



HAL
open science

Les "sens" de la mémoire

Jordan Mille, Valentin Magnon, Rémi Versace, Guillaume T. Vallet

► **To cite this version:**

Jordan Mille, Valentin Magnon, Rémi Versace, Guillaume T. Vallet. Les "sens" de la mémoire. *Intellectica - La revue de l'Association pour la Recherche sur les sciences de la Cognition (ARCo)*, 2021, 74, pp.185-209. hal-03403898

HAL Id: hal-03403898

<https://hal.science/hal-03403898v1>

Submitted on 26 Oct 2021

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

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

Les « sens » de la mémoire

Title: The "senses" of memory

Jordan Mille¹, Valentin Magnon¹, Rémy Versace², Guillaume T. Vallet¹

¹ Université Clermont Auvergne, CNRS, LAPSCO (UMR6024), F-63000 Clermont-Ferrand,
France

² Université Lyon 2, EMC (EA3082), Lyon, France

RÉSUMÉ : L'approche incarnée et située prédit des interactions directes entre les traitements sensorimoteurs et cognitifs. Cet article présente les arguments en faveur de telles interactions en se concentrant sur le fonctionnement sensoriel et mnésique chez le jeune adulte, ainsi que sur la question des mécanismes qui sous-tendent ces interactions. Ces mécanismes incarnés et situés s'accompagnent non seulement d'interrogations épistémologiques fondamentales sur la notion de représentation et de modularité des fonctions cognitives, mais aussi d'enjeux d'ordre appliqué, en particulier lorsque l'approche incarnée et située est appréhendée selon un critère de fécondité épistémique. Cette fécondité est illustrée avec l'étude du vieillissement cognitif, car le vieillissement est marqué par des changements concomitants dans le traitement sensorimoteur et mnésique.

Mots-clés : Cognition incarnée, mémoire, perception, distinctivité, vieillissement, épistémologie.

ABSTRACT : Embodied and situated cognition predicts direct interactions between sensorimotor and cognitive processing. This perspective presents evidence of such interactions by focusing on sensory and memory processing in young adults and the mechanisms underpinning these interactions. These embodied and situated mechanisms bring up not only fundamental epistemological questions about the notion of representation and modularity of cognitive functions, but also on applied issues, especially when the embodied and situated approach is considered according to a principle of epistemic fertility. This fertility is highlighted with the study of cognitive aging, as aging is marked by concomitant changes in sensorimotor and memory processing.

Keywords: Embodiment, memory, perceptual processing, distinctiveness, aging, epistemology.

INTRODUCTION

Dans son acception générale, l'approche incarnée et située de la cognition place le corps et l'environnement au centre du fonctionnement cognitif. La cognition naîtrait de l'interaction de l'individu avec son milieu, ce qui induit naturellement un intérêt marqué pour l'étude de l'action et par extension de la motricité. Néanmoins, les études qui abordent le fonctionnement sensoriel pour lui-même sont moins nombreuses et l'intérêt pour la perception est parfois réduit aux interactions qui se produisent avec le fonctionnement moteur (voir par exemple Gentsch *et al.*, 2016). Pourtant, étudier l'incarnation de la cognition implique tout autant de considérer les sensations et la perception. L'objectif de cet article est de s'interroger sur le rôle du fonctionnement sensoriel dans la cognition à travers la question de la mémoire. Cet objectif répond à des enjeux épistémologiques fondamentaux et appliqués, en particulier lorsque l'approche incarnée et située de la mémoire est appréhendée selon un critère de fécondité épistémique. À ce titre, l'article se clôturera sur la capacité d'une vision incarnée, fondamentalement interactionniste entre les fonctionnements sensoriels et mnésiques, à rendre compte du vieillissement cognitif, ainsi qu'à fournir des pistes de recherche en termes de stimulation cognitive dans cette population.

I – APPROCHE ÉPISTEMOLOGIQUE DE LA COGNITION

INCARNÉE ET SITUÉE

Il y a bien des manières de définir l'approche incarnée et située de la cognition (voir par exemple Wilson, 2002). D'un point de vue étymologique, cette approche propose non seulement que la cognition doit être comprise à travers les contraintes de la situation (cognition située), mais aussi, et surtout, qu'elle est « enracinée » dans les spécificités d'un corps physique (cognition incarnée). Ainsi, cette approche pourrait être définie à un premier niveau à partir des mécanismes qui sous-tendent le caractère situé ou incarné de la cognition. Étudier le caractère

incarné de la cognition reviendrait alors à donner une interprétation du fonctionnement de l'individu qui tient compte du corps. Il pourrait s'agir d'étudier le rôle de la posture corporelle dans les performances de mémoire (e.g., Dijkstra, Kascha, & Swaan, 2007). Néanmoins, l'approche incarnée et située de la cognition s'accompagne bien souvent de revendications davantage méta-théoriques et d'ordre épistémologique qui supposent un second niveau de définition.

Ce second niveau de définition fait intervenir la façon dont cette approche envisage la notion de représentation. En effet, la cognition est classiquement appréhendée selon une approche «
computo-symbolique ». Le monde externe serait représenté au sein d'un système cognitif grâce à la transformation des signaux captés de ce monde en codes (symboles) utilisés par des modules cognitifs. Ces derniers seraient sous-tendus par des structures cérébrales différentes (encapsulées) et effectueraient chacun un type de traitement particulier (spécialisé) à partir d'un type de représentation donnée (Fodor, 1986). Toutefois, la particularité de cette forme de représentation serait d'être détachée des propriétés sensorimotrices (représentation dite amodale), ce qui permettrait un traitement d'ordre propositionnel comme en informatique (Pylyshyn, 1984).

Une approche incarnée et située de la cognition propose à l'inverse d'appréhender la cognition selon une vision fondamentalement distribuée du cerveau (telle que définie par le connexionnisme) dans laquelle les diverses fonctions cognitives (e.g., attentionnelles, mnésiques) ne sont ni localisées au sein d'une région cérébrale unique, ni cloisonnées les unes des autres. Il s'agit d'une vision interactionniste qui est associée à une conception modale (*i.e.*, sensorimotrice) de la représentation. Autrement dit, les interactions produites entre le corps – à travers les fonctions sensorimotrices – et le monde laisseraient des traces de même nature

sensorimotrice au sein du système cognitif. Les représentations ne seraient plus amodales et relativement stables, mais à l'inverse, elles seraient plutôt dynamiques et émergeraient de la simulation (*i.e.*, re-crédation) des traces sensorimotrices cérébrales passées en fonction des contraintes de la situation présente (Barsalou, 1999 ; Barsalou, Simmons, Barbey & Wilson, 2003). Il peut être important de noter qu'une vision plus radicale de l'approche incarnée et située propose d'envisager la cognition comme un simple couplage corps-environnement (approche autopoïétique) sans faire intervenir la notion de représentation (voir le paradigme enactiviste ; Varela *et al.*, 1993). Cette nouvelle conception de la représentation pourrait alors s'apparenter à un changement de paradigme, tel que défini par Thomas Kuhn (1983) (voir par exemple, Varela *et al.*, 1993). Autrement dit, l'approche incarnée et située de la cognition constituerait un changement d'une vision cohérente du monde, dans laquelle la cognition ne correspondrait plus à des calculs sur des représentations du monde externe sous une forme stable et abstraite (*i.e.*, représentation amodale). Au lieu de cela, la cognition correspondrait aux capacités d'auto-organisation d'un organisme en interaction (à travers son corps) avec un environnement. Une telle position épistémologique radicale ne semble cependant pas nécessaire pour qualifier le processus de recherche d'approche incarnée et située. Ainsi, tous les chercheurs s'inscrivant dans cette approche n'adoptent pas pour autant une posture anti-représentationniste, mais une grande majorité semble s'accorder sur, 1) la nature sensorimotrice des connaissances et, 2) le caractère dynamique et émergent des connaissances à partir des interactions sensorimotrices du corps et de l'environnement (e.g., Versace, Labeye, Badard, & Rose, 2009). En raison de ces points communs et ces divergences entre les chercheurs, il serait pertinent de définir cette approche à partir d'une vision plus pragmatique, d'ordre socio-épistémologique, à travers la notion de programme de recherche (Wołoszyn & Holol, 2017), comme nous allons le voir.

La notion de programme de recherche a été développée par le disciple de Karl Popper, et philosophe des sciences, Imre Lakatos (1976). Elle s'inscrit dans une approche hypothético-déductive classique, mais a été proposée afin de répondre aux limites du falsificationnisme naïf¹ (voir par exemple Chalmers, 1976). Les programmes de recherche sont constitués d'un *noyau dur* (concept proche de la notion d'axiome) qui n'a pas pour but d'être falsifié (*i.e.*, testé), mais qui permet aux chercheurs de ce programme de développer des prédictions spécifiques (*hypothèses auxiliaires*). Ces prédictions permettent à leur tour de construire des théories distinctes, théories qui seront alors testables, ajustables ou réfutables. Définir l'approche incarnée et située comme un programme de recherche permet alors de rendre compte de la diversité des propositions tenues par les chercheurs se revendiquant de cette approche (Wilson, 2002). Les programmes de recherche ne doivent donc pas nécessairement être vus comme des positions, ou paradigmes concurrents – en ce sens que leur objectif dépasse ce simple but – mais plutôt comme un déplacement progressif des questions de recherche. Autrement dit, un programme constituerait un « socle » théorique qui offrirait des opportunités de recherche qui ne sont pas permises (ou moins évidentes) au sein d'un autre programme de recherche. La réussite d'un programme doit alors être considérée à partir de la fécondité des connaissances produites², et son échec à partir d'un déplacement dégénératif des questions de recherches. Le *noyau dur* de la cognition incarnée et située pourrait correspondre à un objectif de définition et de circonscription des principes généraux de la relation corps-environnement de la cognition d'une part, et des mécanismes en jeu selon certaines variables d'autre part (besoin de la tâche, contraintes corporelles ou situationnelles, buts de l'individu, etc.). Il s'agirait notamment de

¹ Chalmers (1976) propose trois grandes limites au falsificationnisme : 1) la dépendance de l'observation par rapport à la théorie et la faillibilité des falsifications, 2) l'existence d'hypothèses auxiliaires non considérée dans la situation de test, 3) l'inadéquation du falsificationnisme dans l'étude de l'histoire des sciences modernes.

