259–62. doi:10.1101/lm.132106
- Gais, S., Mölle, M., Helms, K., & Born, J. (2002). Learning-dependent increases in sleep spindle density. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *22*(15), 6830–4. doi:20026697
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U., & Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nature Neuroscience*, *3*(12), 1335–9. doi:10.1038/81881

- Gaskell, M. ., & Dumay, N. (2003). Lexical competition and the acquisition of novel words. *Cognition*, 89(2), 105–132. doi:10.1016/S0010-0277(03)00070-2
- Giambra, L. M., & Arenberg, D. (1993). Adult age differences in forgetting sentences. *Psychology and Aging*, 8(3), 451–62. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8216966>
- Girardeau, G., Benchenane, K., Wiener, S. I., Buzsáki, G., & Zugaro, M. B. (2009). Selective suppression of hippocampal ripples impairs spatial memory. *Nature Neuroscience*, 12(10), 1222–3. doi:10.1038/nn.2384
- Giuditta, A., Ambrosini, M. V., Montagnese, P., Mandile, P., Cotugno, M., Zucconi, G. G., & Vescia, S. (1995). The sequential hypothesis of the function of sleep. *Behavioural Brain Research*, 69(1-2), 157–166. doi:10.1016/0166-4328(95)00012-1
- Goldstone, R. (1995). Effects of categorization on color perception. *PSYCHOLOGICAL SCIENCE- ...*, 6(5). Retrieved from <http://cognitn.psych.indiana.edu/rgoldsto/contrast.html>
- Gottfried, J. a, Smith, A. P. R., Rugg, M. D., & Dolan, R. J. (2004). Remembrance of odors past: human olfactory cortex in cross-modal recognition memory. *Neuron*, 42(4), 687–95. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15157428>
- Guan, Z., Peng, X., & Fang, J. (2004). Sleep deprivation impairs spatial memory and decreases extracellular signal-regulated kinase phosphorylation in the hippocampus. *Brain Research*, 1018(1), 38–47. doi:10.1016/j.brainres.2004.05.032
- Hansen, T., Olkkonen, M., Walter, S., & Gegenfurtner, K. R. (2006). Memory modulates color appearance. *Nature Neuroscience*, 9(11), 1367–8. doi:10.1038/nn1794
- Harrison, Y., & Horne, J. a. (2000). Sleep loss and temporal memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 53(1), 271–9. doi:10.1080/713755870
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(2), 87–96. doi:10.1038/nrn1323
- Heib, D. P. J., Hoedlmoser, K., Anderer, P., Zeitlhofer, J., Gruber, G., Klimesch, W., & Schabus, M. (2013). Slow oscillation amplitudes and up-state lengths relate to memory improvement. *PLoS One*, 8(12), e82049. doi:10.1371/journal.pone.0082049
- Henke, K., Weber, B., Kneifel, S., Wieser, H. G., & Buck, a. (1999). Human hippocampus associates information in memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(10), 5884–9. Retrieved from

- <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=21955&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Hennevin, E., & Hars, B. (1987). Is increase in post-learning paradoxical sleep modified by cueing? *Behavioural Brain Research*, *24*(3), 243–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3606804>
- Hennevin, E., Hars, B., Maho, C., & Bloch, V. (1995). Processing of learned information in paradoxical sleep: relevance for memory. *Behavioural Brain Research*, *69*(1-2), 125–135. doi:10.1016/0166-4328(95)00013-J
- Hennevin, E., Huetz, C., & Edeline, J.-M. (2007). Neural representations during sleep: from sensory processing to memory traces. *Neurobiology of Learning and Memory*, *87*(3), 416–40. doi:10.1016/j.nlm.2006.10.006
- Hintzman, D. L. (1986). ' Schema Abstraction " in a Multiple-Trace Memory Model. *Psychological Review*, *93*(4), 411 –428.
- Hornung, O. P., Danker-Hopfe, H., & Heuser, I. (2005). Age-related changes in sleep and memory: commonalities and interrelationships. *Experimental Gerontology*, *40*(4), 279–85. doi:10.1016/j.exger.2005.02.001
- Huber, R., Ghilardi, M. F., Massimini, M., & Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, *430*(6995), 78–81. doi:10.1038/nature02663
- Jacoby, L. L. (1991). A Process Dissociation Framework : Separating Automatic from Intentional Uses of memory. *Journal of Memory and Language*, *30*(5), 513–541. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0749596X9190025F>
- Javadi, A. H., Walsh, V., & Lewis, P. a. (2011). Offline consolidation of procedural skill learning is enhanced by negative emotional content. *Experimental Brain Research*, *208*(4), 507–17. doi:10.1007/s00221-010-2497-7
- Ji, D., & Wilson, M. a. (2007). Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep. *Nature Neuroscience*, *10*(1), 100–7. doi:10.1038/nn1825
- Jiménez, L., Méndez, C., & Cleeremans, A. (1996). Comparing direct and indirect measures of sequence learning. ... *Psychology: Learning, ...*, *22*(4), 948–969. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/xlm/22/4/948/>
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, *14*(6), 540–545. Retrieved from <http://epworthsleepinessscale.com/wp-content/uploads/2008/12/a-new-method-for-measuring-daytime-sleepiness-the-epworth-sleepiness-scale2.pdf>

- Jones, T., & Jacoby, L. (2001). Feature and conjunction errors in recognition memory: Evidence for dual-process theory. *Journal of Memory and Language*, *45*(1), 82–102. doi:10.1006/jmla.2000.2761
- Kaestner, E., Wixted, J., & Mednick, S. (2013). Pharmacologically Increasing Sleep Spindles Enhances Recognition for Negative and High-arousal Memories, 1597–1610. doi:10.1162/jocn
- Karni, A., Tanne, D., Rubenstein, B., & Askenasy, J. (1994). Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*, *265*, 679–682. Retrieved from <http://www.sciencemag.org/content/265/5172/679.short>
- Kuriyama, K., Stickgold, R., & Walker, M. P. (2004). Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *11*(6), 705–13. doi:10.1101/lm.76304
- Labeye, E., Oker, A., Badard, G., & Versace, R. (2008). Activation and integration of motor components in a short-term priming paradigm. *Acta Psychologica*, *129*(1), 108–11. doi:10.1016/j.actpsy.2008.04.010
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B., & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, *17*(1), 3–10. doi:10.1111/j.1365-2869.2008.00622.x
- Landmann, N., Kuhn, M., Pioczyk, H., Feige, B., Baglioni, C., Spiegelhalter, K., ... Nissen, C. (2014). The reorganisation of memory during sleep. *Sleep Medicine Reviews*. doi:10.1016/j.smr.2014.03.005
- Lau, H., Tucker, M. A., & Fishbein, W. (2010). Daytime napping: Effects on human direct associative and relational memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, *93*(4), 554–60. doi:10.1016/j.nlm.2010.02.003
- Lee, A. K., & Wilson, M. a. (2002). Memory of sequential experience in the hippocampus during slow wave sleep. *Neuron*, *36*(6), 1183–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12495631>
- Lewis, P. a, Cairney, S., Manning, L., & Critchley, H. D. (2011). The impact of overnight consolidation upon memory for emotional and neutral encoding contexts. *Neuropsychologia*, *49*(9), 2619–29. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.009
- Lindsay, S., & Gaskell, M. (2009). Spaced learning and the lexical integration of novel words. ... of the 31st Annual Conference of ..., 2517–2522. Retrieved from <http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/proceedings/2009/papers/575/paper575.pdf>

- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95(4), 492–527. doi:10.1037/0033-295X.95.4.492
- Louie, K., & Wilson, M. a. (2001). Temporally Structured Replay of Awake Hippocampal Ensemble Activity during Rapid Eye Movement Sleep. *Neuron*, 29(1), 145–156. doi:10.1016/S0896-6273(01)00186-6
- Mander, B., Santhanam, S., Saletin, J. ., & Walker, M. P. (2011). Wake deterioration and sleep restoration of human learning. *Current Biology : CB*, 21(5), R183–4. doi:10.1016/j.cub.2011.01.019
- Maquet, P. (2001). The role of sleep in learning and memory. *Science (New York, N.Y.)*, 294(5544), 1048–52. doi:10.1126/science.1062856
- Maquet, P., Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C., ... others. (2000). Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep. *Nature Neuroscience*, 3(8), 831–836. Retrieved from <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/13241>
- Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M., & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444(7119), 610–3. doi:10.1038/nature05278
- Martin, A., & Chao, L. L. (2001). Semantic memory and the brain: structure and processes. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(2), 194–201. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11301239>
- Martin, A., Haxby, J. V., Lalonde, F. o. M., Wiggs, C. L., & Ungerleider, L. G. (1995). Discrete Cortical Regions Associated with Knowledge of Color and Knowledge of Action. *Science*, 270(5233), 102–105. doi:10.1126/science.270.5233.102
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, 379(6566), 649–52. doi:10.1038/379649a0
- Mazzarello, P. (2000). What dreams may come? *Nature*, 408(November), 27100. Retrieved from <http://www.nature.com/nature/journal/v408/n6812/full/408523a0.html>
- Mazzoni, G., Gori, S., Formicola, G., Gneri, C., Massetani, R., Murri, L., & Salzarulo, P. (1999). Word recall correlates with sleep cycles in elderly subjects. *Journal of Sleep Research*, 8(3), 185–188. doi:10.1046/j.1365-2869.1999.00154.x
- Mednick, S. a. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69(3), 220–32. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14472013>
- Mednick, S. C., Cai, D. J., Shuman, T., Anagnostaras, S., & Wixted, J. T. (2011). An opportunistic theory of cellular and systems consolidation. *Trends in Neurosciences*, 34(10), 504–14. doi:10.1016/j.tins.2011.06.003

- Mednick, S. C., McDevitt, E. a, Walsh, J. K., Wamsley, E., Paulus, M., Kanady, J. C., & Drummond, S. P. (2013). The critical role of sleep spindles in hippocampal-dependent memory: a pharmacology study. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *33*(10), 4494–504. doi:10.1523/JNEUROSCI.3127-12.2013
- Mednick, S., Nakayama, K., & Stickgold, R. (2003). Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 697–8. doi:10.1038/nn1078
- Mölle, M., Marshall, L., Gais, S., & Born, J. (2004). Learning increases human electroencephalographic coherence during subsequent slow sleep oscillations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*(38), 13963–8. doi:10.1073/pnas.0402820101
- Morris, G., Williams, H., & Lubin, A. (1960). Misperception and disorientation during sleep deprivation. *Archives of General Psychiatry*, *2*, 247–254. Retrieved from <http://archpsyc.ama-assn.org/cgi/reprint/2/3/247.pdf>
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: Tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *26*(5), 1170–1187. doi:10.1037//0278-7393.26.5.1170
- Nieuwenhuis, I. L. C., Folia, V., Forkstam, C., Jensen, O., & Petersson, K. M. (2013). Sleep promotes the extraction of grammatical rules. *PloS One*, *8*(6), e65046. doi:10.1371/journal.pone.0065046
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, *19*(1), 1–32. doi:10.1016/0010-0285(87)90002-8
- Oker, A., & Versace, R. (2010). Distinctiveness effect due to contextual information in a categorization task. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain ...*, *26*(1), 1–9. Retrieved from <http://cpl.revues.org/4975>
- Oker, A., Versace, R., & Ortiz, L. (2009). Spatial distinctiveness effect in categorisation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(7), 971–979. doi:10.1080/09541440802547567
- Old, S. R., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Differential effects of age on item and associative measures of memory: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, *23*(1), 104–18. doi:10.1037/0882-7974.23.1.104

- Oudiette, D., Constantinescu, I., Leclair-Visonneau, L., Vidailhet, M., Schwartz, S., & Arnulf, I. (2011). Evidence for the re-enactment of a recently learned behavior during sleepwalking. *PloS One*, *6*(3), e18056. doi:10.1371/journal.pone.0018056
- Oudiette, D., & Paller, K. a. (2013). Upgrading the sleeping brain with targeted memory reactivation. *Trends in Cognitive Sciences*, *17*(3), 142–9. doi:10.1016/j.tics.2013.01.006
- Paller, K. A., & Voss, J. L. (2004). Memory reactivation and consolidation during sleep. *Learning & Memory*, *11*(6), 664. doi:10.1101/lm.75704.otherwise
- Payne, J. D., & Kensinger, E. a. (2011). Sleep leads to changes in the emotional memory trace: evidence from fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(6), 1285–97. doi:10.1162/jocn.2010.21526
- Payne, J. D., Schacter, D., Propper, R. E., Huang, L.-W., Wamsley, E. J., Tucker, M. A., ... Stickgold, R. (2009). The role of sleep in false memory formation. *Neurobiology of Learning and Memory*, *92*(3), 327–34. doi:10.1016/j.nlm.2009.03.007
- Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Collette, F., Perrin, F., Reggers, J., ... Maquet, P. (2004). Are spatial memories strengthened in the human hippocampus during slow wave sleep? *Neuron*, *44*(3), 535–45. doi:10.1016/j.neuron.2004.10.007
- Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Destrebecqz, A., Collette, F., Delbeuck, X., ... Maquet, P. (2003). Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep. *NeuroImage*, *20*(1), 125–134. doi:10.1016/S1053-8119(03)00278-7
- Plihal, W., & Born, J. (1997). Effects of Early and Late Nocturnal Sleep on Declarative and Procedural Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(4), 534–547. doi:10.1162/jocn.1997.9.4.534
- Plihal, W., & Born, J. (1999). Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophysiology*, *36*(5), 571–82. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10442025>
- Poe, G. R., Nitz, D. a, McNaughton, B. L., & Barnes, C. a. (2000). Experience-dependent phase-reversal of hippocampal neuron firing during REM sleep. *Brain Research*, *855*(1), 176–80. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10650147>
- Ramadan, W., Eschenko, O., & Sara, S. J. (2009). Hippocampal sharp wave/ripples during sleep for consolidation of associative memory. *PloS One*, *4*(8), e6697. doi:10.1371/journal.pone.0006697
- Rasch, B., & Born, J. (2013). About sleep's role in memory. *Physiological Reviews*, *93*(2), 681–766. doi:10.1152/physrev.00032.2012