² Dans cette approche et lorsque deux programmes de recherche (ou plus) sont en concurrence, le meilleur programme pourra être défini comme le plus fructueux, c'est-à-dire, celui qui conduit au plus grand nombre de découvertes.

considérer que les connaissances sont ancrées dans des constituants sensorimoteurs. Cela suggère alors une place centrale des sensations et de la perception d'un individu dans l'émergence des connaissances. Les *hypothèses auxiliaires* du programme de recherche de la cognition incarnée correspondraient, quant à elles, à la poursuite des questions de recherche que l'étude de la relation corps-environnement fait naître. Autrement dit, l'ancrage sensorimoteur des connaissances permet le développement d'*hypothèses auxiliaires* testables selon lesquelles, par exemple, la mémoire et la perception devraient produire des interactions directes et réciproques. À ce titre, la fécondité de ce programme – dont les modèles reposent généralement sur des expériences réalisées auprès de jeunes adultes, pourrait être évaluée à travers la capacité des modèles incarnés et situés à prédire des interactions directes et réciproques entre mémoire et perception chez d'autres populations, mais aussi à rendre compte plus précisément des mécanismes à l'origine de ces interactions. Nous proposons d'illustrer la fécondité de ce programme à travers l'étude du vieillissement qui se caractérise par un déclin sensoriel et mnésique conjoint.

II – LES INTERACTIONS ENTRE MÉMOIRE ET PERCEPTION

II.1 - Vers une place centrale des sens dans la cognition

La perception a toujours été reconnue comme essentielle à la cognition, mais rarement en tant que composante constitutive de celle-ci. Ainsi, selon l'approche classique – computationnelle –, la perception est le plus souvent définie comme l'entrée du système cognitif (conformément au *noyau dur* de cette approche selon lequel les traitements cognitifs sont séquentiels et modulaires, voir par exemple Fodor, 1986). Elle constituerait la principale source d'informations sur le monde extérieur et permettrait à un individu de connaître une situation donnée. Dans le cas de la perception visuelle par exemple, les organes périphériques visuels (les yeux) capteraient et enverraient les signaux en provenance du monde extérieur vers le système

nerveux central (le cerveau) qui « créerait » par étapes successives une série de représentations de plus en plus complexes. Le modèle de Marr (1982) propose par exemple de rendre compte de la perception à travers une série de représentations (appelées « sketches »). Le sketch primaire et la représentation en 2,5D (*i.e.*, construction d'un environnement tridimensionnel à partir de la projection rétinienne en 2 dimensions) permettraient de construire une représentation de l'objet à partir des formes et des surfaces qui le composent. Ensuite, le sketch 3D serait associé à une interprétation des formes et surfaces en tant qu'objet ou ensemble d'objets. Il est important de noter que cette dernière étape est supposée opérer sur des représentations mnésiques stables pour un objet donné. Autrement dit, les organes périphériques d'entrée permettant la perception recevraient des informations du monde externe. Ces informations seraient ensuite traitées au sein de différents (sous-)systèmes et associées à un changement d'état (de nature) de l'information au sein de chaque système. Le traitement au sein des différents systèmes permettrait ainsi la construction d'une représentation amodale en mémoire. Ainsi, cette représentation serait stable et privée des composants sensorimoteurs constitutifs de ce qu'elle est censée représenter. Le rôle de la perception n'est toutefois pas cantonné à l'entrée du système. Lorsque nous revivons un souvenir personnel spécifique à un contexte spatio-temporel (souvenir dit « épisodique »), nous sommes capables de revoir, ré-entendre, ressentir les détails de l'épisode (reviviscence, Tulving, 1983). Néanmoins, ces détails sensoriels seraient des réactivations *a posteriori* d'éléments associés au souvenir, mais non le souvenir lui-même (Tulving, 1972, 1995).

Une vision de la mémoire en termes de programme de recherche implique que l'approche incarnée et située de la cognition prenne appui sur un tout autre *noyau dur* et conduit à repenser le rôle de la perception dans la cognition. En effet, l'approche incarnée et située de la cognition propose, d'une part, que les représentations à l'origine du fonctionnement cognitif sont contraintes par la situation (cognition située) et, d'autre part, que ces mêmes représentations

demeurent ancrées (cognition incarnée) dans leurs composants sensorimoteurs constitutifs (Barsalou *et al.*, 2003). Cet ancrage s'explique par les interactions produites entre le corps et l'environnement qui s'effectuent nécessairement par les sens et la motricité. Plus précisément, les représentations ne seraient pas stockées puis récupérées en mémoire, mais elles émergeraient de la simulation qui se produit sur des unités plus élémentaires sensorimotrices qui, ensemble, constituent des traces de nature sensorimotrice. Une trace correspondrait à un pattern d'activations cérébrales signant un événement particulier. La simulation correspondrait quant à elle, à la recreation automatique et nécessaire des activités cérébrales des systèmes perceptifs et moteurs (voire émotionnels), générées lors des expériences passées (Barsalou, 2008 ; Barsalou *et al.*, 2003). Autrement dit, la simulation peut être définie comme la ré-activation des composants sensorimoteurs d'une ou plusieurs traces. Une telle vision de la mémoire se distingue principalement de l'approche computo-symbolique par la prédiction selon laquelle les connaissances générales sur le monde ne sont pas amodales. Au contraire, elles resteraient ancrées dans leurs composants sensorimoteurs d'origine (pas de transformation du code de l'information). À ce titre, les études qui font état d'un ancrage de ce type de connaissances constituent sans doute l'un des arguments les plus forts pour soutenir la vision incarnée de la mémoire.

II.2 - L'ancrage sensorimoteur des connaissances générales sur le monde

Plusieurs types de résultats sont compatibles avec l'hypothèse d'un ancrage sensorimoteur des connaissances générales sur le monde. Tout d'abord, différents travaux de neuro-imagerie rapportent une même activation cérébrale lorsqu'il est demandé à un participant d'effectuer un simple traitement perceptif (visuel, auditif, gustatif, etc.) que celle observée lorsque ce même participant traite un concept fortement associé à des informations de la même modalité sensorielle (e.g., olfaction et images d'aliments ; Simmons, Martin, & Barsalou, 2005). Ces

travaux suggèrent une association des sens aux concepts, mais ne permettent pas de tester directement l'ancrage des connaissances. En effet, et bien que ces données soient compatibles avec l'hypothèse selon laquelle les concepts soient ancrés dans les composants sensoriels et émergent de la simulation sensorimotrice, elles le sont également avec l'hypothèse computo-symbolique selon laquelle les concepts sont amodaux. Ces résultats pourraient alors s'expliquer par une simple cascade d'activation des systèmes perceptifs vers le système sémantique (Mahon & Caramazza, 2008). Autrement dit, ces travaux ne permettent pas de dissocier un simple épiphénomène de celui d'un rôle causal des systèmes perceptifs dans le traitement des concepts. Une manière plus convaincante de soutenir l'hypothèse selon laquelle les systèmes perceptifs (et moteurs) jouent un rôle causal dans le traitement des concepts consiste à tester l'effet de la perturbation (ou la suppression) de ces systèmes avec le traitement des connaissances conceptuelles (Mahon & Caramazza, 2008).

Ce type d'argument par la perturbation des systèmes sensoriels a par exemple été fourni par Vallet, Brunel, et Versace (2010). Dans une première phase, les participants devaient catégoriser des sons comme correspondant à des sons d'animaux (e.g., aboiement, hullement) ou d'objets (e.g., son de piano, klaxon). La moitié des sons était présentée en même temps qu'un masque visuel (image abstraite comme la mire d'une télévision) connu pour perturber les traitements visuels, tandis que l'autre moitié était présentée sans ce masque (Figure 1). L'hypothèse était que si les concepts sont ancrés dans les composants sensorimoteurs, alors l'écoute du son (e.g., aboiement) devait automatiquement activer l'image correspondante (chien). Dans ce cas, le masque devait perturber l'activation visuelle (simulation équivalente à la perception) lors de l'écoute d'un son et donc perturber l'activation du concept, puisque l'accès aux propriétés sensorielles est défini comme étant nécessaire pour accéder à cette connaissance (ancrage sensoriel du concept de chien). À l'inverse, l'approche computo-symbolique prédit que le

masque ne devrait pas perturber le traitement de l'amorce, car le son devrait activer la représentation amodale dont les composants sensorimoteurs ne sont pas constitutifs du concept. L'activation du concept devrait suffire à activer de manière descendante (« top-down ») la représentation visuelle associée. Lors de la deuxième phase, les participants devaient réaliser la même tâche de catégorisation en vivant/non-vivant, mais cette fois sur des photographies d'animaux et d'objets. Un tiers de ces images correspondait à des stimuli dont le son associé n'avait pas été présenté en première phase, un tiers dont le son associé avait été présenté avec le masque en première phase. Le dernier tiers des images présentées avait été associé aux sons présentés sans masque. Les résultats ont montré un effet d'amorçage (temps de réaction plus court) pour catégoriser les images amorcées par le son en première phase par rapport à des images « nouvelles » (aucun son n'était associé en première phase.). Ce résultat est tout à fait habituel et attendu. En revanche, cette facilitation ne survenait que dans la condition non-masquée. L'interprétation était que le masque aurait perturbé l'activation (simulation) visuelle de la forme prototypique associée au son. Selon l'approche incarnée et située de la cognition, cette activation est automatique et nécessite de simuler cette forme dans les mêmes aires que celles de la vision. Ainsi, le fait de devoir traiter visuellement le masque en entendant le son n'a pas permis cette simulation, les aires visuelles étant « occupées » par le traitement du masque. Le masque aurait ainsi interféré avec l'effet d'amorçage. Il est important de noter qu'une seconde expérience a rapporté des résultats similaires à partir d'une amorce visuelle et un masque auditif sur une cible auditive. L'observation selon laquelle des résultats similaires étaient obtenus avec une variation de la modalité sensorielle permet donc une certaine forme de généralisation de ce type de mécanisme (voir aussi Dabic, Rey, Navarro & Versace, 2016 ; Rey, Riou, Cherdieu, & Versace, 2014). De plus, d'autres résultats ont permis d'exclure l'hypothèse selon laquelle l'effet d'interférence du masque observée dans ces expériences s'expliquerait par une réduction de

l'attention portée à l'amorce plutôt que par une perturbation de la simulation (Vallet, Simard, Versace & Mazza, 2013).

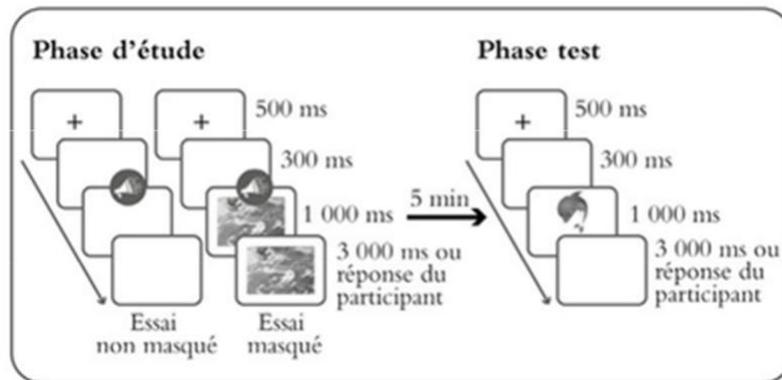


Figure 1

Illustration de la procédure utilisée par Vallet, Brunel & Versace (2010).

En somme, les résultats de neuro-imagerie et comportementaux suggèrent que les composants sensoriels sont fortement impliqués dans le fonctionnement cognitif – y compris dans les connaissances générales sur le monde (connaissances sémantiques). Cet ancrage sensoriel des connaissances implique que les connaissances en mémoire émergeraient bien de la simulation de la perception, ou *a minima*, qu'elles s'appuieraient sur des unités de traitement sensoriel. En effet, l'observation selon laquelle la perturbation des traitements sensoriels dégrade le traitement des connaissances sémantiques tend à montrer que la perception joue un rôle de nature causale dans le traitement des concepts (*i.e.*, unités sensorielles constitutives des concepts). À ce titre, une *hypothèse auxiliaire* serait que si la perception et la mémoire partagent des unités de traitement et que les connaissances en mémoire émergent de la simulation de ces unités communes, alors la mémoire et la perception devraient être fonctionnellement équivalentes (e.g., Rey *et al.*, 2015 ; Rey, Riou, Vallet & Versace, 2017). Par principe d'économie, ces fonctions devraient s'appuyer sur les mêmes composants sensorimoteurs et la distinction perception/mémoire devient alors simplement une question de composants présents (perception) ou simulés (mémoire).

II.3 - L'équivalence fonctionnelle de la perception et la mémoire

L'hypothèse d'une équivalence fonctionnelle repose sur l'idée que la perception ne précède pas la mémoire (en opposition à l'aspect séquentiel de l'approche computo-symbolique), mais plutôt que la perception et la mémoire partagent les mêmes processus et ressources, voire les mêmes unités de traitement. Appliquée à la notion de programme de recherche, cette vision permet la formulation d'*hypothèses auxiliaires* selon lesquelles les manipulations expérimentales qui affectent les tâches perceptives devraient également impacter les tâches mnésiques. En effet, une équivalence fonctionnelle entre mémoire et perception ne suppose pas seulement que la mémoire doit prendre appui sur des unités des traitements sensoriels, mais aussi que la perception devrait dépendre des connaissances en mémoire. Cette hypothèse a été testée par Rey *et al.* (2015) à partir de l'illusion d'optique d'Ebbinghaus. Cette illusion correspond à l'observation selon laquelle un disque de référence entouré d'autres disques (inducteurs) de petite taille est perçu comme étant plus grand qu'un disque de même taille entouré d'inducteurs de grande taille (Figure 2).

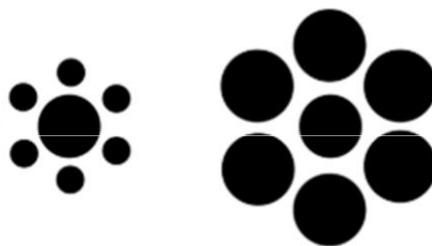


Figure 2

Illustration de l'illusion d'Ebbinghaus.

Les inducteurs correspondent aux six cercles entourant le cercle central

L'illusion d'Ebbinghaus correspond donc à un biais de jugement perceptif. Les auteurs ont émis l'hypothèse suivante : si la perception et la mémoire sont fonctionnellement équivalentes, alors une taille des inducteurs induite par la mémoire (*i.e.*, réactivée en mémoire) devrait produire le

même biais perceptif que la perception effective d'inducteurs (Rey *et al.*, 2015). L'expérience menée était divisée en plusieurs phases. Une première phase permettait de réaliser une association entre une couleur et une taille. Un nombre important de présentations successives permettait d'associer par exemple un disque rouge à une grande taille et un disque bleu à une petite taille. Dans une seconde phase, les inducteurs présentés gardaient la même taille perceptive que la référence, mais ils pouvaient être rouges ou bleus. La couleur devait ainsi réactiver la petite ou grande taille des inducteurs en mémoire. Les résultats ont montré que le biais de jugement perceptif était reproduit, alors même que la taille des inducteurs n'était pas perceptivement manipulée durant la seconde phase. Des résultats similaires de l'influence de propriétés réactivées en mémoire ont pu être observés dans d'autres tâches perceptives comme celle de la recherche visuelle (Riou, Lesourd, Brunel & Versace, 2011).

Les résultats présentés suggèrent d'une part que les connaissances en mémoire émergent de la simulation de composants en partie sensoriels (ancrage des connaissances). D'autre part, ils mettent en évidence que les connaissances en mémoire influencent les traitements perceptifs. Le caractère bidirectionnel de ces interactions est compatible avec une conception d'équivalence fonctionnelle de la mémoire et de la perception. Toutefois, la démonstration de cette équivalence est difficile à établir. Les résultats montrant que la perturbation des unités de traitement perceptif interfère avec les processus mnésiques (e.g., Vallet *et al.*, 2010) fournissent des arguments forts en ce sens. L'hypothèse d'une équivalence fonctionnelle se distingue de celle d'une vision en termes d'interaction réciproque de nature top-down et bottom-up, par le fait que les interactions entre mémoire et perception sont supposées être le reflet d'un partage d'unités de traitement plutôt que d'unités de traitement séparées en interactions réciproques. Afin d'évaluer si ces interactions sont le reflet d'un partage des unités de traitement perceptives et mnésiques ou de

systèmes séparés, il apparaît alors nécessaire de déterminer les structures qui sous-tendent ces interactions.

II.4 - Les unités de traitement perceptivo-mnésique

De façon cohérente avec le principe modulaire de la cognition, *noyau dur* de l'approche computo-symbolique, il a longtemps été admis que le cerveau comprenait des systèmes dédiés à la mémoire au sein du lobe temporal médian (e.g., Squire & Zola-Morgan, 1991), anatomiquement distinct des représentations perceptives (Schacter & Tulving, 1994) au sein des régions postérieures. Par exemple, l'hippocampe supporterait la mémoire contextualisée (mémoire épisodique et spatiale), tandis que le cortex périrhinal supporterait la mémoire décontextualisée (mémoire sémantique et reconnaissance basée sur la familiarité, e.g., Squire & Zola-Morgan, 1991 ; Squire, Stark & Clark, 2004). Les arguments les plus convaincants à l'appui de la modularité des fonctions sont probablement les observations de doubles dissociations auprès de patients souffrant de lésions cérébrales. Le principe de la double dissociation repose sur le fait qu'un patient peut présenter une atteinte d'une *fonction A* sans atteinte d'une *fonction B* et inversement chez un autre patient. De telles observations ont été rapportées dans les domaines de la perception et la mémoire (e.g., Bartolomeo *et al.*, 1997 ; Shuren *et al.*, 1996). Toutefois, la conclusion selon laquelle les doubles dissociations constituent des preuves de modules dissociés ont fortement été remise en cause (e.g., Chater, 2003 ; Dunn, 2003 ; Dunn & Kirsner, 2003). Ainsi, il a été proposé que le fonctionnement cognitif pourrait être mieux appréhendé à travers l'étude de ses mécanismes neurocognitifs plutôt que ses structures (e.g., Versace, Nevers, & Padovan, 2002 ; Versace *et al.*, 2009 ; Kent, Hvoslef-Eide, Saksida & Bussey, 2016 ; Saksida & Bussey, 2010 ; Graham *et al.*, 2010).

En suivant cette approche fonctionnelle, il semblerait que le lobe temporal médian sous-tende les traitements de conjonction de nature perceptive et mnésique plutôt que les processus mnésiques, seuls, traitant ainsi les signaux afférents des régions postérieures. En effet, les conjonctions au sein du lobe temporal médian réduisaient non seulement l'interférence visuelle des « souvenirs » (contenu mnésique), mais éliminaient également l'ambiguïté perceptive de stimuli visuellement similaires dans des tâches non-mnésiques (e.g., Murray & Bussey, 1999 ; Saksida & Bussey, 2010 ; Graham, Barense & Lee, 2010 ; Nadel & Peterson, 2013). Par exemple, le cortex perirhinal était impliqué dans le traitement d'objets perceptifs complexes (Barense, Gaffan & Graham, 2007 ; Buckley, Booth, Rolls & Gaffan, 2001 ; Bussey, Saksida & Murray, 2002), ainsi que dans les erreurs mnésiques pour des objets similaires (e.g., Burke *et al.*, 2010 ; McTighe *et al.*, 2010). De même, l'hippocampe sous-tendrait les traitements de conjonction d'informations spatiales complexes dans la mémoire (Girardeau *et al.*, 2009), mais aussi les traitements de conjonction impliqués dans des tâches présumées non-mnésiques (voir Lee, Yeung, & Barense, 2012 pour une revue). Les représentations, qu'elles soient impliquées dans des tâches mnésiques ou perceptives, seraient donc largement distribuées dans le cerveau et traitées à partir d'unités communes, à travers des conjonctions de plus en plus complexes, le long de la voie ventrale (des régions postérieures jusqu'au sein de l'hippocampe, voir le modèle hiérarchique représentationnel ; Murray & Bussey, 1999 ; Saksida & Bussey, 2010). À ce titre, et en accord avec une vision en termes d'équivalence fonctionnelle entre la mémoire et la perception, une vision non-modulaire de ces fonctions semble davantage en accord avec le principe de parcimonie (voir par exemple, Kent *et al.*, 2016 ; Saksida & Bussey, 2010 ; Graham *et al.*, 2010).