- Rasch, B., Büchel, C., Gais, S., & Born, J. (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science (New York, N.Y.)*, *315*(5817), 1426–9. doi:10.1126/science.1138581
- Rasch, B., Pommer, J., Diekelmann, S., & Born, J. (2009). Pharmacological REM sleep suppression paradoxically improves rather than impairs skill memory. *Nature Neuroscience*, *12*(4), 396–7. doi:10.1038/nn.2206
- Rauchs, G., Bertran, F., Guillery-Girard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Denise, P., ... Eustache, F. (2004). Consolidation of strictly episodic memories mainly requires rapid eye movement sleep. *Sleep*, *27*(3), 395–401. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15164890>
- Rauchs, G., Desgranges, B., Foret, J., & Eustache, F. (2005). The relationships between memory systems and sleep stages. *Journal of Sleep Research*, *14*(2), 123–40. doi:10.1111/j.1365-2869.2005.00450.x
- Rauchs, G., Feyers, D., Landeau, B., Bastin, C., Luxen, A., Maquet, P., & Collette, F. (2011). Sleep contributes to the strengthening of some memories over others, depending on hippocampal activity at learning. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *31*(7), 2563–8. doi:10.1523/JNEUROSCI.3972-10.2011
- Reinitz, M. T., Lammers, W. J., & Cochran, B. P. (1992). Memory-conjunction errors: miscombination of stored stimulus features can produce illusions of memory. *Memory & Cognition*, *20*(1), 1–11. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1549060>
- Rey, A. E., Riou, B., Cherdieu, M., & Versace, R. (2014). When memory components act as perceptual components: Facilitatory and interference effects in a visual categorisation task. *Journal of Cognitive Psychology*, *26*(2), 221–231. doi:10.1080/20445911.2013.865629
- Ribeiro, S., & Nicolelis, M. a L. (2004). Reverberation, storage, and postsynaptic propagation of memories during sleep. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *11*(6), 686–96. doi:10.1101/lm.75604
- Rihm, J. S., Diekelmann, S., Born, J., & Rasch, B. (2014). Reactivating Memories during Sleep by Odors: Odor Specificity and Associated Changes in Sleep Oscillations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1–13. doi:10.1162/jocn_a_00579
- Ritter, S. M., Strick, M., Bos, M. W., van Baaren, R. B., & Dijksterhuis, A. (2012). Good morning creativity: task reactivation during sleep enhances beneficial effect of sleep on creative performance. *Journal of Sleep Research*, *21*(6), 643–7. doi:10.1111/j.1365-2869.2012.01006.x

- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Miall, R. C. (2004). Current concepts in procedural consolidation. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(7), 576–582. Retrieved from <http://www.nature.com/nrn/journal/v5/n7/abs/nrn1426.html>
- Robertson, E. M., Pascual-Leone, A., & Press, D. Z. (2004). Awareness modifies the skill-learning benefits of sleep. *Current Biology : CB*, 14(3), 208–12. doi:10.1016/j.cub.2004.01.027
- Roediger, H., & McDermott, K. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. ... *Psychology: Learning, Memory, and ...*, 21(4), 803–814. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/journals/xlm/21/4/803/>
- Rosenzweig, M., Breedlove, S., & Watson, N. (2005). Biological rhythms, sleep and dreaming. In *Biological Psychology: an introduction to behavioral cognitive and clinical neuroscience* (pp. 424–455). Sunderland MA: Sinauer Associates Inc. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Biological+rhythms,+sleep,+and+dreaming#4>
- Rubin, S., Petten, C., Glisky, E. L., & WM, N. (1999). Memory conjunction errors in younger and older adults: event-related potential and neuropsychological data. *Cognitive Neuropsychology*, 16, 459–488. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.3758/BF03211543>
- Rudoy, J., Voss, J. L., Westerberg, C., & Paller, K. (2009). Strengthening individual memories by reactivating them during sleep. *Science*, 326(November), 2009. Retrieved from <http://www.sciencemag.org/content/326/5956/1079.short>
- Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2012). Nocturnal mnemonics: sleep and hippocampal memory processing. *Frontiers in Neurology*, 3(May), 59. doi:10.3389/fneur.2012.00059
- Schabus, M., Hödlmoser, K., Gruber, G., Sauter, C., Anderer, P., Klösch, G., ... Zeitlhofer, J. (2006). Sleep spindle-related activity in the human EEG and its relation to general cognitive and learning abilities. *The European Journal of Neuroscience*, 23(7), 1738–46. doi:10.1111/j.1460-9568.2006.04694.x
- Schabus, M., Hoedlmoser, K., Pecherstorfer, T., Anderer, P., Gruber, G., Parapatics, S., ... Zeitlhofer, J. (2008). Interindividual sleep spindle differences and their relation to learning-related enhancements. *Brain Research*, 1191, 127–35. doi:10.1016/j.brainres.2007.10.106
- Schacter, D. (1987). Implicit memory: History and current status. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(3), 501–518. doi:10.1037/0278-7393.13.3.501