Ces données issues du champ de la neurophysiologie suggèrent que les régions unimodales et hétéromodales pourraient constituer des unités de traitement communes à la mémoire et la

perception. Ces observations sont compatibles avec les données provenant des expériences comportementales utilisant des paradigmes de masquage. En effet, les travaux portant sur les effets de masquage supposent généralement une interférence avec la simulation sensorielle qui se produit au niveau des traitements sous-tendus par les aires cérébrales sensorielles (e.g., Vallet *et al.*, 2013 ; Versace *et al.*, 2009 ; 2014 ; Barsalou, 2008). L'hypothèse usuelle étant que le masque produit des afférences sensorielles qui devront être traitées par ces aires cérébrales sensorielles (e.g., visuelle). Le traitement de ces afférences engendrerait alors des interférences avec la simulation sensorimotrice qui se produirait au sein de ces mêmes aires cérébrales. Néanmoins, et puisque les traitements perceptifs opèrent à de nombreux niveaux, des organes sensoriels jusqu'aux aires les plus intégratives du cerveau, la question du niveau de l'ancrage, et par extension de la simulation modale, reste posée. Autrement dit, est-ce que la simulation sensorielle qui sous-tend l'émergence des connaissances en mémoire est restreinte aux aires sensorielles, ou est-ce qu'elle se produit sur l'ensemble du corps (des organes jusqu'aux aires sensorielles) ? L'hypothèse d'une équivalence fonctionnelle entre la mémoire et la perception ne semble pas s'opposer *a priori* à l'idée d'un partage d'unités de traitement se produisant jusqu'au niveau des organes sensoriels³. Peu d'études semblent avoir abordé cette question (mais voir Wynn, Shen, & Ryan, 2019 ; Wynn, Ame & Schacter, 2020 pour une revue sur l'implication des mouvements oculaires dans les processus mnésiques de récupération), et il semble donc difficile d'affirmer un partage des unités de traitement aux niveaux les plus précoces de la perception. Il est toutefois possible de mentionner une étude récente qui a rapporté des données corrélationnelles entre le fonctionnement mnésique à court terme et le comportement de dilatation de la pupille (Zokaei, Board, Manohar & Nobre, 2019).

³ Il est important de noter qu'un partage total des unités de traitements semble peu probable. En effet, cela poserait la question de la différenciation de l'expérience de la perception avec celle de la mémoire. Si l'intégralité des unités de traitement de ces fonctions est partagée, comment le système cognitif pourrait différencier une perception de l'activation en mémoire d'une connaissance qui s'apparente à la ré-activation de cette même perception ?

Dans plusieurs expériences, les participants devaient maintenir en mémoire de travail (mémoire de l'ordre de quelques secondes) l'orientation d'une grille lumineuse ou sombre. L'une des grilles était présentée à gauche et l'autre à droite. Un signal auditif indiquait ensuite au participant la grille (gauche ou droite) pour laquelle il devait rappeler (et donc maintenir en mémoire) l'orientation. Les résultats ont tout d'abord montré que l'observation et le maintien en mémoire de la grille sombre étaient associés à une dilatation de la pupille plus élevée que pour le maintien de la grille lumineuse. De plus, les participants obtenaient de meilleures performances de mémoire lorsque le taux de dilation de la pupille était compatible avec la luminosité de la grille (e.g., forte dilation et grille sombre), alors même que l'écran de présentation n'affichait plus les grilles au moment du rappel. Autrement dit, un rappel correct de l'orientation de la grille était associé à une dilatation de la pupille, durant l'intervalle de rétention de la grille, équivalente à celle observée pour traiter l'orientation de la grille à mémoriser. Ces résultats sont préliminaires et de nature corrélationnels⁴. À ce titre, d'autres recherches plus approfondies sont nécessaires pour déterminer les mécanismes à l'origine de ces effets (Zokaei *et al.*, 2019). Toutefois, ces données suggèrent que la mémoire pourrait inclure l'état pupillaire. Les traces sensorielles en jeu dans l'émergence des connaissances en mémoire pourraient alors s'étendre aux organes externes et ne pas être circonscrites aux régions unimodales et hétéromodales du cerveau. À ce titre, la simulation pourrait impliquer la recréation de l'état des organes perceptifs lors de l'expérience d'origine vécue – telle que

⁴ L'absence de manipulation directe du facteur d'intérêt dans l'approche corrélacionnelle (simple mesure de l'association entre des variables) ne permet généralement pas de déterminer les mécanismes en jeu qui sous-tendent les résultats et ne permet donc pas de déterminer un lien de cause à effet d'un facteur sur un autre. Trois types de causalités sont possibles, 1) le facteur x cause le facteur y, 2) le facteur y cause le facteur x, 3) un facteur tiers envisagé (ou non) cause à la fois les facteurs x et y. Il faut de plus noter que l'application de ce type d'approche à un nombre important de facteurs peut induire des corrélations significatives issues du simple hasard. Mais voir également les critères de Bradford Hill (non-applicables à l'étude citée) pour une méthode permettant de déterminer un lien de cause à effet à partir de l'association statistique (Hill, 1965).

l'état pupillaire pour la vision dans cet exemple. En accord avec une approche énaactive, la cognition pourrait émerger du couplage sensorimoteur entre l'individu et son environnement.

L'approche incarnée et située de la cognition conduit à repenser le rôle de la perception dans la mémoire, qui sont alors conçues comme fonctionnellement équivalentes. À ce titre, les connaissances en mémoire émergeraient de la simulation des composants sensorimoteurs des traces mnésiques. Cette conception de la mémoire et ses *hypothèses auxiliaires* permettent d'affiner encore davantage les questions de recherche et soulève deux questions principales.

1) Quels sont les niveaux de traitements dans lesquels la simulation se produit ? 2) Quelle est la dynamique de la simulation en fonction du type de connaissance à faire émerger ? Alors que les niveaux de traitements dans lesquels la simulation peut se produire restent insuffisamment étudiés et nécessitent de plus amples investigations, de récentes propositions de modélisations abordent la question de la dynamique de simulation en fonction du type de connaissance à faire émerger.

III- LE RÔLE DE LA PERCEPTION DANS LES MÉCANISMES D'ÉMERGENCE DES CONNAISSANCES

Prenant appui sur le mécanisme de simulation sensorimotrice, le modèle à traces multiples Act-In (Activation-Integration ; Versace *et al.*, 2009, 2014) propose d'expliquer les différentes formes de connaissances selon la dynamique de la simulation des expériences sensorimotrices (Figure 3; Versace, dans ce même numéro). Ainsi, lors d'une situation donnée, par exemple lorsque vous buvez un café, le cerveau va traiter les divers composants sensorimoteurs (aspect visuel, tactile, olfactif, etc.) de la situation. Ce traitement n'est pas seulement dépendant des informations perceptuellement présentes, puisque le système cognitif est supposé réactiver en mémoire toutes les traces comprenant des composants similaires. L'interaction entre la situation

présente et les connaissances antérieures activées va produire une nouvelle trace mnésique correspondant au pattern d'activation cérébrale. De plus, les différents composants sont supposés être intégrés ensemble au sein de la trace à travers un mécanisme d'intégration multimodale. La propagation de l'activation à d'autres événements plus ou moins similaires est appelée « activation inter-traces ». Ainsi, la vue d'une tasse de café, par exemple, va réactiver les traces visuelles antérieures des expériences avec une tasse de café (e.g., dans des bars, chez des amis, au restaurant). Cette propagation de l'activation doit permettre la reconnaissance de l'objet « tasse ». En effet, la capacité du système cognitif à simuler un grand nombre de traces permettrait d'extraire les caractéristiques essentielles du concept (une tasse est plutôt petite avec une anse et sert à boire principalement du café, cf. modèle MINERVA 2, Hintzman, 1986). Parallèlement, une seconde activation dite « intra-trace » va activer les composants reliés, mais non nécessairement présents de ces traces. Cette activation est permise par le mécanisme d'intégration multimodale. La vue de la tasse pourrait ainsi induire l'activation du bruit de la porcelaine, la sensation de fraîcheur au bout des doigts ou de chaleur dans la bouche. Plus les composants réactivés sont spécifiques et restreints à un petit nombre de traces, plus la connaissance qui va émerger sera « spécifique », c'est-à-dire restreinte à un événement donné (e.g., « je me rappelle avoir bu un café trop chaud ce matin et m'être brûlé la langue »). Inversement, plus les composants réactivés sont non-spécifiques et l'activation inter-traces importante, plus la connaissance qui va émerger sera « catégorielle », c'est-à-dire formant une synthèse d'événements (e.g., « je bois généralement un café le matin »). Autrement dit, une connaissance ne serait pas stockée et figée, mais à l'inverse, elle émergerait de la simulation des composants sensorimoteurs constitutifs de celle-ci (ancrage des connaissances) en fonction des contraintes de la situation (y compris les buts de l'individu, son état corporel, etc.). Cela implique que les connaissances n'existent pas *per se*, mais plutôt qu'elles dépendent du contexte dans lequel elles émergent. L'eau, par exemple, n'aurait aucune existence en tant que telle. Elle

correspondrait à quelque chose qui permet de m'hydrater si je suis déshydraté, alors qu'elle représenterait un moyen de nettoyer une tâche si je renverse du café sur ma chemise. Bien que les connaissances spécifiques et non-spécifiques seraient toutes deux constituées de composants sensoriels, la spécificité sensorielle de ces deux formes de connaissances différencierait. L'émergence de connaissances spécifiques nécessiterait ainsi de limiter la propagation de l'activation à d'autres traces. Puisque les connaissances sont définies comme ancrées dans leurs propriétés sensorielles (et motrices), la spécificité de l'activation devrait non seulement dépendre du nombre de composants, mais aussi de la « résolution » sensorielle des composants de la trace. Il est plus facile de se rappeler spécifiquement d'une tasse si celle-ci produit un son différent et/ou si celle-ci nous apparaît très clairement à l'esprit, dans ses moindres détails et défauts (petite fissure, décoloration de l'anse, etc.). Autrement dit, un grand nombre de composants associés à une résolution sensorielle élevée permettrait de réduire le chevauchement des traces similaires qui pourraient interférer avec la spécificité du souvenir (Surprenant, Neath, & Brown, 2006 ; Surprenant & Neath, 2009 ; Ekstrom & Yonelinas, 2020 ; Vallet, 2015 ; Kent *et al.*, 2016) en limitant l'activation inter-traces. Inversement, les connaissances non-spécifiques seraient formées de patterns généraux et émergeraient à partir de l'activation de traces similaires (activation inter-traces) notamment sur les composants sensoriels. À ce titre, elles ne devraient pas nécessiter une résolution sensorielle élevée des traces. Si tel est le cas, alors un déclin sensoriel devrait produire des conséquences mnésiques délétères différentes en fonction du type de connaissances à faire émerger selon les besoins de la tâche mnésique.

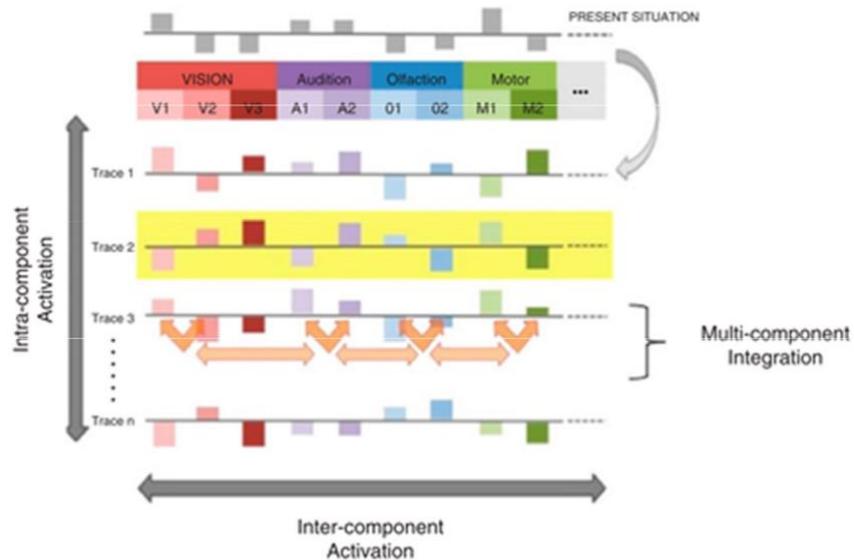


Figure 3

Illustration du modèle Act-In (Versace *et al.*, 2014). Les traces mnésiques sont représentées en lignes et les composants des traces en colonnes. Pour plus de précisions sur les légendes voir Versace *et al.*, (2014).

Très peu d'études semblent avoir testé l'effet d'une altération expérimentale du fonctionnement sensoriel sur le fonctionnement mnésique, qu'il s'agisse d'une manipulation au niveau de l'entrée sensorielle (*i.e.*, traitement de bas niveau au sein des organes sensoriels) ou au niveau des traitements plus centraux (e.g., à travers un masquage sensoriel). Les données disponibles semblent principalement avoir étudié l'effet du masquage sur des tâches catégorielles et rapportent généralement un ralentissement des traitements lorsque la tâche à effectuer implique fortement la simulation du composant masqué (e.g., Vallet *et al.*, 2013). Les données concernant des connaissances spécifiques sont encore plus rares. Le modèle Act-In permet néanmoins d'envisager plusieurs prédictions. Premièrement, les effets de masquage dans des tâches portant sur des connaissances spécifiques devraient être plus délétères que celles portant sur des connaissances non-spécifiques en raison d'une forte implication de la résolution pour les tâches spécifiques (Ekstrom & Yonelinas, 2020 ; Vallet, 2015). Deuxièmement, les effets d'une dégradation sensorielle (périphérique ou centrale) devraient dépendre du nombre de composants impliqués dans la trace. En effet, lorsque le nombre de composants de la trace est faible, dégrader un de ces composants devrait être d'autant plus

délétère pour la spécificité de la trace (moins de composants pouvant « compenser » cette dégradation). Troisièmement, et de façon similaire, l'effet de la dégradation sensorielle devrait être plus important lorsque le système comprend des traces plus nombreuses et fortement similaires sur le composant masqué que lorsque les traces sont moins nombreuses et distinctes, car la similarité perturbe la spécificité (Brunel *et al.*, 2013). Quatrièmement, on pourrait s'attendre à ce que cette interaction entre la dégradation sensorielle et la similarité soit d'autant plus importante pour une dégradation de type périphérique plutôt que central. Autrement dit, les effets de dégradation sensorielle périphérique au niveau des organes pourraient se produire, seulement pour les niveaux de similarité les plus élevés, alors qu'un effet de dégradation des traitements centraux pourrait se retrouver à des niveaux de similarité plus faible. En effet, en cas de dégradation périphérique, des mécanismes de compensation sont toujours efficaces au sein des aires sensorielles et peuvent permettre un encodage spécifique à partir d'une plus forte intégration (voir le principe d'efficacité inverse ; Stein & Meredith, 1993 ; de Dieuleveult, Siemonsma, van Erp & Brouwer, 2017).

Des données récoltées récemment au sein de notre équipe semblent corroborer ces hypothèses (Mille *et al.*, en révision). L'objectif des participants était de mémoriser et reproduire des séquences spatiales dans une matrice de deux par deux composées de photographies d'animaux ou d'objets (Figure 4). Une photographie s'agrandissait afin de désigner la case à mémoriser, suivi d'une ou plusieurs autres photographies qui s'agrandissaient à leur tour au sein de la matrice constituant une séquence de longueur N. Enfin, le participant devait appuyer à son tour sur les photographies pour reproduire la séquence dans le bon ordre. Lorsque le participant répondait correctement, une nouvelle séquence avec un nouvel ordre de longueur N+1 était proposée. En cas d'échec, une nouvelle séquence de même longueur était présentée (ou de longueur N - 1 dans le cas où aucune séquence n'avait été correctement reproduite). Les

performances de mémoire correspondaient alors à la plus grande longueur de séquences correctement reproduites par le participant. Cette plus grande longueur correspondait à la longueur d'au moins une séquence correctement reproduite, suivie de deux erreurs successives (principe similaire aux tâches dites d'empan). La tâche était déclinée selon plusieurs types de présentation (Figure 4). Premièrement, l'agrandissement des photographies pouvait être associé ou non à la présentation d'un son de piano (condition de « son tonal »), d'un son sémantiquement associé (par exemple image de chat et son de miaulement, condition dite « son congruent ») ou à aucun son. Deuxièmement, les photographies présentées dans la matrice pouvaient être en noir et blanc (condition de faible distinctivité visuelle) ou en couleur (condition de forte distinctivité visuelle). Enfin, la tâche pouvait être réalisée sous une condition de vision dégradée (port des lunettes induisant un flou visuel) ou de vision non-dégradée. L'hypothèse était que la dégradation de l'information visuelle (port de lunettes induisant un flou important comme pour une cataracte avancée) devait réduire les performances de mémoire, mais seulement dans la condition où les traces étaient les plus similaires, c'est-à-dire lorsque l'information était la moins distincte (*i.e.*, images en noir et blanc sans aucun son présenté). Les résultats ont confirmé cette hypothèse en montrant un effet de dégradation visuelle perturbateur sur la longueur des séquences reproduites par le participant dans la condition la moins spécifique. Autrement dit, la longueur des séquences reproduites par le participant était significativement plus courte lorsque la vue était dégradée, mais seulement en présentation noir et blanc et lorsqu'aucun son n'était associé aux images.

Ces données corroborent l'hypothèse d'un effet délétère de la similarité sensorielle des traces pour des tâches de mémoire spécifique. Ce résultat est compatible avec l'hypothèse selon laquelle la réduction de l'efficacité sensorielle accentuerait la similarité des traces. Toutefois, d'autres études sont nécessaires pour évaluer la généralisation de ce type d'effet, mais aussi pour

tester les effets de masquage sensoriel afin de mieux comprendre l'effet de la dégradation sensorielle dans des tâches de mémoire spécifique.

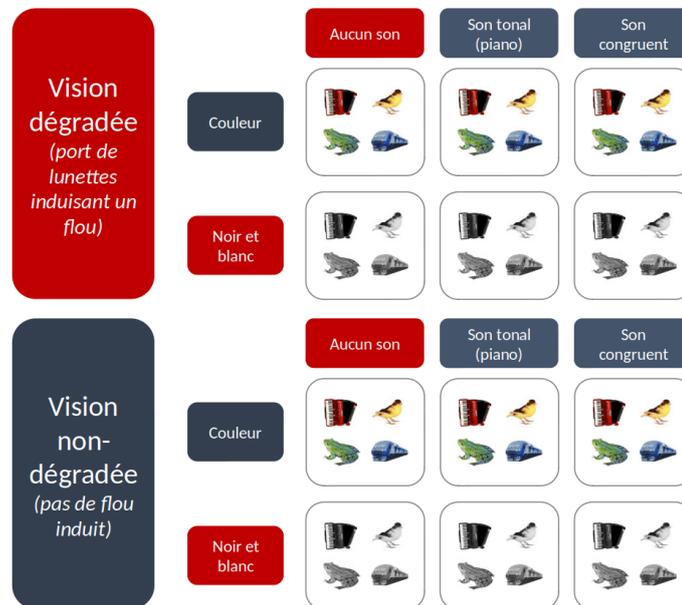


Figure 4

Illustration des différentes conditions expérimentales utilisées par Mille *et al.*, (en révision). En rouge, les conditions les moins distinctes (moins spécifiques) dans chacune des variables manipulées.