- Schmidt, C., Peigneux, P., Muto, V., Schenkel, M., Knoblauch, V., Münch, M., ... Cajochen, C. (2006). Encoding difficulty promotes postlearning changes in sleep spindle activity during napping. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *26*(35), 8976–82. doi:10.1523/JNEUROSCI.2464-06.2006
- Schredl, M., Weber, B., Leins, M.-L., & Heuser, I. (2001). Donepezil-induced REM sleep augmentation enhances memory performance in elderly, healthy persons. *Experimental Gerontology*, *36*(2), 353–361. doi:10.1016/S0531-5565(00)00206-0
- Scullin, M. K. (2013). Sleep, memory, and aging: the link between slow-wave sleep and episodic memory changes from younger to older adults. *Psychology and Aging*, *28*(1), 105–14. doi:10.1037/a0028830
- Scullin, M. K., & McDaniel, M. a. (2010). Remembering to execute a goal: sleep on it! *Psychological Science*, *21*(7), 1028–35. doi:10.1177/0956797610373373
- Siapas, A. G., & Wilson, M. a. (1998). Coordinated interactions between hippocampal ripples and cortical spindles during slow-wave sleep. *Neuron*, *21*(5), 1123–1128. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896627300806297>
- Silber, M. H., Ancoli-Israel, S., Bonnet, M. H., Chokroverty, S., Grigg-Damberger, M. M., Hirshkowitz, M., ... Iber, C. (2007). The visual scoring of sleep in adults. *Journal of Clinical Sleep Medicine : JCSM : Official Publication of the American Academy of Sleep Medicine*, *3*(2), 121–31. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17557422>
- Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Pictures of appetizing foods activate gustatory cortices for taste and reward. *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *15*(10), 1602–8. doi:10.1093/cercor/bhi038
- Sirota, A., & Buzsáki, G. (2005). Interaction between neocortical and hippocampal networks via slow oscillations. *Thalamus and Related Systems*, *3*(04), 245–259. doi:10.1016/j.bbi.2008.05.010
- Sirota, A., Csicsvari, J., Buhl, D., & Buzsáki, G. (2003). Communication between neocortex and hippocampus during sleep in rodents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(4), 2065–9. doi:10.1073/pnas.0437938100
- Skaggs, W., & McNaughton, B. (1996). Replay of neuronal firing sequences in rat hippocampus during sleep following spatial experience. *Science*, *271*, 1870–3. Retrieved from <http://www.sciencemag.org/content/271/5257/1870.short>
- Smith, C. (1995). Sleep states and memory processes. *Behavioural Brain Research*, *69*(1-2), 137–145. doi:10.1016/0166-4328(95)00024-N

- Smith, C. (2001). Sleep states and memory processes in humans: procedural versus declarative memory systems. *Sleep Medicine Reviews*, 5(6), 491–506.
doi:10.1053/smrv.2001.0164
- Smith, C., & Smith, D. (2003). Ingestion of ethanol just prior to sleep onset impairs memory for procedural but not declarative tasks. *Sleep*, 26(2), 185–91. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12683478>
- Spencer, R. M. C., Sunm, M., & Ivry, R. B. (2006). Sleep-dependent consolidation of contextual learning. *Current Biology : CB*, 16(10), 1001–5.
doi:10.1016/j.cub.2006.03.094
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, 10(4), 527–39. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8749580>
- Squire, L. R. (1998). Memory systems. *Academie Des Sciences*, 321, 153–156.
doi:10.1016/j.nlm.2004.06.005
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171–7. doi:10.1016/j.nlm.2004.06.005
- Squire, L. R., & Zola, S. M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(24), 13515–13522.
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1988). Memory: brain systems and behavior. *Trends in Neurosciences*, 11, 170–175. doi:10.1016/0166-2236(88)90144-0
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, 253 (5026), 1380–1386. doi:10.1126/science.1896849
- Steriade, M. (2003). The corticothalamic system in sleep. *Front Biosci*, (4), 878–899.
Retrieved from <http://www.caam.rice.edu/~yad1/miscellaneous/References/Neuroscience/Papers/Sleep/THE CORTICOTHALAMIC SYSTEM IN SLEEP.pdf>
- Stickgold, R. (2013). Parsing the role of sleep in memory processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(5), 847–853. doi:10.1016/j.conb.2013.04.002
- Stickgold, R., James, L. T., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*, 3(12), 1237–8. doi:10.1038/81756
- Stickgold, R., & Walker, M. P. (2013). Sleep-dependent memory triage: evolving generalization through selective processing. *Nature Neuroscience*, 16(2), 139–45.
doi:10.1038/nn.3303

- Stickgold, R., Whidbee, D., Schirmer, B., Patel, V., & Hobson, J. a. (2000). Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(2), 246–54. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10771409>
- Takashima, a, Petersson, K. M., Rutters, F., Tendolkar, I., Jensen, O., Zwarts, M. J., ... Fernández, G. (2006). Declarative memory consolidation in humans: a prospective functional magnetic resonance imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(3), 756–61. doi:10.1073/pnas.0507774103
- Talamini, L. M., Nieuwenhuis, I. L. C., Takashima, A., & Jensen, O. (2008). Sleep directly following learning benefits consolidation of spatial associative memory. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *15*(4), 233–7. doi:10.1101/lm.771608
- Tamminen, J., Lambon Ralph, M. a, & Lewis, P. a. (2013). The role of sleep spindles and slow-wave activity in integrating new information in semantic memory. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *33*(39), 15376–81. doi:10.1523/JNEUROSCI.5093-12.2013
- Tamminen, J., Payne, J. D., Stickgold, R., Wamsley, E. J., & Gaskell, M. G. (2010). Sleep spindle activity is associated with the integration of new memories and existing knowledge. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, *30*(43), 14356–60. doi:10.1523/JNEUROSCI.3028-10.2010
- Tucker, M. A., & Fishbein, W. (2008). Enhancement of declarative memory performance following a daytime nap is contingent on strength of initial task acquisition. *Sleep*, *31*(2), 197–203. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2225575&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Tucker, M. A., Hirota, Y., Wamsley, E. J., Lau, H., Chaklader, A., & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, *86*(2), 241–7. doi:10.1016/j.nlm.2006.03.005
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, *40*(4), 385–398. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003066X0665274X>

- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo Vadis. *The Cognitive Neurosciences*. Retrieved from <http://cognitn.psych.indiana.edu/busey/P435Spring02/pdfs/TulvingMemory.pdf>
- Tyler, L. ., Stamatakis, E. ., Dick, E., Bright, P., Fletcher, P., & Moss, H. (2003). Objects and their actions: evidence for a neurally distributed semantic system. *NeuroImage*, *18*(2), 542–557. doi:10.1016/S1053-8119(02)00047-2
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-dependent knowledge in young and elderly adults: arguments from the cross-modal priming effect. *Current Aging Science*, *4*(2), 137–49. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21235495>
- Van Cauter, E., Leproult, R., & Plat, L. (2000). Age-related changes in slow wave sleep and REM sleep and relationship with growth hormone and cortisol levels in healthy men. *JAMA : The Journal of the American Medical Association*, *284*(7), 861–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10938176>
- Van der Helm, E., Gujar, N., Nishida, M., & Walker, M. P. (2011). Sleep-dependent facilitation of episodic memory details. *PloS One*, *6*(11), e27421. doi:10.1371/journal.pone.0027421
- Van Der Werf, Y. D., Altena, E., Schoonheim, M. M., Sanz-Arigita, E. J., Vis, J. C., De Rijke, W., & Van Someren, E. J. W. (2009). Sleep benefits subsequent hippocampal functioning. *Nature Neuroscience*, *12*(2), 122–3. doi:10.1038/nn.2253
- Versace, R., Labeye, É., Badard, G., & Rose, M. (2009). The contents of long-term memory and the emergence of knowledge. *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(4), 522–560. doi:10.1080/09541440801951844
- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). *La mémoire dans tous ses états* (Solal.). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:La+mémoire+dans+to us+ses+états#1>
- Versace, R., Vallet, G., Brunel, L., Riou, B., Lesourd, M., & Labeye, E. (in press). Act-In : An integrated view of memory mechanisms.
- Wagner, U., Gais, S., & Born, J. (2001). Emotional memory formation is enhanced across sleep intervals with high amounts of rapid eye movement sleep. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *8*(2), 112–9. doi:10.1101/lm.36801
- Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R., & Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, *427*(6972), 352–5. doi:10.1038/nature02223

- Wagner, U., Hallschmid, M., Verleger, R., & Born, J. (2003). Signs of REM sleep dependent enhancement of implicit face memory: a repetition priming study. *Biological Psychology*, 62(3), 197–210. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12633978>
- Walker, M. P. (2008). Sleep-dependent memory processing. *Harvard Review of Psychiatry*, 16(5), 287–98. doi:10.1080/10673220802432517
- Walker, M. P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002). Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35(1), 205–11. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12123620>
- Walker, M. P., Liston, C., Hobson, J. A., & Stickgold, R. (2002). Cognitive flexibility across the sleep-wake cycle: REM-sleep enhancement of anagram problem solving. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 14(3), 317–24. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12421655>
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. *Annual Review of Psychology*, 57, 139–66. doi:10.1146/annurev.psych.56.091103.070307
- Walker, M. P., Stickgold, R., Alsop, D., Gaab, N., & Schlaug, G. (2005). Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. *Neuroscience*, 133(4), 911–7. doi:10.1016/j.neuroscience.2005.04.007
- Walsleben, J., & Kapur, V. (2004). Sleep and Reported Daytime Sleepiness in Normal Subjects : the Sleep Heart Health Study. *SLEEP-NEW YORK ...*, 27(2), 3–8. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/8580263_Sleep_and_reported_daytime_sleepiness_in_normal_subjects_the_Sleep_Heart_Health_Study/file/9fcfd50a2720343c10.pdf
- Werchan, D. M., & Gómez, R. L. (2013). Generalizing memories over time: sleep and reinforcement facilitate transitive inference. *Neurobiology of Learning and Memory*, 100, 70–6. doi:10.1016/j.nlm.2012.12.006
- Whittlesea, B. W. A. (1987). Preservation of specific experiences in the representation of general knowledge. *Learning, Memory*, 13(1), 3–17. doi:10.1037/0278-7393.13.1.3
- Wilhelm, I., Diekelmann, S., Molzow, I., Ayoub, A., Mölle, M., & Born, J. (2011). Sleep selectively enhances memory expected to be of future relevance. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(5), 1563–9. doi:10.1523/JNEUROSCI.3575-10.2011

- Willingham, D. B., Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *15*(6), 1047–60. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2530305>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 625–36. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12613670>
- Wilson, M. A., & McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, *265*(5172), 676. Retrieved from <http://www.sciencemag.org/content/265/5172/676.short>
- Yoo, S.-S., Hu, P. T., Gujar, N., Jolesz, F. a., & Walker, M. P. (2007). A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature Neuroscience*, *10*(3), 385–92. doi:10.1038/nn1851
- Yordanova, J., Kolev, V., Verleger, R., Bataghva, Z., Born, J., & Wagner, U. (2008). Shifting from implicit to explicit knowledge: different roles of early- and late-night sleep. *Learning & Memory (Cold Spring Harbor, N.Y.)*, *15*(7), 508–15. doi:10.1101/lm.897908
- Yordanova, J., Kolev, V., Wagner, U., Born, J., & Verleger, R. (2012). Increased alpha (8-12 Hz) activity during slow wave sleep as a marker for the transition from implicit knowledge to explicit insight. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(1), 119–32. doi:10.1162/jocn_a_00097
- Yordanova, J., Kolev, V., Wagner, U., & Verleger, R. (2010). Differential associations of early- and late-night sleep with functional brain states promoting insight to abstract task regularity. *PloS One*, *5*(2), e9442. doi:10.1371/journal.pone.0009442

ANNEXES

Annexe 1. Expérience 1 du Chapitre 4.

a. Images pour la condition « Non masqué »

Vivants

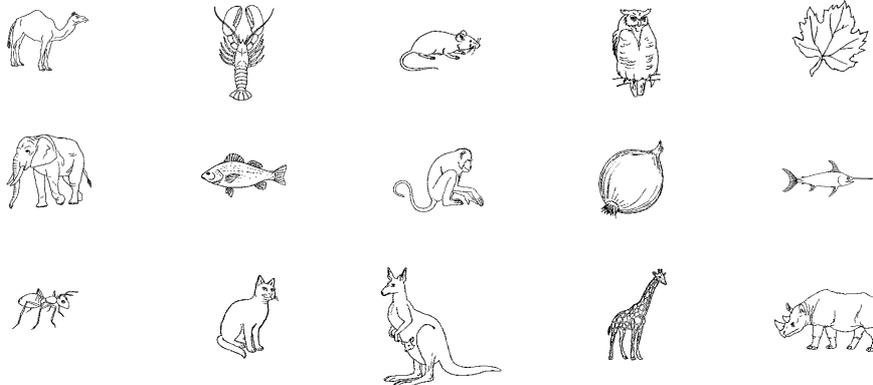


Non vivants

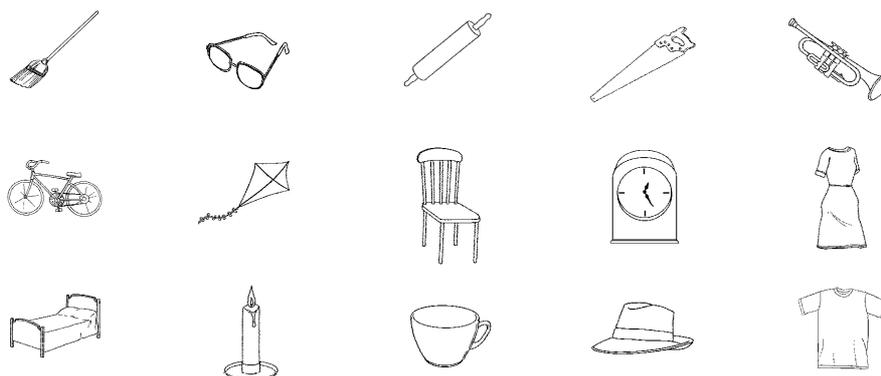


b. Images pour la condition « Masqué »

Vivants

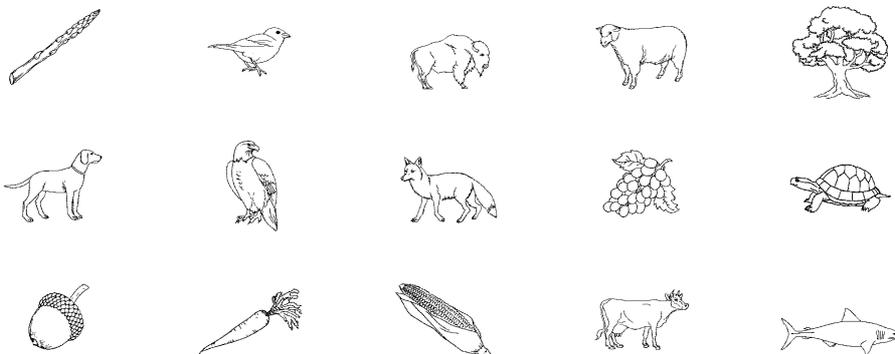


Non vivants

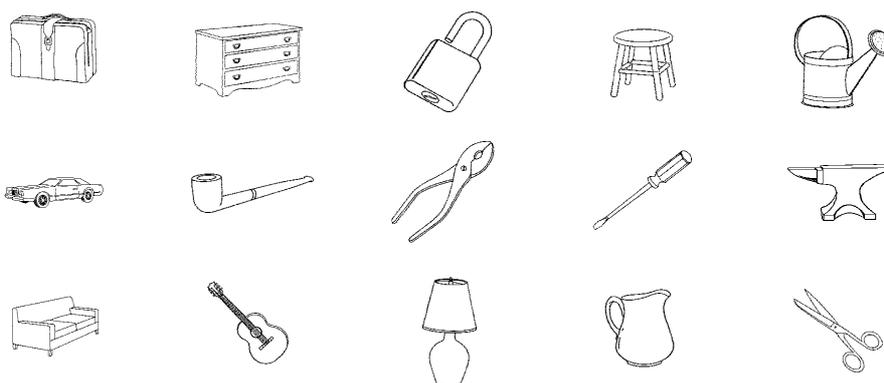


c. Images pour la condition « Nouveau »

Vivants



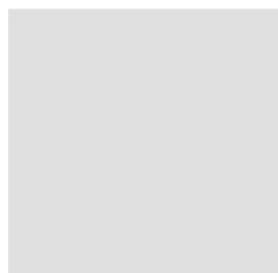
Non vivants



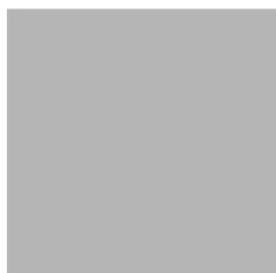
Annexe 2. Expériences 1 et 2 du chapitre 5

Carrés

15% de gris



35% de gris



50% de gris



75% de gris

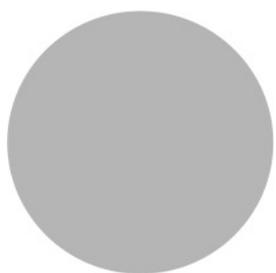


Cercles

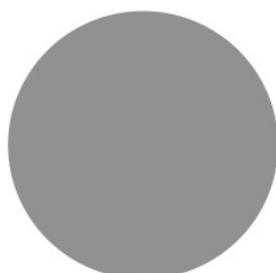
15% de gris



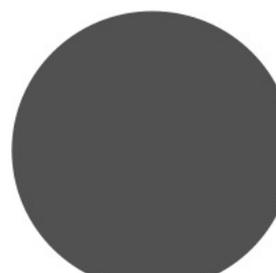
35% de gris



50% de gris



75% de gris



Annexe 3. Expérience 2 du chapitre 5

a. Images pour la condition « Petit »