Les données disponibles sur l'effet de la dégradation sensorielle en fonction de la spécificité des traces sont compatibles avec les hypothèses qui découlent du modèle Act-In. À ce titre, le déplacement des questions de recherche par le programme de la cognition incarnée et située vers des *hypothèses auxiliaires* basées sur la notion d'équivalence fonctionnelle entre mémoire et perception semble fécond pour les études réalisées chez l'adulte jeune. Toutefois, de telles hypothèses seraient particulièrement centrales dans l'étude du vieillissement, car celui-ci se caractérise par un déclin sensoriel et mnésique conjoint. En effet, les personnes âgées (60 ans et plus selon l'Organisation Mondiale de la Santé – OMS) présentent un déclin sensoriel à de nombreux niveaux de traitement sensoriel qui est associé à des difficultés cognitives, notamment mnésiques (pour une revue sur les arguments empiriques et d'autres interprétations de ces

résultats, Roberts & Allen, 2016). Ainsi, la population des adultes âgés devrait constituer un modèle expérimental particulièrement adéquat pour étudier ces relations entre processus perceptifs et mnésiques (Vallet, 2015).

IV – L’INTERDÉPENDANCE DES FONCTIONNEMENTS PERCEPTIFS ET MNÉSQUES CHEZ L’ADULTE ÂGÉ

Le vieillissement biologique – appelé sénescence – affecte l’ensemble des organes du corps humain, dont ceux moteurs et sensoriels (Loeffler, Raab & Cañal-Bruland, 2016). Les systèmes vestibulaires et somatosensoriels sont touchés, tout comme la marche ou la production d’actions qui deviennent plus difficiles avec l’avancée en âge (Paraskevoudi, Balci & Vatakis, 2018). Concernant plus spécifiquement les sens, il existerait un déficit sensoriel global à tous les niveaux du traitement chez les personnes âgées, allant des organes perceptifs (Correia *et al.*, 2016), en passant par des seuils perceptifs ⁵plus élevés (e.g., Fozard & Gordon-Salant, 2001), jusqu’à la transmission de l’information issue de ces organes vers le cerveau (Ulfhake, Bergman, & Fundin, 2002) et des traitements de ce dernier (Davis *et al.*, 2008). Une conception incarnée de ces atteintes suggère qu’elles aient des conséquences cognitives, notamment mnésiques.

En raison du faible rôle de la résolution sensorielle pour les connaissances catégorielles (*i.e.*, non-spécifiques), ces effets délétères devraient toutefois principalement se manifester dans des tâches nécessitant de faire émerger des connaissances spécifiques. Conformément à cette hypothèse, et tel que prédit par le modèle Act-In, les composantes catégorielles de la mémoire telles que la plupart des aspects du langage ou de la mémoire sémantique semblent globalement préservés (Glisky, 2007). De façon cohérente avec l’hypothèse d’une émergence moins

⁵ Le seuil perceptif correspond à la stimulation minimum qui permet la perception.

spécifique des connaissances, une analyse plus qualitative montre toutefois que les adultes âgés produisent des connaissances sémantiques plus catégorielles (e.g., *chat*) et moins uniques (e.g., *œstridés*) (Murphy & Castel, 2020). Concernant, les connaissances spécifiques, les adultes âgés présentent des difficultés pour les tâches de rappel libre (Danckert & Craik, 2013), c'est-à-dire le rappel par soi-même d'un souvenir ou d'une liste d'items (e.g., liste de mots) sans indice fourni par l'expérimentateur. Les difficultés des adultes âgés semblent également marquées pour les tâches associatives qui nécessitent de rappeler des associations (e.g., visages et lieux) et d'autant plus lorsque l'information est spécifique (Greene & Naveh-Benjamin, 2020), c'est-à-dire lorsque le niveau de détails et de précision demandé est important. Ainsi, les déficits dans des tâches de mémoire associative rapportés dans le vieillissement (Naveh-Benjamin, 2000 ; Old & Naveh-Benjamin, 2008) pourraient s'expliquer par le fait que le rappel d'une association nécessite l'accès à des détails plus importants que celui de l'item seul (Greene & Naveh-Benjamin, 2020). L'observation selon laquelle les connaissances sémantiques sont moins spécifiques avec l'avancée en âge (Murphy & Castel, 2020) et émergent des composants sensoriels (Vallet, Simard & Versace, 2011 ; Vallet *et al.*, 2013) suggère par ailleurs que cette hypothèse pourrait également rendre compte des résultats qui font état d'un déficit associatif des adultes âgés dans des tâches de nature sémantique (e.g., Naveh-Benjamin, Hussain, Guez, & Bar-On, 2003).

Ces données suggèrent un rôle essentiel de la spécificité, notamment visuelle. Ainsi, les adultes âgés produisent par exemple davantage d'erreurs de mémoire lorsque les items sont perceptivement similaires plutôt que dissimilaires (e.g., Toner *et al.*, 2013 ; Boutet *et al.*, 2019), et ils rapportent également posséder des souvenirs moins vifs par rapport à de jeunes adultes (e.g., Piolino *et al.*, 2006). Une étude récente confirme également que les difficultés des adultes âgés pour les connaissances spécifiques semblent relever d'une réduction de la précision (*i.e.*,

résolution) des souvenirs (Korkki, Richter, Jeyarathnarajah & Simons, 2020). En effet, les adultes âgés présentaient des performances plus faibles que les jeunes adultes dans la précision du rappel, mais pas nécessairement dans le rappel *per se*. Les résultats de cette étude ont par ailleurs montré que la réduction de la précision des performances mnésiques ne pouvait pas intégralement s'expliquer par une chute des capacités sensorielles, telles que mesurées par des tests de bas-niveau (e.g., acuité visuelle).

Comme prédit par Act-In, les résultats de la littérature sont compatibles avec l'hypothèse selon laquelle les effets de dégradation sensorielle périphérique (*i.e.*, organe) réduiraient la spécificité des traces, mais seulement lorsque le matériel est hautement similaire. Par exemple, dans l'étude de Surprenant *et al.*, (2006), les auteurs ont demandé à des adultes jeunes et âgés d'effectuer un rappel sériel de stimuli auditifs « confus » (*i.e.*, faiblement distincts ; consonnes B, D, G, P, T et V) ou « non -confus » (*i.e.*, fortement distincts ; consonnes F, K, L, M, Q et R). De façon intéressante, les résultats ont montré que les capacités de rappel sériel des personnes âgées pour les items confus étaient associées à leur capacité auditive de bas niveau (mesure par audiomètre). La baisse de l'acuité auditive était donc liée à des difficultés en mémoire lorsque les stimuli étaient faiblement distincts perceptuellement chez les adultes âgés. De plus, les résultats de cette étude indiquent que les erreurs générées par les adultes âgés n'étaient pas aléatoires, mais qu'au contraire elles correspondaient aux stimuli auditivement similaires. Le chevauchement de l'information sensorielle de bas-niveau serait ainsi associé à une augmentation des interférences au niveau des traces mnésiques. Autrement dit, les traces sensorimotrices similaires rendraient plus difficile la simulation d'une trace sensorimotrice spécifique et conduiraient à des erreurs en raison de la confusion résultante de la similarité entre les traces.

Les résultats de la littérature montrent que toutes les tâches faisant intervenir des connaissances spécifiques ne semblent pas altérées. En effet, le rappel indicé, c'est-à-dire le rappel d'événements ou items (e.g., une liste de mots) en présence d'indices semble globalement bien préservé. Ces indices pourraient contraindre la simulation sensorimotrice vers des traces spécifiques et permettraient alors une bonne préservation des performances dans ce type de tâches (voir aussi l'hypothèse du support environnemental, Craik, 1983, 1986, 1990). Les difficultés rencontrées par les adultes âgés ne seraient donc pas simplement explicables par une altération d'un système de mémoire spécifique et cloisonné des autres (mémoire épisodique, telle que définie par l'approche *computo-symbolique*). Il semble plus adéquat de raisonner en termes de simulation des détails spécifiques (voir par exemple, Keresztes *et al.*, 2018), en particulier sensoriels. Les difficultés à réaliser une simulation en haute résolution seraient alors associées à de plus grandes interférences des traces similaires. Aussi, la réduction de la spécificité des souvenirs des adultes âgés relèverait d'une baisse du ratio signal sur bruit des traces sensorielles/mnésiques à travers un déclin de l'ensemble des niveaux de traitements sensoriels. Davantage de travaux seront nécessaires pour déterminer si l'implication des traitements de haut niveau est plus importante que celle de bas-niveau dans la baisse des performances mnésiques de type spécifique (Vallet, 2015).

Une lecture du vieillissement cognitif, en particulier mnésique, à travers l'approche incarnée et située de la cognition ouvre de nouvelles perspectives théoriques, mais elle permet également d'envisager de nouvelles pistes d'interventions cognitives. Ces dernières pourraient s'appuyer par exemple sur la « séparation des patterns ». Ce processus neurobiologique permet au cerveau de réduire les interférences entre les informations sensorielles peu distinctes afin de permettre une plus grande spécificité des traces mnésiques (pour une revue voir Leal & Yassa, 2018 ; voir aussi Kent *et al.*, 2016). À ce titre, ce mécanisme pourrait constituer l'un des mécanismes

centraux du vieillissement mnésique. L'approche incarnée et située de la cognition permet alors d'envisager les programmes de stimulation sous l'angle des mécanismes en jeu dans l'émergence des connaissances plutôt que de chercher à cibler des fonctions cognitives ou systèmes mnésiques préservés dans une optique palliative. Puisque le vieillissement cognitif pourrait se caractériser par un traitement plus générique et moins distinctif (Li, Lindenberg & Sikström, 2001 ; Koutstaal & Schacter, 1997 ; Smith, 2006), notamment à travers le déclin sensoriel (Surprenant *et al.*, 2006 ; Vallet, 2015) des régions modales et hétéromodales (Kent *et al.*, 2016 ; Leal & Yassa, 2018), il pourrait être pertinent d'entraîner les adultes âgés à traiter l'information de façon plus spécifique. Ainsi, ces programmes de stimulation pourraient prendre la forme de tâches dans lesquelles l'information perceptive serait de plus en plus similaire afin d'entraîner le système à repérer les différences et donc à générer (faire émerger) des traces plus distinctes les unes des autres. Ces tâches pourraient par exemple être de nature perceptive (e.g., repérer les différences entre deux images), ou bien de nature mnésique (e.g., rappeler des images de plus en plus similaires). Une autre piste pourrait être d'entraîner les adultes âgés à renforcer leur traitement spécifique à travers l'induction de spécificité épisodique (Madore *et al.*, 2014, 2019). En effet, de nombreuses études ont rapporté que cette induction pouvait améliorer le rappel de détails spécifique (e.g., Schacter & Madore, 2016) à travers la sollicitation du mécanisme de simulation sensorimotrice (Purkart, Vallet, & Versace, 2019), y compris chez des adultes âgés (e.g., Madore *et al.*, 2014).