Sonore

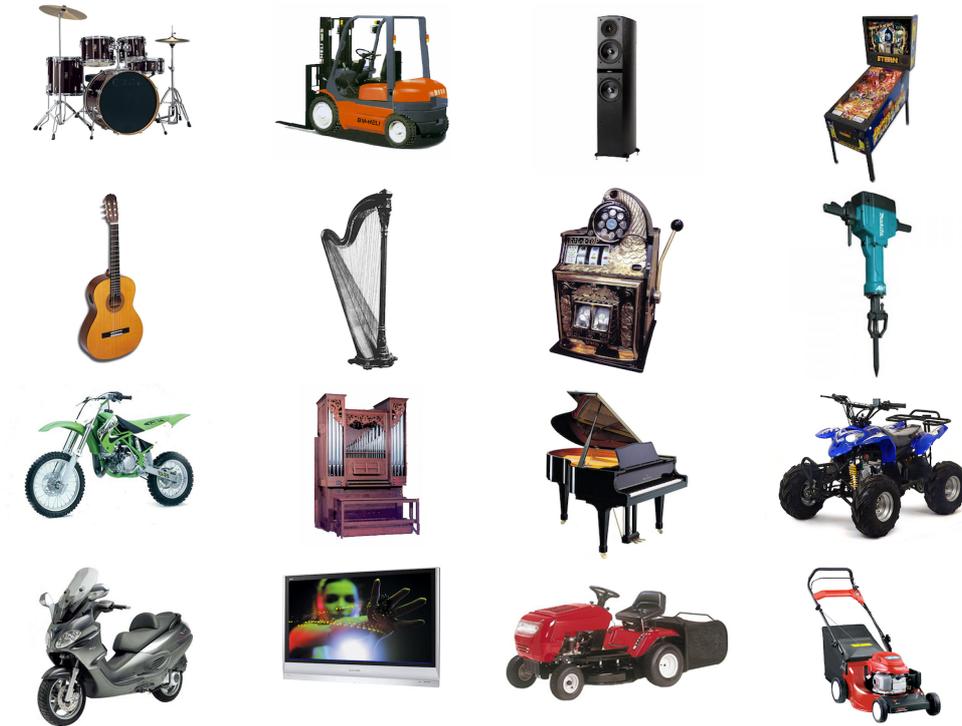


Non sonore

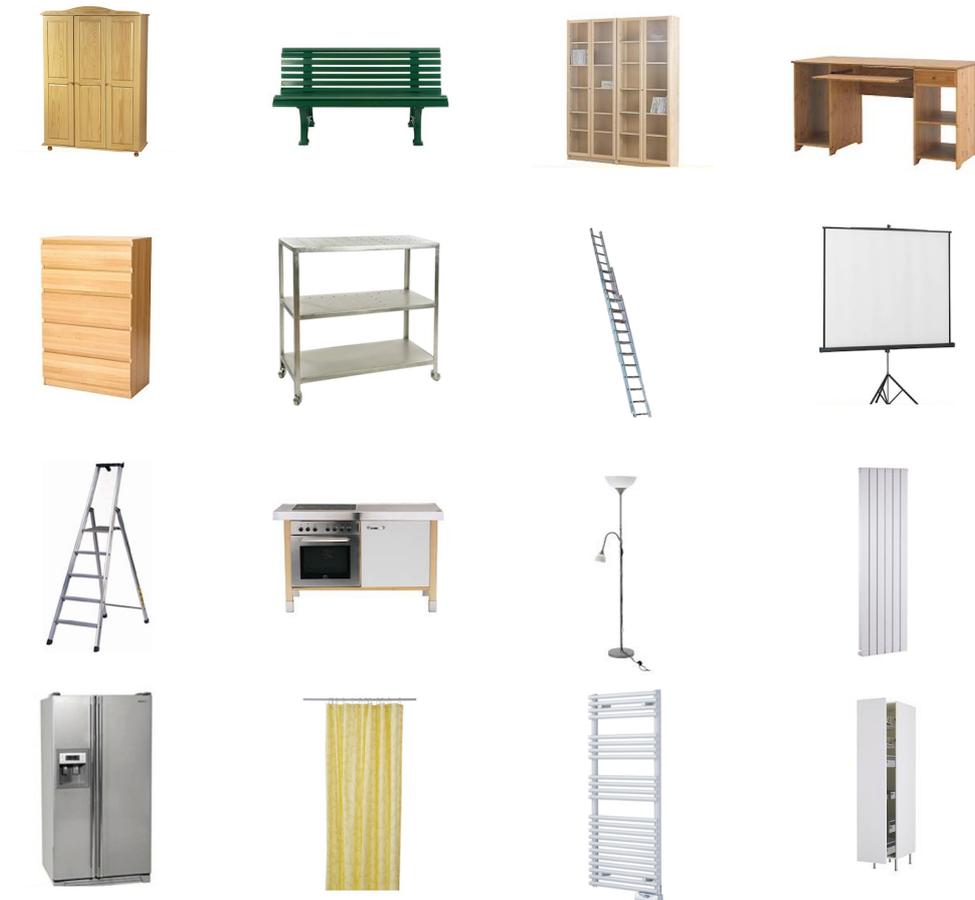


b. Images pour la condition « Grand »

Sonore



Non sonore



Annexe 4. Expérience 3 du chapitre 5

a. Phrases présentées à l'apprentissage

1-le castor voit le savant	le savant voit le castor
2-le zèbre voit le vendeur	le vendeur voit le zèbre
3-le pinson voit le capitaine	le capitaine voit le pinson
4-le kangourou voit le menuisier	le menuisier voit le kangourou
5-le serpent voit le témoin	le témoin voit le serpent
6-l'abeille voit le fleuriste	le fleuriste voit l'abeille
7-l'escroc voit l'alligator	l'alligator voit l'escroc
8-l'alpiniste voit l'élan	l'élan voit l'alpiniste
9-le pirate voit le lion	le lion voit le pirate
10-le voisin voit la vache	la vache voit le voisin
11-le soldat voit le requin	le requin voit le soldat
12-la tante voit le sanglier	le sanglier voit la tante
13-la dinde voit l'enfant	l'enfant voit la dinde
14-le faucon voit l'acteur	l'acteur voit le faucon
15-l'agneau voit la maîtresse	la maîtresse voit l'agneau
16-l'adversaire voit l'iguane	l'iguane voit l'adversaire
17-le prêtre voit le bœuf	le bœuf voit le prêtre
18-le bandit voit la mouche	la mouche voit le bandit
19-le putois voit le shérif	le shérif voit le putois
20-le tigre voit le valet	le valet voit le tigre
21-le cheval voit le docteur	le docteur voit le cheval
22-le banquier voit la grenouille	la grenouille voit le banquier
23-le garçon voit le buffle	le buffle voit le garçon
24-la mère voit le lapin	le lapin voit la mère
25-l'antilope voit le journaliste	le journaliste voit l'antilope
26-l'aigle voit l'agent	l'agent voit l'aigle
27-le faon voit le maire	le maire voit le faon
28-le hamster voit l'animateur	l'animateur voit le hamster
29-le hibou voit le fiancé	le fiancé voit le hibou
30-le renard voit le soldat	le soldat voit le renard
31-le chanteur voit le merle	le merle voit le chanteur
32-le truand voit le singe	le singe voit le truand
33-le portier voit la marmotte	la marmotte voit le portier
34-le tuteur voit le furet	le furet voit le tuteur
35-le forain voit la souris	la souris voit le forain
36-le cuisinier voit l'âne	l'âne voit le cuisinier
37-la tortue voit le viking	le viking voit la tortue
38-l'ours voit la reine	la reine voit l'ours
39-l'éléphant voit le barman	le barman voit l'éléphant
40-le grec voit le chat	le chat voit le grec
41-l'amant voit la guêpe	la guêpe voit l'amant
42-le pilote voit la biche	la biche voit le pilote
43-le chameau voit le préfet	le préfet voit le chameau
44-le canard voit l'expert	l'expert voit le canard
45-le lézard voit l'oncle	l'oncle voit le lézard
46-le bijoutier voit la limace	la limace voit le bijoutier
47-le romain voit le panda	le panda voit le romain
48-l'élève voit le cygne	le cygne voit l'élève

b. Phrases présentées dans la condition « Conjonction » à la reconnaissance post-délai.