CONCLUSION

L'approche incarnée et située de la cognition peut être définie à plusieurs niveaux. Un premier niveau basé sur la définition des hypothèses générales (incarnation, caractère situé de la cognition) et un second d'ordre épistémologique notamment basé sur une (re)définition de la notion de représentation du monde. Une conception socio-épistémologique de la cognition

incarnée et située suggère une définition à partir de la notion de programme de recherche qui étudie la cognition à travers la relation entre un corps et un environnement. Le critère d'efficacité de cette approche pourrait alors être défini à partir de la fécondité épistémique de l'approche. Le *noyau dur* de ce programme de recherche propose que la cognition soit contrainte par la situation, mais aussi qu'elle ne puisse être correctement comprise qu'à travers les spécificités d'un corps physique. À ce titre, les connaissances en mémoire deviennent inextricables des composants moteurs, mais aussi sensoriels comme le suggèrent les travaux rapportés dans ce texte. Ce *noyau dur* permet alors le développement et la mise à l'épreuve par l'expérimentation, des *hypothèses auxiliaires*, telles que celles qui prédisent des interactions directes et réciproques entre la mémoire et la perception. De nombreuses données expérimentales sont compatibles avec cette hypothèse et soutiennent l'idée d'une équivalence fonctionnelle entre mémoire et perception. Toutefois, de plus amples recherches sont nécessaires pour déterminer les niveaux des unités de traitement que les fonctions sensorielles et mnésiques partagent (des organes perceptifs jusqu'au cerveau). De récentes modélisations permettent de formuler des hypothèses plus précises sur les liens entre perception et mémoire. Par exemple, la relation entre la résolution sensorielle et la mémoire selon le type de connaissance à faire émerger. En revanche, la littérature semble contenir peu d'études évaluant ces prédictions et de plus amples investigations devront tester plus directement ces hypothèses. Ces prédictions apparaissent en accord avec le profil du vieillissement sensoriel et mnésique. Une conception du vieillissement mnésique en termes de réduction de la précision des connaissances spécifiques à travers le déclin de l'ensemble des traitements sensoriels s'avérerait particulièrement adéquate. À ce titre, le programme de recherche de la cognition incarnée et située ne montre pas le signe d'une dégénérescence des questions de recherche. Tout au contraire, les modèles incarnés semblent contenir un degré de fécondité épistémique à même d'orienter efficacement d'autres champs de recherche en sciences cognitives telle que la

stimulation cognitive chez l'adulte âgé. Ce programme de recherche figure actuellement comme étant des plus fructueux, en ce sens qu'il semble en mesure de ré-interpréter de façon satisfaisante certaines données issues de l'approche computo-symbolique tout en permettant également, voire surtout, d'envisager de nouvelles pistes de recherche⁶, dont un grand nombre ont fourni de nombreux résultats positifs (pour une revue, voir Barsalou, 2010).

REMERCIEMENTS

Jordan Mille, Valentin Magnon & Guillaume T. Vallet sont subventionnés pour leur implication dans le projet Vieillesse, Maladie Chronique et stimulation Cognitive (ViMaCC) par la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le projet ViMaCC est co-financé par l'Union européenne dans le cadre du Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

Références bibliographiques

- Barensse, M. D., Gaffan, D., & Graham, K. S. (2007). The human medial temporal lobe processes online representations of complex objects. *Neuropsychologia*, 45(13), 2963-2974. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.05.023>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 577-660. <https://doi.org/10.1017/S0140525X99232141>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, 59(1), 617–645. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>

⁶ Considérer la pertinence d'un programme de recherche plus jeune à partir de sa simple capacité à ré-interpréter les résultats obtenus au sein d'un programme concurrent fournirait un avantage déraisonnable à ce second programme. En effet et comme le note Chalmers (1976), il y a une dépendance de l'observation par rapport à la théorie. À ce titre, le récolte des données ne peut pas intégralement être détachée du paradigme dont elle est issue.

- Barsalou, L. W. (2010). Grounded Cognition: Past, Present, and Future. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716–724. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2010.01115.x>
- Barsalou, L. W., Simmons, W. K., Barbey, A. K., & Wilson, C. D. (2003). Grounding conceptual knowledge in modality-specific systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 84–91. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)00029-3)
- Bartolomeo, P., Bachoud-Lévi, A. C., & Denes, G. (1997). Preserved imagery for colours in a patient with cerebral achromatopsia. *Cortex*, 33(2), 369-378. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70012-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70012-1)
- Boutet I., Dawod K., Chiasson F., Brown O., & Collin C. (2019). Perceptual Similarity Can Drive Age-Related Elevation of False Recognition. *Frontiers in Psychology*, 10(743). <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00743>
- Brunel, L., Goldstone, R. L., Vallet, G., Riou, B., & Versace, R. (2013). When seeing a dog activates the bark multisensory generalization and distinctiveness effects. *Experimental Psychology*, 60(2), 100–112. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000176>
- Buckley, M. J., Booth, M. C., Rolls, E. T., & Gaffan, D. (2001). Selective perceptual impairments after perirhinal cortex ablation. *Journal of Neuroscience*, 21(24), 9824-9836. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-24-09824.2001>
- Burke, S. N., Wallace, J. L., Nematollahi, S., Uprety, A. R., & Barnes, C. A. (2010). Pattern separation deficits may contribute to age-associated recognition impairments. *Behavioral Neuroscience*, 124(5), 559–573. <https://doi.org/10.1037/a0020893>
- Bussey, T. J., Saksida, L. M., & Murray, E. A. (2002). Perirhinal cortex resolves feature ambiguity in complex visual discriminations. *European Journal of Neuroscience*, 15, 365–374. <https://doi.org/10.1046/j.0953-816x.2001.01851.x>

- Chalmers, A. F. (1976). *Qu'est-ce que la science*. Paris: La Découverte.
- Chater, N. (2003). How much can we learn from double dissociations?. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70093-5](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70093-5)
- Correia, C., Lopez, K. J., Wroblewski, K. E., Huisingh-Scheetz, M., Kern, D. W., Chen, R. C., ... Pinto, J. M. (2016). Global sensory impairment in older adults in the United States. *Journal of the American Geriatrics Society*, *64*(2), 306–313. <https://doi.org/10.1111/jgs.13955>
- Craik, F. I. M. (1983). On the transfer of information from temporary to permanent memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B* *302*, 341-359.
- Craik, F. I. M. (1986). A functional account of age differences in memory. In F. Lix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities, mechanisms, and performances* (pp. 409-422). Amsterdam: Elsevier Science.
- Craik, F.I.M. (1990). Changes with normal aging: A functional view. In R. J. Wutman et al.(Eds.), *Advances in neurology, 51: Alzheimer's disease* (pp. 201-205). New York: Raven.
- Dabic, S., Rey, A. E., Navarro, J., & Versace, R. (2018). Haptic modality takes its time: Dynamic of activations of sensory modalities in perceptual and memory processes. *International Journal of Psychology*, *53*(3), 237-242. <https://doi.org/10.1002/ijop.12368>
- Danckert, S. L., & Craik, F. I. M. (2013). Does aging affect recall more than recognition memory? *Psychology and Aging*, *28*(4), 902–909. <https://doi.org/10.1037/a0033263>

- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Qué PASA? the posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1201–1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>
- de Dieuleveult, A. L., Siemonsma, P. C., van Erp, J. B. F., & Brouwer, A.-M. (2017). Effects of Aging in Multisensory Integration: A Systematic Review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *9*(80), <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00080>
- Dijkstra, K., Kaschak, M. P., & Zwaan, R. A. (2007). Body posture facilitates retrieval of autobiographical memories. *Cognition*, *102*(1), 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.12.009>
- Dunn, J. C. (2003). The elusive dissociation. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *39*(1), 177–179. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70096-0](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70096-0)
- Dunn, J. C., & Kirsner, K. (2003). What can we infer from double dissociations? [Editorial]. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *39*(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70070-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70070-4)
- Ekstrom, A. D., & Yonelinas, A. P. (2020). Precision, binding, and the hippocampus: Precisely what are we talking about? *Neuropsychologia*, *138*, 107341. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107341>
- Fodor, J. A. (1986). *La modularité de l'esprit: essais sur la psychologie des facultés*. Paris: Editions de minuit.
- Fozard, J. L., & Gordon-Salant, S. (2001). Changes in vision and hearing with aging. In J. E. Birren & K. Warner Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 241–266). New York: Academic Press.