1-le castor voit le vendeur	le savant voit le zèbre
2-le pinson voit le menuisier	le capitaine voit le kangourou
3-le serpent voit le fleuriste	le témoin voit l'abeille
4-l'escroc voit l'élan	l'alligator voit l'alpiniste
5-le pirate voit la vache	le lion voit le voisin
6-le soldat voit le sanglier	le requin voit la tante
7-l'antilope voit l'agent	le journaliste voit l'aigle
8-le faon voit le maire	le maire voit le hamster
9-le hibou voit le soldat	le fiancé voit le renard
10-le chanteur voit le singe	le merle voit le truand
11-le portier voit le furet	la marmotte voit le tuteur
12-le forain voit l'âne	la souris voit le cuisinier

c. Phrases présentées dans la condition « Feature » à la reconnaissance post-délai.

1-la dinde voit le chauffeur	l'enfant voit le cafard
2-le faucon voit le détective	l'acteur voit le dauphin
3-l'agneau voit l'ouvrier	la maîtresse voit l'otarie
4-l'adversaire voit le cafard	l'iguane voit le chauffeur
5-le prêtre voit le dauphin	le bœuf voit le détective
6-le bandit voit l'otarie	la mouche voit l'ouvrier
7-la tortue voit le chauffeur	le viking voit le cafard
8-l'ours voit le détective	la reine voit le dauphin
9-l'éléphant voit l'ouvrier	le barman voit l'otarie
10-le grec voit le cafard	le chat voit le chauffeur
11-l'amant voit le dauphin	la guêpe voit le détective
12-le pilote voit l'otarie	la biche voit l'ouvrier

d. Phrases présentées dans la condition « Nouveau » à la reconnaissance post-délai.

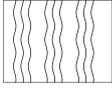
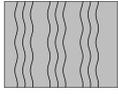
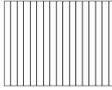
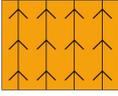
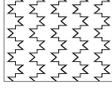
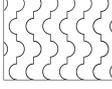
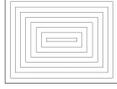
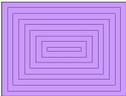
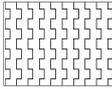
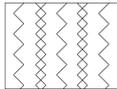
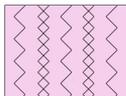
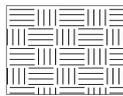
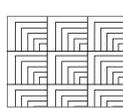
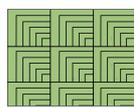
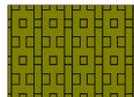
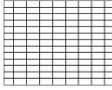
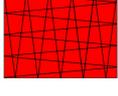
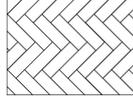
1-la libellule voit le patron	le patron voit la libellule
2-le loup voit le pompier	le pompier voit le loup
3-la poule voit la servante	la servante voit la poule
4-le professeur voit l'oie	l'oie voit le professeur
5-le dentiste voit le chien	le chien voit le dentiste
6-l'épouse voit l'écureuil	l'écureuil voit l'épouse

Annexe 5. Expérience 1 du chapitre 6

a. Formes, Couleurs et Associations Forme/Couleur



b. Textures et Associations Couleur/Texture

Textures	Associations Couleur/Texture	Textures	Associations Couleur/Texture
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			

Annexe 6. Expérience 2 du chapitre 6

Nouvelles formes utilisées

Formes découpées à gauche



Formes découpées à droite



Annexe 7. Expérience 5 du chapitre 6

a. Listes de mots présentés à l'apprentissage.

Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6
Légume	Vallée	Note	Garçon	Reine	Chaussure
Orange	Escalader	Piano	Jeune	Couronne	Orteil
Poire	Pic	Radio	Nièce	Chevalier	Football
Panier	Ski	Concert	Sœur	Monarque	Botte
Pomme	Colline	Son	Poupée	Echec	Main
Kiwi	Sommet	Chanter	Robe	Prince	Sandales
Salade	Chèvre	Jazz	Belle	Trône	Bouche
Banane	Plaine	Groupe	Mignonne	Palais	Marcher
Cerise	Glacier	Mélodie	Tante	Arthur	Bras
Jus	Taupinière	Instrument	Jolie	Règne	Odeur
Cocktail	Chaîne	Orchestre	Féminin	Dictateur	Pouce
Bol	Chamois	Art	Maternelle	Royal	Chaussette
Liste 7	Liste 8	Liste 9	Liste 10	Liste 11	Liste 12
Fou	Table	Beurre	Lit	Infirmière	Chaud
Haine	Jambes	Sandwich	Fatigué	Santé	Hiver
Joie	Sofa	Lait	Réveil	Dentiste	Glace
Courroux	Coussin	Toast	Ronfler	Patient	Frileux
Peur	Siéger	Manger	Eveillé	Médicament	Neige
Rage	Fauteuil	Jambon	Rêve	Hôpital	Tiède
Enragé	Tabouret	Biscotte	Repos	Chirurgien	Frisson
Combat	Bois	Farine	Debout	Physicien	Givre
Emotion	Canapé	Vin	Sommeiller	Malade	Arctique
Furie	Dossier	Fromage	Sieste	Stéthoscope	Air
Détester	Assise	Tranche	Bâillement	Cabinet	Verglas
Méchant	Bascule	Mie	Somnambule	Consultation	Température

b. Listes de mots présentés à la reconnaissance post-délai.

	Liste 1	Liste 2	Liste 3	Liste 4	Liste 5	Liste 6
Ancien	Légume	Vallée	Note	Garçon	Reine	Chaussure
	Orange	Escalader	Piano	Jeune	Couronne	Orteil
Relié	Baie	Rocheuse	Rythme	Danse	Sujets	Hanche
	Citron	Escarpé	Symphonie	Cheveux	Belgique	Nez
Non relié	Humeur	Bureau	Seigle	Paix	Pathologie	Chaleur
	Calme	Banc	Pâte	Profondément	Suture	Eau
Critique	Fruit	Montagne	Musique	Fille	Roi	Pied
	Liste 7	Liste 8	Liste 9	Liste 10	Liste 11	Liste 12
Ancien	Fou	Tables	Beurre	Lit	Infirmière	Chaud
	Haine	Jambes	Sandwich	Fatigué	Santé	Hiver
Relié	Humeur	Bureau	Seigle	Paix	Pathologie	Chaleur
	Calme	Banc	Pâte	Profondément	Suture	Eau
Non relié	Baie	Rocheuse	Rythme	Danse	Sujets	Hanche
	Citron	Escarpé	Symphonie	Cheveux	Belgique	Nez
Critique	Colère	Chaise	Pain	Dormir	Docteur	Froid