- Gentsch, A., Weber, A., Synofzik, M., Vosgerau, G., & Schütz-Bosbach, S. (2016). Towards a common framework of grounded action cognition: Relating motor control, perception and cognition. *Cognition*, *146*, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.010>
- 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. <https://doi.org/10.1038/nn.2384>
- Glisky, E. (2007). Changes in cognitive functions in human aging. In D. R. Ridde (Ed.), *Brain Aging: Models, Methods, and Mechanisms* (pp. 3–20). Boca Raton, FL :CRC Press.
- Graham, K. S., Barense, M. D., & Lee, A. C. (2010). Going beyond LTM in the MTL: A synthesis of neuropsychological and neuroimaging findings on the role of the medial temporal lobe in memory and perception. *Neuropsychologia*, *48*(4), 831–853. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.001>
- Greene, N. R., & Naveh-Benjamin, M. (2020). A Specificity Principle of Memory: Evidence From Aging and Associative Memory. *Psychological Science*, *31*(3), 316–331. <https://doi.org/10.1177/0956797620901760>
- Hill A. B. (1965). The environment and disease: association or causation?. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, *58*(5), 295–300.
- Hintzman, D. L. (1986). “Schema Abstraction” in a Multiple-Trace Memory Model. *Psychological Review*, *93*(4), 411-428.
- Kent, B. A., Hvoslef-Eide, M., Saksida, L. M., & Bussey, T. J. (2016). The representational–hierarchical view of pattern separation: Not just hippocampus, not just space, not just memory?. *Neurobiology of learning and memory*, *129*, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.01.006>

- Keresztes, A., Ngo, C. T., Lindenberger, U., Werkle-Bergner, M., & Newcombe, N. S. (2018). Hippocampal maturation drives memory from generalization to specificity. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(8), 676-686. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.05.004>
- Korkki, S. M., Richter, F. R., Jeyarathnarajah, P., & Simons, J. S. (2020). Healthy ageing reduces the precision of episodic memory retrieval. *Psychology and Aging*, 35(1), 124–142. <https://doi.org/10.1037/pag0000432>
- Koutstaal, W., & Schacter, D. L. (1997). Gist-based false recognition of pictures in older and younger adults. *Journal of memory and language*, 37, 555–583. <https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2529>
- Kuhn, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Lakatos, I. (1976). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In *Can theories be refuted?* (pp. 205-259). Springer, Dordrecht.
- Leal, S. L., & Yassa, M. A. (2018). Integrating new findings and examining clinical applications of pattern separation. *Nature Neuroscience*, 21(2), 163–173. <https://doi.org/10.1038/s41593-017-0065-1>
- Lee, A. C., Yeung, L. K., & Barense, M. D. (2012). The hippocampus and visual perception. *Frontiers in human neuroscience*, 6(91). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00091>
- Li, S. C., Lindenberger, U., & Sikström, S. (2001). Aging cognition: From neuromodulation to representation. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(11), 479–486. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01769-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01769-1)
- Loeffler, J., Raab, M., & Cañal-Bruland, R. (2016). A lifespan perspective on embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 7(845), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00845>

- Madore, K. P., Gaesser, B., & Schacter, D. L. (2014). Constructive episodic simulation: dissociable effects of a specificity induction on remembering, imagining, and describing in young and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *40*(3), 609. <https://doi.org/10.1037/a0034885>
- Madore, K. P., Jing, H. G., & Schacter, D. L. (2019). Selective effects of specificity inductions on episodic details: evidence for an event construction account. *Memory*, *27*(2), 250-260. <https://doi.org/10.1080/09658211.2018.1502322>
- Mahon, B., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of Physiology, Paris*, *102*(1-3), 59–70. <http://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2008.03.004>
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: The MIT Press. <http://doi.org/10.7551/mitpress/9780262514620.001.0001>
- McTighe, S. M., Cowell, R. A., Winters, B. D., Bussey, T. J., & Saksida, L. M. (2010). Paradoxical false memory for objects after brain damage. *Science*, *330*, 1408–1410. <https://doi.org/10.1126/science.1194780>
- Murphy, D. H., & Castel, A. D. (2020). Age-related similarities and differences in the components of semantic fluency: analyzing the originality and organization of retrieval from long-term memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/13825585.2020.1817844>
- Murray, E. A., & Bussey, T. J. (1999). Perceptual–mnemonic functions of the perirhinal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *3*(4), 142–151. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01303-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01303-0)

- Nadel, L., & Peterson, M. A. (2013). The hippocampus: Part of an interactive posterior representational system spanning perceptual and memorial systems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(4), 1242. <https://doi.org/10.1037/a0033690>
- 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. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.26.5.1170>
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003). Adult age differences in episodic memory: further support for an associative-deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 826.
- 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. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.23.1.104>
- Shuren, J. E., Brott, T. G., Schefft, B. K., & Houston, W. (1996). Preserved color imagery in an achromatopsic. *Neuropsychologia*, 34(6), 485-489. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00153-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00153-0)
- Stein, B. E., and Meredith, M. A. (1993). *The Merging of the Senses*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Paraskevoudi, N., Balci, F., & Vatakis, A. (2018). “Walking” through the sensory, cognitive, and temporal degradations of healthy aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1426(1), 72–92. <https://doi.org/10.1111/nyas.13734>
- Piolino, P., Desgranges, B., Clarys, D., Guillery-Girard, B., Tacconnat, L., Isingrini, M., & Eustache, F. (2006). Autobiographical memory, auto-noetic consciousness, and self-perspective in aging. *Psychology and Aging*, 21(3), 510–525. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.3.510>

- Purkart, R., Versace, R., & Vallet, G. T. (2019). "Does It Improve the Mind's Eye?": Sensorimotor Simulation in Episodic Event Construction. *Frontiers in psychology, 10*, 1403. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01403>
- Pylyshyn, Z. W. (1984). *Computation and cognition*. MIT Press.
- 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. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.865629>
- Rey, A. E., Riou, B., Vallet, G. T., & Versace, R. (2017). The automatic visual simulation of words: A memory reactivated mask slows down conceptual access. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 71*(11), 14–22. <https://doi.org/10.1037/cep0000100>
- Rey, A. E., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., & Versace, R. (2015). Memory plays tricks on me : Perceptual bias induced by memory reactivated size in Ebbinghaus illusion. *Acta psychologica, 161*, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2015.08.011>
- Riou, B., Lesourd, M., Brunel, L., & Versace, R. (2011). Visual memory and visual perception: when memory increase visual search. *Memory & Cognition, 39*(6), 1094-1102.
- Roberts, K. L., & Allen, H. A. (2016). Perception and cognition in the ageing brain: A brief review of the short- and long-term links between perceptual and cognitive decline. *Frontiers in Aging Neuroscience, 8*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00039>
- Saksida, L. M., & Bussey, T. J. (2010). The representational–hierarchical view of amnesia: Translation from animal to human. *Neuropsychologia, 48*(8), 2370-2384. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.02.026>

- Schacter, D. L., & Madore, K. P. (2016). Remembering the past and imagining the future: Identifying and enhancing the contribution of episodic memory. *Memory Studies*, 9(3), 245-255. <https://doi.org/10.1177/1750698016645230>
- Schacter, D. L., & Tulving, E. (Eds.). (1994). *Memory systems*. MIT Press.
- Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2005). Pictures of appetizing foods activate gustatory cortices for taste and reward. *Cerebral Cortex*, 15(10), 1602-1608. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi038>
- Smith, R. E. (2006). Adult Age Differences in Episodic Memory: Item-Specific, Relational, and Distinctive Processing. In R. R. Hunt & J. B. Worthen (Eds.), *Distinctiveness and memory* (pp. 259–287). <http://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169669.003.0012>
- Squire, L. R., Stark, C. E., & Clark, R. E. (2004). The medial temporal lobe. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 279-306. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144130>
- Squire, L. R., & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, 253(5026), 1380–1386. <https://doi.org/10.1126/science.1896849>
- Surprenant, A. M., & Neath, I. (2009). *Principles of memory*. New York, NY: Psychology Press.
- Surprenant, A. M., Neath, I., & Brown, G. D. A. (2006). Modeling age-related differences in immediate memory using SIMPLE. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 572–586. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.08.001>
- Toner, C. K., Pirogovsky, E., Kirwan, C. B., & Gilbert, P. E. (2009). Visual object pattern separation deficits in nondemented older adults. *Learning & memory*, 16(5), 338-342. <https://doi.org/10.1101/lm.030171.112>

- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (eds), *Organization of memory* (pp. 381–403). New-york: Academic Press
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Tulving, E. (1995). Organisation of memory: Quo vadis? In M. Gazzaniga (Ed), *The cognitive neurosciences* (pp. 839–847). Cambridge: The MIT Press.
- Ulfhake, B., Bergman, E., & Fundin, B. T. (2002). Impairment of peripheral sensory innervation in senescence. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, *96*(1), 43–49. [https://doi.org/10.1016/S1566-0702\(01\)00368-X](https://doi.org/10.1016/S1566-0702(01)00368-X)
- Vallet, G., Brunel, L., & Versace, R. (2010). The perceptual nature of the cross-modal priming effect: Arguments in favor of a sensory-based conception of memory. *Experimental Psychology*, *57*(5), 376–382. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000045>
- Vallet, G. T. (2015). Embodied cognition of aging. *Frontiers in Psychology*, *6*(463), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00463>
- Vallet, G., Simard, M., & Versace, R. (2011). Sensory-Dependent Knowledge in Young and Elderly Adults: Argument from the Cross-Modal Priming Effect. *Current aging science*, *4*(2), 137-149.
- Vallet, G. T., Simard, M., Versace, R., & Mazza, S. (2013). The perceptual nature of audiovisual interactions for semantic knowledge in young and elderly adults. *Acta Psychologica*, *143*(3), 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.04.009>
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris: Seuil.
- 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), 280–306. <https://doi.org/10.1080/09541440801951844>

- Versace, R., Nevers, B., & Padovan, C. (2002). La mémoire dans tous ses états. Groupe de Boeck.
- Versace, R., Vallet, G. T., Riou, B., Lesourd, M., Labeye, É., & Brunel, L. (2014). Act-In: An integrated view of memory mechanisms. *Journal of Cognitive Psychology*, 26(3), 280–306. <https://doi.org/10.1080/20445911.2014.892113>
- Wilson, M. Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review* 9, 625–636 (2002). <https://doi.org/10.3758/BF03196322>
- Wołoszyn, K., & Hohol, M. (2017). Commentary: The poverty of embodied cognition. *Frontiers in Psychology*, 8, 845.
- Wynn, J. S., Amer, T., & Schacter, D. L. (2020). How older adults remember the world depends on how they see it. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(11), 858-861. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.08.001>
- Wynn, J. S., Shen, K., & Ryan, J. D. (2019). Eye movements actively reinstate spatiotemporal mnemonic content. *Vision*, 3(2), 21. <https://doi.org/10.3390/vision3020021>
- Zokaei, N., Board, A. G., Manohar, S. G., & Nobre, A. C. (2019). Modulation of the pupillary response by the content of visual working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(45), 22802–22810. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909959116>